

BIOMASS POWER GENERATION

生物质发电

实用培训教材

石家庄永泰电力培训中心 组编
赵宗锋 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

BIOMASS POWER GENERATION

生物质发电

实用培训教材

石家庄永泰电力培训中心 组编
赵宗锋 主编

常州大学图书馆
藏书章



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为促进我国新能源战略快速发展,帮助广大工程技术人员、现场生产人员了解、掌握生物质发电技术,积累生物质电厂建设、运行、管理经验,满足广大生物质电厂培训考核需要,特编写本书。

本书共分八章,分别为生物质发电概述、生物质燃料的收储运与验收、生物质燃料的化验、生物质燃料的输送、振动炉排锅炉生物质直燃技术、循环流化床锅炉生物质直燃技术、生物质掺烧混燃技术及生物质锅炉检修。此外,书后还提供了生物质发电的国家有关优惠政策和文件以及生物质发电专业中英文对照及名词解释。

本书内容全面,编写系统,是生物质发电厂生产人员、技术人员、管理人员岗位培训和技能考核的必备教材,也可作为大专院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

生物质发电实用培训教材/赵宗锋主编;石家庄永泰电力培训中心组编. —北京:中国电力出版社,2011.8

ISBN 978-7-5123-2010-9

I. ①生… II. ①赵… ②石… III. ①生物能源-发电-技术培训-教材 IV. ①TM619

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 158522 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 476 千字

印数 0001—3000 册 定价 56.00 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

《生物质发电实用培训教材》

编 委 会

主 编 赵宗锋

副主编 赵锁强 王淑华 杨玉平 刘连忠 靖建锋

编 委 孟晓辉 蔡霄萍 闫炳宽 王文录 马玉龙

闫雅文 王宏宇 何战雁 刘彦鑫 李 征

翁玉明 孙京川

前言

人类对能源的需求量日益增长,然而,作为目前主要能源来源的化石燃料却在迅速地减少。因此,寻找一种可再生的替代能源已经成为世界关注的焦点。生物质能取之不尽,用之不竭,是一种可再生能源,同时也是唯一一种可再生的碳源,被视为继煤炭、石油、核电后的第四种能源资源。在当前全球能源和环境向人类亮出“黄牌警告”之时,将可再生的生物质能转化为洁净电力,受到世界各国的重视。目前,北欧等发达国家已拥有非常成熟的生物质能发电技术和设备,并开始在世界范围内得到应用。

“低碳转型”正考验着我国传统能源结构,要完成“到2020年非化石能源占一次能源消费比重达到15%”的承诺并不容易。中国是一个农业大国,生物质能源十分丰富,生物质废弃物的总量,约相当于我国煤炭年开采量的30%,总计约6.56亿t标煤。但是长期以来,这些生物质并未得到充分合理的利用,目前利用率仅在30%左右,而且其能源利用方式极为原始,大多数物质以直接燃烧为主,这是一项巨大的资源浪费。而我国在利用生物质能发电方面处于刚起步阶段。利用生物质能发电,属国家“十一五”计划重点倡导和支持发展的新能源项目,是保证国民经济可持续发展的新能源战略,而“十二五”能源规划更是把大力发展新兴能源产业,加快核电建设,大力发展风能、太阳能和生物质能,发展煤炭的清洁利用产业当作首要任务。因此,开发利用生物质能源,缓解我国21世纪的能源、环境和生态问题具有非常重要意义。我国已经出台了若干促进生物质能发电的优惠政策,“十二五”期间会有更多优惠政策出台,生物质能发电必将以燎原之势得到迅猛发展。

生物质直燃发电是当前生物质能利用的主要方式,目前主要有振动炉排直燃发电和循环流化床直燃发电两种方式。国内锅炉厂家和电厂都在摸索适合中国能源现状的直燃发电技术并已取得了一定进展。与传统燃煤电厂相比,生物质电厂的主要区别是生物质的收集、验收、化验、预处理、储存和燃烧技术,而收储工作尤为重要。

随着生物质电厂的蓬勃发展,编写一本适合生物质电厂生产人员培训使用的教材已极为必要。本书全面介绍了生物质发电基础知识、各类生物质直燃技术、生物质收储运、化验、燃烧及检修。本书贴近生产一线,全面、实用。此外,还搜集了生物质专业中英文对照及名词解释、国际最新技术进展和国内相关支持政策,并提出了适合发展的建议。

本书编写过程中,得到了锅炉厂家及生物质电厂工程技术人员的技术支持和修改建议,在此一并表示感谢。

编者

2011年5月

目 录

前言

第一章 生物质发电概述	1
第一节 生物质能.....	1
第二节 生物质（秸秆）燃料.....	6
第三节 生物质直燃技术	13
第四节 生物质发电	25
第二章 生物质燃料的收储运与验收	38
第一节 生物质燃料收储运	38
第二节 燃料收购质量验收标准	45
第三章 生物质燃料的化验	55
第一节 生物质燃料样品	55
第二节 测定	55
第三节 测定结果表述	57
第四节 试验方法的精密度	59
第五节 溶液及其浓度	59
第六节 试验记录及试验报告	60
第四章 生物质燃料的输送	61
第一节 输料皮带机设备运行	62
第二节 链板给料机运行	65
第三节 气动三通和卸料器运行	65
第四节 刀辊切料机运行	66
第五节 电动液压抓斗桥式起重机运行	67
第五章 振动炉排锅炉生物质直燃技术	69
第一节 济锅 BWE 技术振动炉排锅炉结构特点	69
第二节 济锅 BWE 技术振动炉排锅炉运行	76
第六章 循环流化床锅炉生物质直燃技术	122
第一节 循环流化床生物质锅炉燃烧特性.....	122
第二节 循环流化床生物质锅炉结构特点.....	125

第三节	循环流化床生物质锅炉运行·····	136
第四节	循环流化床生物质锅炉典型操作票·····	193
第七章	生物质掺烧混燃技术·····	201
第一节	概述·····	201
第二节	煤粉炉掺烧混燃·····	205
第三节	循环流化床锅炉掺烧混燃实例·····	208
第八章	生物质锅炉检修·····	211
第一节	检修总体原则·····	211
第二节	本体承压部件的检修·····	213
第三节	锅炉水压试验与超水压试验·····	227
第四节	管道及阀门检修·····	229
第五节	锅炉附属转动设备检修·····	254
第六节	风机检修·····	263
第七节	吹灰器检修·····	272
附录 1	《中华人民共和国可再生能源法(修正案)》·····	282
附录 2	《可再生能源发电有关管理规定》·····	287
附录 3	《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》·····	289
附录 4	《国务院办公厅关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见》 (国办发[2008]105 号)·····	292
附录 5	《国务院办公厅关于印发促进生物产业加快发展若干政策的通知》 (国办发[2009]45 号)·····	295
附录 6	《国家发展改革委关于完善农林生物质发电价格政策的通知》 (发改价格[2010]1579 号)·····	300
附录 7	《国家发展改革委关于生物质发电项目建设管理的通知》 (发改能源[2010]1803 号)·····	301
附录 8	生物质发电专业词汇中英文对照及名词解释·····	303

生物质发电概述

第一节 生物质能

一、生物质能的概述

生物质指通过光合作用而形成的各种有机体，包括所有的动植物和微生物。而所谓生物质能，就是太阳能以化学能形式储存在生物质中的能量形式，即以生物质为载体的能量。它直接或间接地来源于绿色植物的光合作用，可转化为常规的固态、液态和气态燃料，取之不尽、用之不竭，是一种可再生能源，同时也是唯一一种可再生的碳能源。生物质能的原始能量来源于太阳，所以从广义上讲，生物质能是太阳能的一种表现形式。

目前，很多国家都在积极研究和开发利用生物质能。生物质能蕴藏在植物、动物和微生物等可以生长的有机物中，它是由太阳能转化而来的。有机物中除矿物燃料以外的所有来源于动植物的能源物质均属于生物质能，通常包括木材、森林废弃物、农业废弃物、水生植物、油料植物、城市和工业有机废弃物、动物粪便等。地球上的生物质能资源较为丰富，而且是一种无害的能源。地球每年经光合作用产生的物质有 1730 亿 t，其中蕴含的能量相当于全世界能源消耗总量的 10~20 倍，但目前的利用率不到 3%。

二、生物质能的分类

依据来源的不同，可以将适合于能源利用的生物质分为林业资源、农业资源、生活污水和工业有机废水、城市固体废弃物和畜禽粪便等五大类（见图 1-1）。

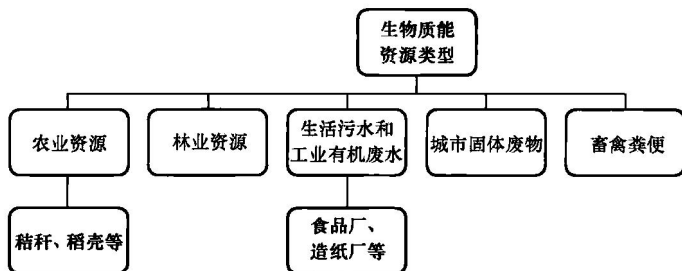


图 1-1 生物质能资源类型

1. 林业资源

林业生物质资源是指森林生长和林业生产过程提供的生物质能源，包括薪炭林、在森林抚育和间伐作业中的零散木材、残留的树枝、树叶和木屑，木材采运和加工过程中的枝丫、锯末、木屑、梢头、板皮和截头，以及林业副产品的废弃物，如果壳和果核等。

2. 农业资源

农业生物质能资源是指农业作物废弃物（包括能源作物），具体包括农业生产过程中的废弃物，如农作物收获时残留在农田内的农作物秸秆（玉米秸、高粱秸、麦秸、稻草、豆秸和棉秆等），以及农业加工业的废弃物，如农业生产过程中剩余的稻壳、花生壳等。能源植物泛指各种用以提供能源的植物，通常包括草本能源作物、油料作物、制取碳氢化合物植物和水生植物等几类。

3. 生活污水和工业有机废水

生活污水主要由城镇居民生活、商业和服务业的各种排水组成，如冷却水、洗浴排水、盥洗排水、洗衣排水、厨房排水、粪便污水等。工业有机废水主要是酒精、酿酒、制糖、食品、制药、造纸及屠宰等行业生产过程中排出的废水等，其中都富含有机物。

4. 城市固体废物

城市固体废物主要是由城镇居民生活垃圾，商业、服务业垃圾和少量建筑业垃圾等固体废物构成。其组成成分比较复杂，受当地居民的平均生活水平、能源消费结构、城镇建设、自然条件、传统习惯以及季节变化等因素影响。

5. 畜禽粪便

畜禽粪便是畜禽排泄物的总称，它是其他形态生物质（主要是粮食、农作物秸秆和牧草等）的转化形式，包括畜禽排出的粪便、尿及其与垫草的混合物。

除了上述 5 种生物质能外，沼气也是一种生物质能表现形式。沼气就是由生物质能转换的一种可燃气体，通常可以供农家用来烧饭、照明。

三、生物质能的特点

1. 可再生性

生物质能属可再生资源，生物质能由于通过植物的光合作用可以再生，与风能、太阳能等同属可再生能源，资源丰富，可保证能源的永续利用。

2. 低污染性

生物质的硫含量、氮含量低，燃烧过程中生成的 SO_x 、 NO_x 较少。生物质作为燃料时，由于它在生长时需要的二氧化碳相当于它排放的二氧化碳的量，因而对大气的二氧化碳净排放量近似于零，可有效地减轻温室效应。

3. 广泛分布性

生物质分布广泛，缺乏煤炭的地域，可充分利用生物质能。

4. 总量丰富

生物质能是世界第四大能源，仅次于煤炭、石油和天然气。根据生物学家估算，地球陆地每年生产 1000 亿~1250 亿 t 生物质。海洋年生产 500 亿 t 生物质。生物质能源的年生产量远远超过全世界总能源需求量，相当于目前世界总能耗的 10 倍。我国可开发为能源的生物质资源到 2010 年可达 3 亿 t。随着农林业的发展，特别是薪炭林的推广，生物质资源还将越来越多。

四、生物质能的利用

生物质能一直是人类赖以生存的重要能源，在整个能源系统中占有重要地位。有关专家估计，生物质能极有可能成为未来可持续能源系统的组成部分，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。

目前人类对生物质能的利用,包括直接用作燃料的有农作物的秸秆、薪柴等。间接作为燃料的有农林废弃物、动物粪便、垃圾及藻类等,它们通过微生物作用生成沼气或采用热解法制造液体和气体燃料,也可制造生物炭。生物质能是世界上最为广泛的可再生能源。据估计,每年地球上仅通过光合作用生成的生物质总量就达 1440 亿~1800 亿 t (干重)。但是尚未被人们合理利用,多半直接当薪柴使用,效率低,影响生态环境。现代生物质能的利用是通过生物质的厌氧发酵制取甲烷,用热解法生成燃料气、生物油和生物炭,用生物质制造乙醇和甲醇燃料,以及利用生物工程技术培育能源植物,发展能源农场。

五、生物质能的利用途径

生物质能的利用主要有直接燃烧、热化学转换和生物化学转换等三种途径。

生物质的直接燃烧在今后相当长的时间内仍将是我国生物质能利用的主要方式。当前改造热效率仅为 10% 左右的传统烧柴灶,推广效率可达 20%~30% 的节柴灶。这种技术简单、易于推广、效益明显的节能措施,被国家列为农村新能源建设的重点任务之一。

生物质的热化学转换是指在一定的温度和条件下,使生物质汽化、炭化、热解和催化液化,以生产气态燃料、液态燃料、化学物质或电能的技术(见图 1-2)。

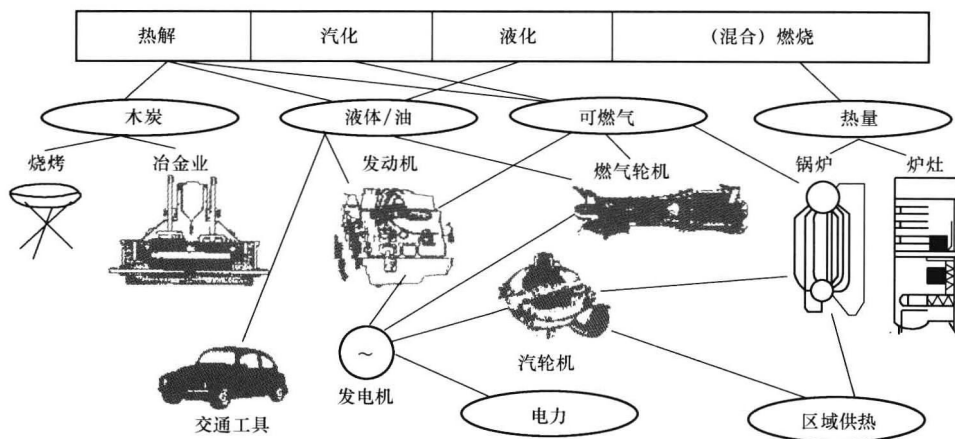


图 1-2 热化学转化技术

生物质的生物化学转换包括有生物质—沼气转换和生物质—乙醇转换等。沼气转换是有机物质在厌氧环境中,通过微生物发酵产生一种以甲烷为主要成分的可燃性混合气体即沼气。乙醇转换是利用糖质、淀粉和纤维素等原料经发酵制成乙醇。

总之,目前生物质能主要利用形式有沼气、压缩成型固体燃料、汽化生产燃气、汽化发电、生产燃料酒精、热裂解生产生物柴油等。

六、生物质能的研究

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,受到世界各国政府与科学家的关注。许多国家都制订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、美国的能源农场和巴西的酒精能源计划等,其中生物质能源的开发利用占有相当的比重。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,以美国、瑞典和奥地利三国为例,生物质转化为高品位能源利用已具有相当可观的规模,分别占该国一次能源消耗量的4%、16%和10%。在美国,生物质能发电的总装机容量已超过10GM,单机容量达10~25MW。美国纽约的斯塔藤垃圾处理站投资2000万\$,采用湿法处理垃圾,回收沼气,用于发电,同时生产肥料。巴西是乙醇燃料开发应用最有特色的国家,实施了世界上规模最大的乙醇开发计划,目前乙醇燃料已占该国汽车燃料消费量的50%以上。美国开发出利用纤维素废料生产酒精的技术,建立了1MW的稻壳发电示范工程,年产酒精2500t。

七、我国生物质能资源

1. 森林能源

森林能源是森林生长和林业生产过程提供的生物质能源,主要是薪材,也包括森林工业的一些残留物等。森林能源在我国农村能源中占有重要地位。

薪材来源于树木生长过程中修剪的枝杈,木材加工的边角余料,以及专门提供薪材的薪炭林。

2. 农作物秸秆

农作物秸秆是农业生产的副产品,也是我国农村的传统燃料。秸秆资源与农业主要是种植业生产关系十分密切。根据1995年的统计数据计算,全国农作物秸秆年产生量约6亿t,除部分作为造纸原料和畜牧饲料外,大约3亿t可作为燃料使用,折合约1.5亿t标准煤。甜高粱、小桐籽、黄连木、油桐等能源作物(植物)可种植面积达2000多万公顷,可满足年产量约5000万t生物液体燃料的原料需求。随着农村经济的发展,农民收入的增加,地区差异正在逐步扩大,农村生活用能中商品能源的比例正以较快的速度增加。事实上,农民收入的增加与商品能源获得的难易程度都成为他们转向使用商品能源的契机与动力。在较为接近商品能源产区的农村地区或富裕的农村地区,商品能源(如电、煤、液化石油气等)已成为其主要的炊事用能。以传统方式利用的秸秆首先成为被替代的对象,致使被弃于地头田间直接燃烧的秸秆量逐年增大,许多地区废弃秸秆量已占总秸秆量的60%以上,这样既危害环境,又浪费资源。因此,加快秸秆的优质化转换利用势在必行。

3. 禽畜粪便

禽畜粪便也是一种重要的生物质能源。除在牧区有少量的直接燃烧外,禽畜粪便主要是作为沼气的发酵原料。中国主要的禽畜是鸡、猪和牛,根据这些禽畜品种、体重、粪便排泄量等因素,可以估算出粪便资源量。根据计算,目前我国禽畜粪便资源总量约8.5亿t,折合7840多万t标煤,其中牛粪5.78亿t,折合4890万t标煤,猪粪2.59亿t,折合2230万t标煤,鸡粪0.14亿t,折合717万t标煤。

在粪便资源中,大中型养殖场的粪便是最便于集中开发、规模化利用的。我国目前大中型牛、猪、鸡场约6000多家,每天排出粪尿及冲洗污水80多万t,全国每年粪便污水资源量1.6亿t,折合1157.5万t标煤。

4. 生活垃圾

随着城市规模的扩大和城市化进程的加速,中国城镇垃圾的产生量和堆积量逐年增加。1991、1995和2010年,全国工业固体废物产生量分别为5.88亿t、6.45亿t和38.52亿t,同期城镇生活垃圾量以每年10%左右的速度递增。

城镇生活垃圾主要是由居民生活垃圾,商业、服务业垃圾和少量建筑垃圾等废弃物构成的混合物,成分比较复杂,其构成主要受居民生活水平、能源结构、城市建设、绿化面积以及季节变化的影响。中国大城市的垃圾构成已呈现向现代化城市过渡的趋势,具备特点:一是垃圾中有机物含量接近 1/3 甚至更高;二是食品类废弃物是有机物的主要组成部分;三是易降解有机物含量高。目前中国城镇垃圾热值在 4.18MJ/kg (1000kcal/kg) 左右,参见表 1-1。

表 1-1 中国主要有机废弃物的年产量及可用量

种 类	年产生量 (亿 t)		可用率 (%)		年可用量 (亿 t)
	实物量	折标煤	实物量	折标煤	
作物秸秆	6.49	3.27	60	3.90	1.96
畜禽粪便	10.22	1.07	70	7.15	0.75
采伐及加工林余物	0.78	0.44	90	0.70	0.40
采集与林薪材	0.48	0.27	80	0.38	0.22
工业废弃物	0.77	0.40	80	0.62	0.32
生物能加工废弃物	—	0.03	90	—	0.03
城市有机垃圾	1.55	0.27	10	0.16	0.03
累 计	20.29	5.75	—	12.91	3.71

八、生物质能对中国的意义

中国是一个人口大国,又是一个经济迅速发展的国家,面临着经济增长和环境保护的双重压力。因此,改变能源生产和消费方式,开发利用生物质能等可再生的清洁能源资源对建立可持续发展的能源系统,促进国民经济发展和环境保护具有重大意义。

开发利用生物质能对中国农村更具特殊意义。中国 50% 人口生活在农村,秸秆和薪柴等生物质能是农村的主要生活燃料。尽管煤炭等商品能源在农村的使用迅速增加,但生物质能仍占有重要地位。因此发展生物质能技术,为农村地区提供生活和生产用能,是帮助这些地区脱贫致富,实现小康目标的一项重要任务。

目前,我国生物质资源可转换为能源的潜力约 5 亿 t 标准煤,今后随着造林面积的扩大和经济社会的发展,生物质资源转换为能源的潜力可达 10 亿 t 标准煤。随着农村经济发展和农民生活水平的提高,农村对于优质燃料的需求日益迫切。传统能源利用方式已经难以满足农村现代化需求,生物质能优质化转换利用势在必行。

生物质能高新转换技术不仅能够大大加快村镇居民实现能源现代化进程,满足农民富裕后对优质能源的迫切需求,同时也可在乡镇企业等生产领域中得到应用。由于中国地广人多,常规能源不可能完全满足广大农村日益增长的需求,而且由于国际上正在制定各种有关环境问题的公约,限制二氧化碳等温室气体排放,这对以煤炭为主的我国是很不利的。因此,立足于农村现有的生物质资源,研究新型转换技术,开发新型装备既是农村发展的迫切需要,又是减少排放、保护环境、实施可持续发展战略的需要。

第二节 生物质（秸秆）燃料

一、黄秆灰秆

生物质（秸秆）燃料可分为三类：第一类为黄色秸秆（又称软质秸秆），主要是玉米秸秆、小麦秸秆、稻草等草木类农作物秸秆，具有体积大、质量轻、密度小等特点，为满足锅炉燃烧发热量，保证单位时间内的上料量，一般需要打捆至规定的体积和质量后输送至炉膛内燃烧；第二类为灰色秸秆（又称硬质秸秆），主要是棉花秸秆、大豆秸秆、树枝、树皮、木材下脚料等密度较大的木本类植物，需破碎加工后输送至炉膛内燃烧；第三类是为提高燃烧值压缩为一定体积的颗粒秸秆。

在加工处理上，黄色秸秆的操作难度最大。黄色秸秆作原料发电难度要大得多，主要因为：①黄色秸秆水分含量高而韧性大，难以切割和均匀传输；②化学元素含量高，易于结渣和腐蚀锅炉；③秸秆疏松分散，运费高昂。从目前已经暴露出来的问题看，纯用黄色秸秆发电面临3个“拦路虎”即上料系统、秸秆专用锅炉以及秸秆高效收集处理系统。图1-3是几种生物质燃料的实图照片。

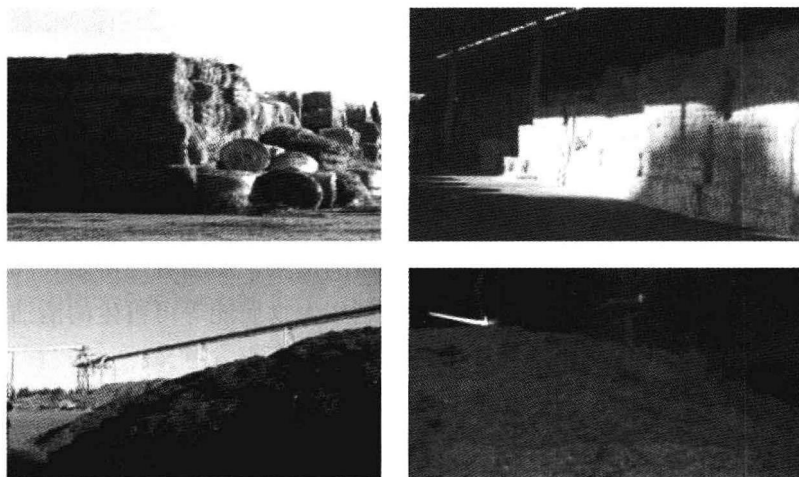


图 1-3 几种生物质燃料实图

二、几种燃料性价比比较

表 1-2 列举了几种生物质燃料特性。

三、生物质燃料物理和化学特性

生物质燃料的种类、物理特性和化学组成影响了整个利用过程（燃料供应、燃烧系统、固体和气体污染物）。近几年，人们开展了生物质燃料物理特性和化学组成的综合研究，仍在进行。固体燃料特性及影响参见表 1-3。

表 1-2 几种生物质燃料特性（以 1t/h 锅炉为例）

项 目 \ 种 类	煤炭（Ⅱ类烟煤）	轻柴油	天然气	生物质（秸秆）燃料
燃料发热量（kcal/kg）	4500	10 200	8600	2000~3500

续表

项 目 \ 种 类		煤炭（Ⅱ类烟煤）	轻柴油	天然气	生物质（秸秆）燃料
锅炉热效率（%）		60	90	90	80
密度（kg/m ³ ）		1100~1400	0.85	0.75~0.8	100~250
燃烧 气体 排放	CO ₂ （mg/m ³ ）	218	199	137	0
	SO ₂ （mg/m ³ ）	1280	480	48	33.6
	NO _x （mg/m ³ ）	617	330	248	333
	烟尘（mg/m ³ ）	510	89	16	66.75
市场参考价格		0.60元/kg	6.5元/kg	2.40元/m ³ （标况下）	0.30元/kg
燃料消耗		222kg/h	66kg/h	77.5m ³ /h（标况下）	275kg/h
燃料费用		133.2元/h	429元/h	186元/h	82.62元/h
政府综合评价		禁用	不提倡	较好	最好
备 注		燃料价格以当地当前价格为准			

表 1-3 固体燃料特性及影响

特 性		影 响
物理 特性	含水量	储藏持久性、干物质损失、低位热值、自燃、工程设计
	GCV、NCV	燃料利用、工程设计
	挥发分	热解行为
	含灰量	粉尘排放、灰分处理、灰分再利用、排放和燃烧方面技术
	灰分溶解特性	操作安全、燃烧技术、过程控制系统
	真菌	健康风险
	堆积密度	燃料后勤（储藏、运输、操作）
	颗粒密度	热导、热解
	尺寸、外形、粒度分布	提升和输送、燃烧技术、搭桥、操作安全、干燥、粉尘的形成
	粉末（木材挤压）	储存容积、运输损失、粉尘的形成
化学 特性	耐磨性（木材挤压）	质量变化、分离、粉末
	碳 C	GCV
	氢 H	GCV、NVC
	氧 O	GCV
	氯 Cl	HCl ⁻ 、二恶英、PCDF 排放、腐蚀
	氮 N	NO _x 、N ₂ O 排放
	硫 S	SO _x 排放、腐蚀
	氟 F	HF 排放、腐蚀
	钾 K	腐蚀（换热器、过热器）、降低灰熔点、形成气溶胶、灰分再利用（作为植物养分）
	钠 Na	腐蚀（换热器、过热器）、降低灰熔点、形成气溶胶
	镁 Mg	提高灰熔点、灰分再利用（作为植物养分）
	钙 Ca	提高灰熔点、灰分再利用（作为植物养分）
	磷 P	灰分再利用（作为植物养分）
	重金属	排放、灰分再利用、形成气溶胶

注 NCV 为低位发热量；GCV 为高位发热量。



C、H、O 是生物质燃料的主要组成成分。C 和 H 在燃烧过程氧化释放出热量（生成 CO_2 和 H_2O ）。生物质燃料热解所释放出的有机氧部分满足燃烧反应要求，其余部分由进风提供。生物质燃料中的部分 C 以氧化物的形式出现，这解释了与煤相比生物质燃料高位发热量较低的原因。木质燃料（包括树皮）中的 C 含量高于草本生物质燃料，因此木质燃料的 GCV 略高。

生物质燃料的挥发分含量高于煤，通常在 76%~86%（干基）之间。高挥发分含量使生物质燃料在进行均匀气相燃烧反应之前，析出了大部分挥发分，剩余的固定碳经历着异相燃烧反应。因此，挥发分含量是固体燃料热解和燃烧性能的主要影响因素。

研究表明，生物质燃烧过程中，800~1100℃ 时形成的 NO_x 主要是由燃料本身的 N 转化而来的。排放浓度和生物质燃料中氮含量成对数关系。同时，在 CFB 燃烧炉中，虽然 NO_x 的整体排放量比固定床燃烧系统低得多 [30~100mg/m³（标况下）]，但是 NO_x 生成量与燃料中含氮量成明显的依赖关系，其中试验使用的燃料为含氮量 0.15%~0.22% 的木屑（干基）。此外，空气供应、燃烧室结构和锅炉类型是影响 NO_x 形成的主要因素。为了减少 NO_x 形成，针对层燃炉、鼓泡流化床（BFB）和循环流化床（CFB），综合研究了清洁燃烧技术。例如，一次空气和二次空气分别进入不同的燃烧室（层燃和下饲式）或炉膛的不同部位（CFB、BFB），已取得良好的效果。选用变频调速风机，保证炉膛内一次过量空气系数在 0.6~0.8 之间。另外，在保证完全燃烧的同时，尽可能地降低二次空气的过剩氧气的量。

如果清洁燃烧技术无法完成脱硝目标，则结合烟气净化技术，主要有①在大约 250℃ 时，在催化剂作用下，注入氨或尿素的选择性催化还原技术（SCR）。②在 850~950℃ 时，将氨喷入分离还原室的选择性非催化还原技术（SNCR）。对于未经化学处理的生物质燃料，没有必要采取烟气净化技术。

燃烧过程中 Cl 几乎完全蒸发，形成盐酸根氯化物、含氯纤维和碱金属等氯化物。随着锅炉中烟气温度降低，碱和碱土金属氯化物冷凝在飞灰颗粒或换热器表面上，使部分 Cl 束缚在飞灰中，其余 Cl 以 HCl 的形式随烟气排放。对层燃炉物质平衡的测量和计算表明，生物质燃料 40%~85% 的 Cl 束缚在飞灰中，这由燃料中碱和碱土金属的含量、除尘技术及效率所决定。

Cl 的重要性，一方面体现在 HCl 排放及影响多氯代烃二恶英（PCDD）和多氯代二苯并呋喃（PCDF）的形成；另一方面是氯元素及其化合物的腐蚀作用。PCDD/F 的形成发生在有 C、Cl、O 参与的多相反应飞灰颗粒表面上，温度在 250~500℃ 之间。如果烟气中含有较少飞灰颗粒，可能完全燃烧，少量过剩氧气及燃料中低 Cl 含量抑制了 PCDD/F 的形成。降低烟气中 PCDD/F 排放的烟气净化技术是低温（<200℃）高效除尘技术，这是因为大部分 PCDD/F 吸附在飞灰颗粒表面（80% 形成在飞灰颗粒表面）。

S 在燃烧过程中形成气态的 SO_2 、 SO_3 和碱性硫酸盐。最终，大部分 S 转变为气态产物。当烟气急剧冷却时，硫酸盐便冷凝在飞灰颗粒或换热管表面。此外，通过酸化反应， SO_2 被束缚在飞灰中。物料平衡测定和估算表明，生物质燃料中 40%~90% 的 S 束缚在灰分中，其余部分以 SO_2 及少量 SO_3 的形式随烟气排放。灰分固硫率取决于灰分中碱土金属（尤其是 Ca）的含量以及除尘效率和技术。S 元素的重要性不是因为排放了 SO_2 ，而在于其腐蚀作用。

另外,形成灰分和盐的元素(如 Si、Ca、Mg、K 和 Na)对燃烧过程也很重要。Ca 和 Mg 通常会提高灰分的熔解性能,K 则相反。Si 与 K 结合在一起可在飞灰颗粒中形成低熔点的硅酸盐。一方面,这些过程对于避免灰分在炉排(或 BFB 与 CFB 床体)烧结和熔融很重要。另一方面,避免了飞灰结渣及在炉墙和换热器表面上沉积。秸秆、谷物和草的灰分中 K 含量高,而 Ca 含量低,开始烧结和熔解温度比木质燃料低,因此有必要选择合适的温度控制设备。

此外,Cl、S、K 和 Na 影响腐蚀现象。燃烧过程中,这些元素以碱性氯化物形式部分蒸发,并冷凝在换热器表面,与烟气反应形成硫酸盐并释放出氯化物。氯化物具有催化作用,使换热器管材具有活跃的氧化能力,甚至在管壁温度很低时(100~150℃)也发生反应。研究表明,对于硫氯摩尔比低于 2 的生物质燃料,会形成大量的氯化物,将出现腐蚀问题。此外,挥发性金属的挥发以及随后冷凝形成了亚微飞灰颗粒(气溶胶),难以沉淀在除尘器内,在锅炉管壁上形成沉积层,并可能危害生态和人们的健康。因此,燃料中 K、Na 含量越少越好。

生物质灰中重金属含量对灰分的可持续利用也相当重要。如果仅考虑未经化学处理的生物质燃料,Ca 及少量的 Zn 元素与生态有关。通过分级措施,可以降低大部分灰中重金属含量,将其集中在小部分灰中,然后单独收集进行处置或工业利用。秸秆、谷类和草灰分中重金属含量明显低于木材和树皮。对于长年轮伐期木材,由于积聚作用增强、森林中较高的沉积速度和森林土壤较低的 pH 值,增加了大部分重金属的溶解性,可解释这个问题。

四、生物质热值比较

生物质热值(又称发热量)是指在一定温度下,单位质量(气体燃料为单位容积)的燃料完全燃烧后,在冷却至原有温度时所释放的热量,是衡量燃料品质的重要指标。生物质的热值一般在 15~21MJ/kg 之间,固体燃料的热值通常采用氧弹测热仪直接测定。

1. 生物质燃料的成分分析(见表 1-4)

表 1-4 部分生物质燃料的工业分析成分、元素组成分析、低位热值

成分 种类	工业分析成分(%)				元素组成(%)						低位热值 (kJ/kg)
	水分	灰分	挥发分	固定碳	H	C	S	N	P	K	
杂草	5.43	9.4	68.27	16.40	5.24	41.00	0.22	1.59	1.68	13.60	16 204
豆秸	5.10	3.13	74.56	17.12	5.81	44.79	0.11	5.85	2.86	16.33	16 157
稻草	3.61	12.20	67.80	16.39	5.30	48.30	0.09	0.81	0.15	9.93	17 636
稻壳	5.62	17.82	62.61	13.95	6.20	49.40	0.40	0.30	—	0.60~ 1.60	16 017
玉米秸	6.10	4.70	76.00	13.20	6.00	49.30	0.11	0.70	2.60	13.80	17 746
玉米芯	4.87	5.93	71.95	17.25	6.00	47.20	0.01	0.48	—	—	17 730
高粱秸	4.71	8.91	68.90	17.48	6.09	48.63	0.01	0.36	1.12	13.60	15 066
棉秸	6.78	3.97	68.54	20.71	5.70	49.80	0.22	0.69	2.10	24.70	18 089
麦秸	4.39	8.90	67.36	19.32	6.20	49.60	0.07	0.61	0.33	20.40	18 532
花生壳	7.88	1.60	68.10	22.42	6.70	54.90	0.10	1.37			21 417
杉木	3.27	0.74	81.20	14.79	6.00	51.40	0.03	0.06			19 194
桦木	5.90	0.60	79.00	14.50	6.20	49.70	0.01	0.28			18 077

续表

成分 种类	工业分析成分 (%)				元素组成 (%)						低位热值 (kJ/kg)
	水分	灰分	挥发分	固定碳	H	C	S	N	P	K	
松木	6.00	0.40	79.60	17.00	6.00	51.00	0.00	0.08			19 045
红木	6.00		50.80				0.03	0.05			19 485
杨木	6.70	1.50	80.30	11.50	6.00	51.60	0.02	0.60			17 933
柳木	3.50	1.60	78.00	16.90	5.90	49.50	0.04	0.42			18 625
桦木	11.10	0.30	70.00	18.60	6.10	49.00	0.00	0.10			18 413
枫木	5.60	3.60	74.20	16.60	6.10	51.3	0.00	0.25			18 902
马粪	6.43	21.85	58.99	12.82	5.35	37.25	0.17	1.40	1.02	3.14	14 022
牛粪	6.46	32.40	48.72	12.52	5.46	32.07	0.22	1.41	1.71	3.84	11 627
烟煤	8.85	21.37	38.48	31.30	3.81	57.42	0.46	0.93			24 300

注 1kcal=4.18kJ。

2. 经自然风干后一些生物质低位发热量 (见表 1-5)

表 1-5

部分经自然风干后生物质燃料低位发热量

kJ/kg

生物质	低位发热量	生物质	低位发热量	生物质	低位发热量
人粪	18 841	薪柴	16 747	蔗叶	13 816
猪粪	12 560	麻秆	15 491	树叶	14 654
牛粪	13 861	薯类秧	14 235	蔗渣	15 491
羊粪	15 491	杂糖秆	14 235	青草	13 816
兔粪	15 491	油料作物秆	15 490	水生作物	12 560
鸡粪	18 841	绿肥	12 560		

3. 生物质燃料—甘蔗渣

现代蔗渣/发电联合生产技术可以使大型蔗糖加工厂利用蔗渣发电,并将超过自己需要的多余电力上网出售。利用蔗渣在燃烧过程中产生的热量发电的技术已经在我国的制糖业进行实践。仅在广东和广西两地,蔗渣发电项目的发电容量预计可达 800MW。这些项目生产的电力几乎全供本地消费。现代蔗渣/发电联合生产技术的引进及商业化,可使企业生产自身需要的足够电力,同时可将多余电力上网销售获得收益。这将为某些企业提供客观的投资机会。

同时,利用工业废物生产电能可以在一定的程度上满足国家有关能源生产的规定。在我国,这种低成本高效的蔗渣/发电联合生产技术的发电潜力预计可达 700~900MW。

五、生物质燃料主要特性及其对锅炉设计的影响

1. 主要特性

(1) 灰熔点低。

1) 典型生物质灰熔点,见表 1-6。