

文章编号: 1674- 6139(2011) 06- 0139- 04

# 秸秆发电环保性能研究

杨艳<sup>1,2</sup>, 朱庚富<sup>2</sup>, 王圣<sup>2</sup>, 王九霄<sup>3</sup>

(1. 南京信息工程大学 环境科学与工程学院, 江苏 南京 210044; 2. 国电环境保护研究院, 江苏 南京 210031;  
3. 重庆电力建设总公司第一建筑装饰分公司, 重庆 400060)

**摘要:** 文章阐述了国内外秸秆发电现状, 并单独突出了江苏省秸秆发电情况。分析了秸秆发电过程中产生污染物的控制技术; 通过秸秆与煤炭对比研究, 同时结合国内秸秆电厂运行情况, 对技术改造前后污染物排放情况作了对比分析, 阐明了秸秆发电的环保性能, 结果显示, CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、烟尘、灰渣减排量可观。最后结合国内秸秆发电厂运行现状不乐观的情况, 总结了秸秆发电实际运行中存在成本偏高、核心技术不成熟、灰渣利用等问题。

**关键词:** 秸秆发电; 环保性能; 现状; 存在问题

中图分类号: X22

文献标识码: A

## Study on Environmental Performance of Straw Power Generation

Yang Yan<sup>1,2</sup>, Zhu Gengfu<sup>2</sup>, Wang Sheng<sup>2</sup>, Wang Jiuxiao<sup>3</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. State Power Environmental Protection Research Institute, Nanjing 210031, China; 3. Chongqing Electric Construction Corporation, the first Architectural Office, Chongqing 400060, China)

**Abstract** The current status of straw power generation at home and abroad is described in this paper and the straw power generation industry in Jiangsu Province is highlighted separately. The control technology of pollutions produced in the process of straw power generation is discussed. By comparison study of straw and coal and integrated with operational situation of domestic straw power plants, the emission contrast analysis before and after technological retrofits is conducted to elaborate environmental performance of straw power generation. The results show that this kind of power technology brings respectable emission reductions to CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dust and ash. At last, the existing problems in actual running of straw power generation such as high costs, immature core technology and incomplete ash usage are summarized in combination with unpleasant situations of domestic straw power plants.

**Key words** straw power generation; environmental performance; status; problems

## 前言

能源是现代生活赖以生存和发展的基础, 也是制约国民经济发展的的重要因素。人类正面临着巨大的能源与环境压力。从全球范围看, 化石能源正在日益耗尽, 当今人类对于化石能源的极大依赖, 不仅给环境带来了严重的污染, 而且由于这种能源逐渐匮乏, 将成为未来社会的潜在危机<sup>[1]</sup>。中国化石能源非常短缺, 从环境保护和能源可持续发展方面看,

发展可再生能源具有长远意义。秸秆是农林生物质的一种, 中国是典型的农业大国, 秸秆资源丰富, 秸秆产量约占全世界秸秆总量的 30%, 每年农作物秸秆资源量约占中国生物质能资源量的近一半<sup>[2]</sup>。秸秆的大规模能源化利用是未来的发展趋势。

## 1 生物质秸秆发电现状及环保性能

### 1.1 现状

#### 1.1.1 国际方面

秸秆资源是重要的可再生能源, 既可以通过锅炉直接燃烧发电和供热, 也可以转化为液体燃料代替汽油和柴油<sup>[3]</sup>。因此, 欧洲国家都把秸秆资源作为优先发展的可再生能源予以高度重视并给予政策

收稿日期: 2010-12-23

作者简介: 杨艳(1986-), 女, 江苏省宿迁市人, 毕业于南京信息工程大学, 硕士研究生, 研究方向: 规划环境影响评价。

和资金的大力支持<sup>[4]</sup>。近几年,世界各国开始高度重视秸秆发电项目的开发,将其作为 21 世纪发展可再生能源的战略重点和具备发展潜力的战略性新兴产业。

丹麦在农作物秸秆和农林废弃物直燃发电方面成绩显著,对于农作物秸秆和农林废弃物资源的利用则倾向于直燃热电联供。只有 500 万人口、43 万 km<sup>2</sup> 土地的丹麦,秸秆发电等可再生能源占了全国能源消费的 24% 以上<sup>[5]</sup>。丹麦于 1988 年建成了世界上第一座秸秆直接燃烧发电厂, BWE 公司率先研发秸秆原料燃烧发电技术<sup>[6]</sup>,迄今在这一领域仍保持世界最高水平。丹麦南部的洛兰岛马里博秸秆发电厂就是一个直接燃烧发电很成功的例子,其装机容量 1.2 万 kW。瑞典、芬兰、西班牙等多个欧洲国家也建成了秸秆发电厂,其中位于英国坎贝斯的农作物秸秆和农林废弃物发电厂是目前世界上最大的秸秆发电厂,装机容量 3.8 万 kW。混合燃烧具有很大的潜力,可以迅速减少二氧化碳的排放量,该技术在斯堪的纳维亚半岛和北美地区使用相当普遍。在美国,有 300 多家发电厂采用生物质能与煤炭混燃技术,装机容量达 6 000 MW。对于气化发电来说,小型生物质气化发电主要集中在非洲的一些国家,以及印度和中国等东南亚国家,而在美国以及欧洲的一些发达国家只有少数供研究用的实验装置;中型生物质气化发电目前在欧洲仅有少量几个项目;大型生物质气化发电技术在国际上远未成熟,主要的应用仍停留在示范和研究阶段。其中生物质联合循环发电方式 (IGCC) 作为先进的生物质气化发电技术,能耗比常规系统低,总体效率可达 40%<sup>[7]</sup>。

### 1.1.2 国内方面

中国对生物质能源利用极为重视,随着《可再生能源法》的实施和与之配套的政策措施的出台,已经催生一批秸秆发电项目。2004 年国家发改委核准了江苏如东、山东单县和河北晋州 3 个秸秆发电项目,此后,全国各地如安徽、湖北、湖南、河南等省份的县市也正积极调研筹备,积极申请秸秆发电项目。目前,在河北、山东、江苏、安徽、贵州、河南、黑龙江等省份均有秸秆发电项目。

2006 年底,由国家发改委和各省发改委核准的生物质发电项目近 50 个,总装机容量超过 1 500 MW。其中 2006 年核准 39 个,总装机容量为 128.4 万 kW,总投资 100.3 亿元,7 个建成并网发电<sup>[7-8]</sup>。截至

2008 年底,国家发改委已审批 170 余项生物质发电项目,总装机 460 万 kW;已投产 50 项,装机 110 万 kW<sup>[9]</sup>。考虑到中国的国情及耕作现实,在中国进行秸秆发电,一般装机容量不宜超过 30MW<sup>[10]</sup>。

### 1.1.3 江苏省

江苏十分重视可再生能源的发展。近年来,在生物质能的开发利用及产业发展方面具有明显的优势,规模化发展形势很好<sup>[11]</sup>。在《江苏沿海地区发展规划》中明确制订了江苏沿海地区生物质能源发展工作目标:强化如东、射阳等秸秆发电项目的示范效应,到 2020 年,秸秆发电装机容量达到 40 万 kW,建设一批生物质能成型燃料、生物质集中燃气等示范工程。

据不完全统计,全省各类农作物秸秆年产量近 3 000 万 t,按热值折算约 1 300 ~ 1 400 万 t 标准煤<sup>[12]</sup>;这一资源相当可观,江苏拟选用秸秆焚烧发电和生物质气化发电为推进生物质能发电的主要形式。在年产农作物秸秆 50 万 t 以上的县或县级市建设 1~2 个发电项目,30 万 t 以上的县建设 1 个发电项目,30 万 t 以下的县条件允许可建设适当规模的秸秆发电项目<sup>[11,13]</sup>。江苏省已经投产或在建的生物质秸秆发电项目,大都引进了国外 (丹麦 BWE) 秸秆直燃发电技术,采用了秸秆直燃发电的技术路线,主要分布在盐城、连云港、宿迁、南通等苏北农作物秸秆丰富的地区<sup>[14]</sup>。据统计,2005 年至 2008 年,江苏省环保厅共批复秸秆发电项目 36 个,其中盐城地区 11 个,连云港 5 个,淮安、南通、宿迁各 4 个,徐州 3 个,泰州 2 个,无锡、扬州、镇江各 1 个。2006 年以来,已有 17 家生物质发电项目获得核准,总装机容量 415 MW。截止 2010 年,苏北已有 11 家秸秆发电厂投产,总装机容量达 280 MW,其中淮安楚州秸秆电厂 2009 年年利用小时为 6 036 小时,超出环评报告里的 6 000 小时,运行状况良好,是秸秆发电厂的典范。

## 1.2 秸秆发电环保性能

### 1.2.1 污染物控制技术分析

#### 1.2.1.1 烟尘

依靠改善燃烧技术无法大幅度提高烟尘的脱除率,需要通过净化装置去除大部分烟尘。目前秸秆发电最常用的除尘器是袋式除尘器,对粒径微米的细微尘粒除尘效率为 99.8% ~ 99.9%,具有适应性强、使用灵活、结构简单、工作稳定等优点,但是它的应用范围受滤料的耐温、耐腐蚀等性能限制,也不宜用于粘性强或是吸湿性强的粉末。对于袋式除尘

器,清灰系统非常重要,如果清灰不畅,则除尘器阻力上升,影响到系统阻力,给设备运行带来障碍。

### 1.2.1.2 NO<sub>x</sub>

秸秆燃烧过程中产生的 NO<sub>x</sub> 主要为 NO 和 NO<sub>2</sub>。对其控制方法一般有:燃烧控制和烟气净化,其中燃烧控制方法包括降低燃烧温度,防止局部产生高温;采用多级送风,低氧燃烧和流化床燃烧等。烟气净化则无需脱硫脱硝处理,只需除尘装置。

### 1.2.1.3 SO<sub>2</sub>

生物质秸秆中含硫量大多都少于 0.20%,所以燃烧时不必设置烟气脱硫装置。将秸秆与煤混燃能够有效减少 SO<sub>2</sub> 的排放量,有关资料<sup>[15]</sup>表明 SO<sub>2</sub> 减排的效果因共燃秸秆和煤种硫含量的不同而不同。同时,多数秸秆灰分中含有大量碱金属或碱土金属的氧化物,能够与 SO<sub>2</sub> 反应生成硫酸盐,起到固硫剂的作用。Spliethoff<sup>[16]</sup>认为当生物质与煤混烧时,烟

气中 SO<sub>2</sub> 的排放大大降低而被有效地吸附在颗粒物之中。Bengt和 Johan等学者<sup>[17-18]</sup>认为燃料中的硫元素更易与 Ca Mg等碱土金属结合以硫酸盐的形式通过汽化凝结富集在亚微米颗粒上。这些研究都表明燃烧秸秆排放 SO<sub>2</sub> 相对于传统能源是很少的一部分。

### 1.2.2 与传统能源对比分析秸秆发电环保性能

#### 1.2.2.1 与燃煤对比

表 1 是一般生物质燃料与煤炭的各成分对比分析<sup>[19]</sup>,表 2 是具体的一个实例分析。如表 1 和表 2 所示:生物质燃料含碳量相对较少,由于其在燃烧过程中排放出的 CO<sub>2</sub> 与其生长过程中所吸收的一样多,燃烧过程中 CO<sub>2</sub> 视为零排放;生物质燃料含氧量较高,含氢量稍多,挥发分也明显较多;生物质燃料含硫量低,燃烧时不必设置烟气脱硫装置;而煤炭的热值明显大于生物质燃料。

表 1 典型生物质燃料与煤炭的主要差别

燃料种类	C (%)	O (%)	H (%)	S (%)	A (%)	V (%)	热值 (MJ/kg)
生物质燃料	38~50	30~40	5~6	0.10~0.20	4~14	65~70	13.97~17.59
煤炭	40~90	3~20	3~5	0.40~0.90	5~35	7~38	25.10~37.24

表 2 某秸秆直燃(二台炉)技改工程所用秸秆与煤对比分析

燃料种类	C (%)	O (%)	H (%)	S (%)	A (%)	V (%)	低位热值 (MJ/kg)
玉米小麦秸秆	41.97	38.56	5.2	0.115	10.69	69.71	15.675
现有煤	45	9.36	3.8	0.85	32.54	25	26.051

以某秸秆直燃(二台炉)技改工程为例,以新建两台直燃秸秆燃烧炉燃烧产生的热量为计算标准,如两台炉燃秸秆量为 214 500 t/a 一年产生相同的热量所需煤量与燃烧煤排放的污染物对比分析情况见表 3。从表 3 中可以看出,相对于煤的燃烧,秸秆燃烧产生 CO<sub>2</sub> 的排放量为零,减排量为 447 745 t/a

SO<sub>2</sub> 减排量为 1 885 t/a 同等热值的秸秆燃烧产生的烟尘量比煤要少很多,减排量达 22 654 t/a 灰渣减排量达 39 098 t/a。表明采用秸秆作为燃料减少了污染物的实际排放量,不仅省去了脱硫装置,降低成本,而且从根本上减轻了对环境的污染。

表 3 某秸秆直燃(二台炉)技改工程同等热值玉米小麦秸秆和煤污染物排放比较(不计脱除效率)

种类	消耗量 (t/a)	CO <sub>2</sub> (t/a)	SO <sub>2</sub> (t/a)	烟尘 (t/a)	灰渣 (t/a)
玉米小麦秸秆	214 500	0	395	21 000	18 000
现用煤	167 695	447 745	2 280	43 654	57 098
减排量	/	447 745	1 885	22 654	39 098

### 1.2.2.2 技术改造前后对比

对燃煤电厂进行技术改造,可以减轻对环境的污染。以中国山东十里泉发电厂为例<sup>[19]</sup>,主要是对该电厂的 5 号机组(140 MW)进行秸秆发电技术改造,增加两台输入热量为 30 MW 的秸秆燃烧器,改造后锅炉可单独燃烧秸秆或单独燃烧煤粉,也可以两种燃料同时混烧。改造后对环境的影响主要表现

在:秸秆燃烧改造项目投产后,5号炉 SO<sub>2</sub> 排放量削减 1 197.3 t/a 由于电厂采用的除尘器效率为 99%,且秸秆灰分含量远小于燃煤中灰分含量,因此也大幅度降低了烟尘排放量。又由于秸秆燃烧量只占锅炉燃烧很小部分,秸秆燃烧后产生的炭灰在锅炉灰中所占比例极低,因此秸秆灰对粉煤灰性能的影响较小。

以某秸秆直燃(二台炉)技术改造为例,该技改工程拆除原 1 号和 2 号 JG75-5.29/485-M 型次高压循环流化床锅炉,新建 2 台 75 t/h 秸秆直燃水冷振动炉排锅炉(次高温次高压)及相应辅助设施。技改后,新增的秸秆燃烧锅炉在无需增加脱硫装置的情况下,SO<sub>2</sub> 的排放量与经脱硫装置脱硫后的燃煤锅炉 SO<sub>2</sub> 的排放量相当,省去了脱硫装置的费用,而烟尘削减量为 158 t/a,NO<sub>x</sub> 削减量为 92 t/a。从实例中可以看出,秸秆发电相对于传统能源发电有很明显的环保优势。

## 2 存在问题及发展前景

虽然生物质资源具有很多方面的优势,但是目前的发展现状不是很乐观,电厂亏损的现象普遍存在,也存在停运或改烧传统能源的现象。目前存在的主要问题有:成本问题、核心技术问题和环保问题。

### 2.1 成本问题

原材料成本问题主要是原材料和设备两方面,主要由以下因素引起:周围生物质发电厂家的竞争导致原材料日益紧缺并且供应时间不均衡;农户的认识意识不强,积极性不高;土地养护保育需求影响秸秆的收购成本;缺少原料收购、运输的专业经营者;原材料缺乏必要的质量保证机制等。缺乏专门制造燃用农林废弃物的锅炉,大量关键发电设备需靠进口和企业长期负担接网设备的维护成本也加大了发电的成本。而且目前中国对可再生能源实行同样的标杆电价、贷款、税收等政策,这是不合理的;虽然有电价补贴政策,但也没有落实到位;结合中国实际情况,秸秆发电厂春节期间普遍存在停产 7~20 天的现象,亏损在 80~200 万,这些在无形中也是增加了发电成本,总体上看成本过高,不利于竞价上网。2010 年 7 月 18 日,发改委发布了《关于完善农林生物质发电价格政策的通知》,出台了全国统一的农林生物质发电标杆上网电价标准,通知规定,未采用招标确定投资人的新建农林生物质发电项目,统一执行标杆上网电价每千瓦时 0.75 元(含税),降低发电成本会更好地推动秸秆发电的发展。

### 2.2 核心技术问题

核心技术的缺乏制约着秸秆发电的发展,下面从三种燃烧方式分别说明存在的一些技术问题:秸秆直燃发电的核心技术有秸秆的预处理,灰渣沉淀堵塞管道和烟气高温腐蚀锅炉设备。从淮安楚州秸秆电厂实际情况看,秸秆粉碎混合过程中,人工机械

混合优于设备自动混合,前期燃料混合设备处于闲置状态。由于秸秆灰中 K、Na 等碱金属的含量相对较高,烟气在高温时(450℃以上)具有较高的腐蚀性。此外,秸秆的飞灰熔点较低,易产生结渣的问题,灰分变成固体和半流体,运行中很难清除,阻碍管道中从烟气至蒸汽的热量传输,严重时甚至会完全堵塞烟气通道。秸秆/煤混燃发电的核心技术同样有上述的问题,由于秸秆与煤的燃烧特性不同,可能造成锅炉效率的下降,以及锅炉运行的不稳定。一般,秸秆的热输入量不得超过锅炉总热输入量的 20%。从宝应协鑫生物质环保热电有限公司掺烧秸秆的实践情况来看,目前掺烧量可达 30%~40%,连续运行经热力试验,测试结果表明:秸秆掺烧量 30% 时,锅炉各项运行参数基本正常,锅炉效率为 88.93%,比纯燃煤时锅炉效率下降 1.43%。虽然与传统的燃煤电厂相比,混燃的大气污染物(SO<sub>2</sub> 以及 NO<sub>x</sub>) 的排放量有所减少,但是其产生的污染排放物还是相当可观,有必要进行脱硫处理。生物质气化发电的核心技术包括:生物质预处理、可燃气的除尘脱焦技术、燃气发电技术以及废水处理问题,这些都是推广气化发电技术的障碍<sup>[4]</sup>。加大对核心技术的开发投资与研究,解决实际问题,推动秸秆发电的健康发展。

### 2.3 环保问题

虽然相对于传统能源的燃烧发电,秸秆有很大的环境保护优势,但是最终还是会有污染物排放,虽然整体上 CO<sub>2</sub> 零排放;秸秆单独燃烧时,无需脱硫装置,SO<sub>2</sub> 的排放也符合标准,但是混合燃烧时还是需要进行脱硫处理;秸秆切割过程中产生的粉尘和燃烧过程中产生的灰渣也不容忽视,对产生的灰渣进行综合利用是解决问题的一个有效办法,目前主要的处理方式有:用作建筑材料,也可作为废弃矿山矿井的填充材料,还可以应用于交通工程,一般秸秆燃烧发电产生的灰渣中钙质比较丰富,可以替代钙肥施加于酸性土壤中,起到增产作用。淮安楚州秸秆电厂的灰主要由运输秸秆的车辆直接返还给需要还田的农户,渣则主要是作填埋处理。灰渣问题对秸秆发电发展十分重要,其综合利用是一个世界性难题。

### 参考文献:

[1]张培远. 国内外秸秆发电的比较研究[D]. 河南:河南农业大学硕士学位论文, 2007 (下转第 163 页)

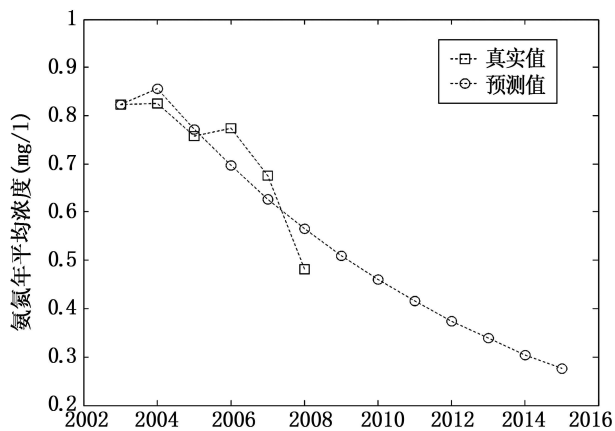


图 1 预测效果图

## 6 结论

从上面的分析事例可以证明, GM ( 1, 1) 模型中的参数  $-a$  可以反映污染物的污染趋势。当  $-a$  为负数时, 污染物浓度呈上升趋势; 当  $-a$  为正数时, 污染物浓度呈下降趋势。另外, 在 GM ( 1, 1) 模型中, 通过灰色作用量  $b$  来反映数据变化的关系。

利用 MATLAB 语言建立的灰色理论模型对湘江株洲段氨氮污染进行预测, 得到的预测模型为, 该模型的精度较好, 可用于湘江株洲段氨氮污染的预测。这使我们更加清楚地了解到氨氮环境污染的现实情况及发展趋势, 为以后的污染防治提供理论依据。

### 参考文献:

- [1] 邓聚龙. 灰色系统基本方法第一版 [M]. 湖北: 华中工学院出版社, 1987: 20- 75
- [2] 庞熙. 应用灰色预测法预测李柳江柳州市区河段氨氮含量的尝试 [J]. 广西水利水电, 2001 (20): 20- 21
- [3] 张苗云, 项成龙. 环境预测中灰色模型的 EXCEL 解法 [J]. 干旱环境监测, 2001, 15 (3): 171- 172
- [4] 梁启斌, 王伟, 唐光明. 灰色系统 GM ( 1, 1) 模型预测滇池草海水污染 [J]. 环境科学导刊, 2009, 28 (4): 75- 77
- [5] 曹玉珍, 莫翠云, 蔡明. 基于 MATLAB 的灰色模型在广州市降尘预测中的应用 [J]. 中国环境监测, 2006, 22 (5): 54- 56
- [2] Lars N kokisen, Carsten Nielsen, Mogens G. Larsen, et al Straw for Energy Production Technology- Environment- Economy [M]. The Centre for Biomass Technology, 1998
- [3] 2003- annual Energy And Transport Review [R]. European Communities, 2005
- [4] Energy Statistics Division Renewables information [R]. International Energy Agency, 2003
- [5] 也飞. 丹麦解决能源问题的经验 [J]. 全球科技经济瞭望, 2005 (52): 53- 55
- [6] 姜述杰, 赵伟英. 浅谈秸秆生物质直燃发电技术 [J]. 锅炉制造, 2009 (4): 40- 42
- [7] 余英, 等. 生物质能及其发电技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2008
- [8] 贾小黎, 航, 李晓真, 等. 中国生物质发电产业现状、问题和建议 [J]. SOLAR ENERGY, 2007 (5): 0- 13
- [9] 石元春. 当前不宜否定秸秆直燃发电. [EB/OL]. <http://news.cau.edu.cn/show.php?id=0000039873>, 2010
- [10] 傅友红, 樊峰鸣, 傅玉清. 我国秸秆发电的影响因素及对策 [J]. 沈阳工程学院学报, 2007, 3 (3): 201- 210
- [11] 许瑞林. 江苏省可再生能源发展概况 [J]. 能源研究与利用, 2007 (6): 34- 36
- [12] 许瑞林. 江苏省可再生能源发展战略构想 [J]. 上海电力, 2007 (6): 618- 621.
- [13] 许瑞林, 魏启东, 陈勇, 等. 江苏省可再生能源规模化发展展望 [J]. 能源研究与利用, 2004, 6- 9
- [14] 何张陈, 袁竹林. 农作物秸秆发电的各种技术路线分析与研究 [J]. 能源研究与利用, 2008 (2): 29- 33
- [15] Lars S b m Pedersen hanne Ph ilbert Nielsen, Soren K i il Full- scale co- firing of straw and coal Fuel [J]. 1996, 75 (13): 1584- 1590
- [16] Spliethoff H, Hein K R G. Effect of co- combustion of biomass on emissions in pulverized fuel furnaces [J]. Fuel Processing Technology, 1998, 54 (1): 189- 205.
- [17] Bengt- Johan Skrifvars Rainer Backman Mikko Hu- pa Ash behavior in a CFB boiler during combustion of coal peat or wood [J]. Fuel, 1998, 77 (1): 65- 70
- [18] Bengt- Johan Skrifvars Ash behavior in a pulverized wood fired boiler a case study [J]. Fuel, 2004, 83 1371- 1379.
- [19] 杨勇平, 董长青, 张俊姣. 生物质发电技术 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.