

· 循环经济与清洁生产 ·

# 秸秆发电环保性能及产业发展前景分析

## Analysis on Environmental Performance and Prospects of Straw Power Generation

杨 艳<sup>1,2</sup>, 朱庚富<sup>2</sup>, 王 圣<sup>2</sup>

(1.南京信息工程大学环境科学与工程学院 南京 210044);

(2.国电环境保护研究院 南京 210031)

**摘要** 阐述了秸秆发电技术及国内外秸秆发电产业发展现状。通过秸秆与煤炭对比研究,阐明了秸秆发电的环保性能,结果显示,CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、烟尘减排量可观。同时结合国内秸秆电厂运行情况,总结了秸秆发电实际运行中存在的技术问题并对其发展前景进行了展望。

**关键词** 秸秆发电 环保性能 现状 前景分析

**Abstract** Straw power generation technology and the development status of straw power generation industry at home and abroad are described in this paper. The environmental performance of straw power generation is elaborated by comparing straw with coal and the results show that this technology brings respectable emission reductions of CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and dust. Besides, in combination with operation of straw power plants at home, technical problems appeared in actual running is summed up. The development prospects of straw power generation are described at last.

**Key words** Straw Power Generation Environmental Performance Status Prospects Analysis

当今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,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,而且由于能源的逐渐匮乏,也给未来社会带来潜在的危机。能源短缺和环境污染已成为全社会普遍关注的焦点<sup>[1]</sup>。我国是化石能源非常短缺的国家,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。我国是典型的农业大国,秸秆资源相当丰富,每年农作物秸秆资源量约占我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 秸秆发电技术与我国的产业发展现状

### 1.1 秸秆发电技术

主要的秸秆发电技术包括直接燃烧发电、混

合燃烧发电和热解气化发电技术<sup>[3]</sup>。

直接燃烧发电技术是指把秸秆原料送入特定蒸汽锅炉产生蒸汽驱动蒸汽轮机从而带动发电机发电的技术。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>[4]</sup>,迄今在这一领域仍保持世界最高水平。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。

混合燃烧发电技术是指将秸秆用于燃煤电厂,使用秸秆和煤两种原料进行发电的技术。近年来,生物质与矿物燃料(主要是煤)的混合燃烧发电得到许多研究和示范应用,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

收稿日期:2010-12-10

基金项目:江苏省沿海地区综合开发战略研究子课题资助(2009LY29)。

作者简介:杨 艳(1986-),女,硕士。研究方向:规划环境影响评价。E-mail:yanggyann@163.com

技术,装机容量达600万kW<sup>[9]</sup>。

热解气化发电技术是指在气化炉中将秸秆等生物质原料气化,生成可燃气体,经过净化供给内燃机或小型燃气轮机,带动发电机发电的技术。小型生物质气化发电主要集中在非洲和东南亚,而在美国以及欧洲只有少数供研究用的实验装置;中型生物质气化发电目前仅在欧洲有少量几个项目;大型生物质气化发电技术在国际上仍停留在示范和研究阶段。作为先进的生物质气化发电技术,生物质整体气化联合循环发电技术(IGCC)能耗比常规系统低,总体效率可达40%<sup>[9]</sup>,也是各国研究的热点。

### 1.2 我国秸秆发电产业发展现状

我国秸秆资源较为丰富,每年秸秆产量大约在6亿t左右,假定有70%的农作物秸秆用于发电,按热值折算约1.9亿t标准煤,相当于120台

100万kW超临界发电机组1年所需的燃煤量。近年来我国已催生一大批秸秆发电项目,截至2010年8月,江苏已有11家秸秆发电厂投产,总装机容量达28万kW。

## 2 秸秆发电环保性能

### 2.1 秸秆燃料工业分析和元素分析

秸秆作为重要的可再生能源,不仅可以作为传统化石能源的有益补充,而且与传统化石能源如煤炭相比,具有显著的环保性能。表1是典型生物质燃料与煤炭的主要成分对比<sup>[1]</sup>。其中,生物质燃料中含硫量大多都少于0.20%,大大低于煤炭的含硫量;生物质燃料含氧量高,含氢量稍多,挥发分也明显较多,更易于燃烧;而煤炭的热值明显大于生物质燃料<sup>[6,7]</sup>。

表1 典型生物质燃料与煤炭的成分分析

燃料种类	C/%	O/%	H/%	S/%	A/%	V/%	热值 /MJ·kg <sup>-1</sup>
生物质燃料	38~50	30~44	5~6	0.10~0.20	4~14	65~70	14.0~17.5
煤炭	55~90	3~20	3~5	0.40~3.00	5~35	7~38	20~25

### 2.2 秸秆直接燃烧发电与燃煤机组环保性能比较

采用秸秆直接燃烧发电是我国目前采用的主要方式。假定秸秆与煤炭燃烧效率相同<sup>[7]</sup>,同等热值典型秸秆燃料与煤炭污染物产生量存在着较大的差异见表2。

表2 同等热值生物质煤和矿物质煤污染物排放比较

污染物	10万t秸秆成型燃料	7万t煤炭(含硫/1%)	减排量
CO <sub>2</sub>	0	1.4 × 10 <sup>3</sup>	1.4 × 10 <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	1.0 × 10 <sup>2</sup>	7.0 × 10 <sup>2</sup>	6.0 × 10 <sup>2</sup>
烟尘	4.0 × 10 <sup>2</sup>	9.8 × 10 <sup>2</sup>	5.8 × 10 <sup>2</sup>
灰渣	5.0 × 10 <sup>3</sup>	2.8 × 10 <sup>4</sup>	2.3 × 10 <sup>4</sup>

2.2.1 CO<sub>2</sub> 秸秆含碳量最高的也仅为50%左右,固定碳的含量明显比煤炭少,因此,秸秆不耐烧,热值较低。秸秆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,其CO<sub>2</sub>的净排放量为零,相对于煤的燃烧,减少了温室气体的排放总量。

2.2.2 SO<sub>2</sub> 平均而言,秸秆含硫量仅为煤炭含硫量的1/5~1/10,甚至更低。秸秆直燃发电一般不需设置脱硫装置,在保护环境的同时还降低了生产成本;而在煤的燃烧过程中80%以上的燃料硫会转变成SO<sub>2</sub>,对环境空气质量产生较大的影响,需采取各种脱硫固硫措施加以控制。

2.2.3 烟尘 秸秆的灰分通常在4%~14%之间,低于煤炭的灰分。目前秸秆发电通常采用袋式除尘器收尘,其除尘效率一般在99.8%~99.9%之间。一般情况下,烟尘排放浓度在30 mg/m<sup>3</sup>以下。

2.2.4 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>。通常采用多级送风等低氮燃烧技术,烟气净化则无需采取脱硝措施。一般情况下,NO<sub>x</sub>排放浓度在300 mg/m<sup>3</sup>以下。

2.2.5 灰渣 同等热值的秸秆燃烧产生的灰渣量比煤炭要少很多。通常秸秆燃烧发电产生的灰可

作为农业用肥，理论上可实现100%综合利用；而产生的渣主要作填埋处理。

以某电厂燃煤发电改为秸秆发电的技改工程为例。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）。表3是技改前后燃料成分的对比情况。

表3 某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 <sup>-1</sup>
玉米小麦秸秆	41.97	38.56	5.2	0.115	10.69	69.71	15.675
煤炭	45	9.36	3.8	0.85	32.54	25	26.051

在产生相同热量的情况下，年秸秆消耗量约为煤炭用量的1.7倍。所产生的污染物量见表4。

表4 某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	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	烟尘	灰渣
玉米小麦秸秆	214 500	0	395	21 000	18 000
煤炭	129 000	344 760	1 755	33 610	43 970
减排量	/	344 760	1 360	12 610	25 970

在不计脱除效率的情况下，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344 760 t/a，SO<sub>2</sub>减排量为1 360 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12 610 t/a，灰渣减排量达25 970 t/a。从实例中可以看出，采用秸秆作为燃料减少了污染物的实际排放量，从根本上减轻了对环境的污染，相对于传统能源发电有很明显的环保优势。

### 2.3 秸秆混燃发电的环保性能

混燃不仅可以加大秸秆的燃烧效率，还能够有效地减少燃煤SO<sub>2</sub>的排放量。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>[9]</sup>认为当生物质与煤混烧时，烟气中的SO<sub>2</sub>排放大大降低而被有效吸附在颗粒物上。Bengt等<sup>[9, 10]</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。

秸秆与煤炭混燃，一般情况下秸秆的热输入量不得超过锅炉总热输入量的20%。在此情况下，发电厂锅炉等现存设备无需太大改动，从而降低了投资费用。从江苏宝应某热电厂掺烧秸秆

的实践情况来看，目前掺烧量可达30%~40%，经热力试验测试，在现有燃煤机组中掺烧秸秆量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略有下降，下降幅度约1.43%。

### 2.4 秸秆气化发电的环保性能

秸秆气化发电对环境的污染最小，是3种发电技术中最清洁的发电技术。气化发电除了可发挥秸秆发电本身的环保优势外，还能有效控制NO<sub>x</sub>的排放，这是因为气化过程温度一般较低(约在700~900℃)，由此导致NO<sub>x</sub>的生成量有所降低<sup>[11]</sup>。但由于气化发电技术本身固有的特点，目前实际应用状况并不如秸秆直燃发电广泛。

## 3 展望

我国生物质秸秆发电还存在一些问题，如秸秆直燃发电中秸秆的预处理、灰渣沉淀堵塞管道和烟气高温腐蚀锅炉设备等。

秸秆直燃发电将是今后一段时间内我国秸秆发电的主要方式。该技术在大规模推广应用，尚需要尽快解决好实际运行中出现的技术难题以及秸秆大规模收集与运输等问题。

秸秆混合燃烧发电技术简单,使用方便,设备投资省,是秸秆燃烧发电的发展方向。但仍需解决一系列技术问题:①要将生物质秸秆处理成符合燃煤锅炉或气化炉的要求。②由于秸秆与煤的燃烧特性不同且秸秆的不稳定性使得锅炉的稳定燃烧复杂化,可能造成锅炉效率的下降,以及锅炉运行的不稳定。③秸秆燃烧生成的碱会使燃煤电厂中脱硝催化剂失活,影响燃煤机组的脱硝效率。

我国开发的中小规模生物质秸秆气化发电技术具有投资少,发电成本较低,灵活性好的特点,比较适合于生物质秸秆的分散利用<sup>[9]</sup>。但同时需要解决秸秆预处理、可燃气的除尘脱焦技术、燃气发电技术以及废水处理等问题,这些都是推广秸秆气化发电技术的障碍<sup>[12]</sup>。

近几年,世界各国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。我国秸秆发电的发展空间巨大,需要加大对其核心技术的研究与开发,解决好实际运行中存在的技术问题,推动秸秆发电的健康发展,充分发挥秸秆发电的环保优势。

(上接第65页)

### 3 结论

利用着色PetriNet的理论在建立了与工程分析所用代数系统同构的PetriNet模型后,应用CPNtools可以自动产生传统环境评价工程分析需要的工艺流程、产污节点分析、污染源分布、物料平衡和水平衡、有组织、无组织污染源统计及分析、污染物排放总量分析、清洁生产、物料、能耗、污染物产生分析、环保措施的可行性分析等,从而实现环境评价报告的自动化评审、保存、重用、仿真模拟等,并为环境监测、环境监察、环境执法、排污收费、生态监察等提供有

### 参考文献

- [1] 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,2007:4.
- [2] Lars Nikolaisen, Carsten Nielsen, Mogens G Larsen, et al. Straw for Energy Production Technology-Environment-Economy[R]. The Centre for Biomass Technology,1998.
- [3] 刘首元. 我国秸秆发电产业化发展前景[J]. 水利电力机械, 2007,2(12): 207-210.
- [4] 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.
- [5] 余英. 生物质能及其发电技术[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Bengt-Johan Skrifvars, Rainer Backman, Mikko Hupa. Ash behavior in a CFB boiler during combustion of coal, peat or wood[J]. Fuel, 1998, 77(1): 65-70.
- [10] Bengt-Johan Skrifvars. Ash behavior in a pulverized wood fired boiler a case study[J]. Fuel, 2004,83: 1371-1379.
- [11] 黄剑光. 浅谈生物质气化在发电技术应用[J]. 应用能源技术, 2009(4): 25-29.
- [12] 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.

力的技术支持。同时也为将环评理论移植到大型分布式仿真系统提供了有效的途径。

### 参考文献

- [1] 李爱贞,周兆驹,林国栋,等. 环境影响评价实用技术指南[M]. 北京:机械工业出版社,2008:1-27.
- [2] Ma Yunfeng, Hu Xiaomin, Huang Yonggang. The research on the Environmental Assessment Automation System-C<sup>2</sup>ISRE based on C<sup>2</sup>ISR theory[C]. 6th International Conference on Information Technology: New Generations, Nevada: Proceedings to be published by the IEEE Computer Society,2009: 1485-1497.
- [3] 罗雪山,罗爱民,张耀鸿,等. Petri网在C<sup>2</sup>ISR系统建模、仿真与分析中的应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2007:297-296.
- [4] University of Aarhus CPN Group Computer Tool for Color Petri Nets [EB/OL]. <http://wiki.daimi.au.dk/cpntools/cpntools.wiki>
- [5] 袁崇义. Petri网原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2005:66-69.