

生物质发电燃料成本分析

王爱军, 张燕, 张小桃

(华北水利水电学院, 电力学院, 郑州 450011)

摘要: 为了对生物质发电成本进行分析, 论文对生物质气化发电、直燃发电、混燃发电等几种主要的生物质发电方式进行了讨论, 建立了生物质燃料消耗量模型和燃料成本计算模型。在相同的发电容量 (15 MW) 基础上, 计算了不同发电方式对应的年燃料消耗量、年燃料收购费用和运输费用和燃料成本。结果表明, 发电效率对燃料成本有较大影响, 生物质直燃发电的燃料成本约为其它方式的 2 倍。

关键词: 生物质发电, 燃料费用, 计算模型, 成本分析

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.z1.004

中图分类号: TK6, TM619

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-Supp.1-0017-04

王爱军, 张燕, 张小桃. 生物质发电燃料成本分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊 1): 17-20.

Wang Aijun, Zhang Yan, Zhang Xiaotao. Fuel cost analysis of biomass power generation [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Supp.1): 17-20. (in Chinese with English abstract)

0 引言

生物质发电包括生物质气化、直燃、混燃等方式^[1-2], 每种发电方式都有其自身的运行特点及要求, 如果没有合理地评估生物质发电的可行性, 盲目投产, 将导致电厂亏损, 进一步影响生物质发电技术的推广和应用^[3-4]。生物质电厂成本分析是生物质电厂建设的基础, 而生物质燃料成本是发电成本的主要组成部分^[5]; 通过比较和分析不同生物质发电方式下的生物质燃料成本, 可以为生物质发电技术的推广和应用提供理论基础及参考。

中国生物质的特点是资源丰富, 但分布分散, 收集和运输困难, 制约了生物质发电的推广和应用^[6-7]。对于生物质发电这样一个新兴产业, 分析其燃料成本构成, 有助于合理安排收集和运输, 降低燃料成本和控制生产成本, 对生物质发电的推广有重大意义。

1 生物质发电过程

生物质发电包括: 生物质气化发电、生物质直接燃烧发电、生物质与煤混合燃烧发电等, 如图 1 所示。

生物质气化发电: 包括气化和发电两个主要过程。首先将生物质经过气化和净化装置转化成洁净的可燃气, 然后在内燃机或燃气轮机内燃烧发电, 其发电效率大约在 30% 左右。

生物质直燃发电: 生物质燃料在锅炉中直接燃烧释放能量并加热工质水产生蒸汽, 蒸汽驱动汽轮发电机发电。小型汽轮发电机组总体上技术比较成熟, 造价较低,

但其发电效率较低, 只有 20% 左右。这也成为生物质直燃发电成本高的内在原因, 导致多数生物质直燃电厂呈现亏损局面。

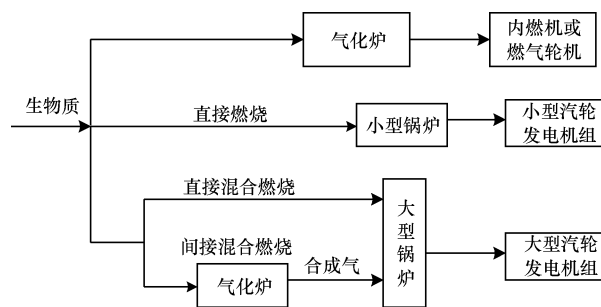


图 1 生物质发电的主要方式

Fig.1 Main ways of biomass power generation

生物质直接混燃发电^[8]: 将生物质经过粉碎等预处理后与煤一起送入炉膛进行燃烧释放出能量。生物质混燃发电可以保持较高的发电效率, 可达 38%。但生物质直接混合燃烧在锅炉运行中存在一些问题, 甚至影响到锅炉的正常运行。

生物质间接混合燃烧发电: 将生物质气化后生成的合成气输送至锅炉与煤混合燃烧进行发电。气化是生物质燃料的一种前期处理形式。这种方式适用于大型发电机组, 不仅能保持较高发电效率, 而且送入锅炉的是合成气, 对锅炉燃烧影响较小。

2 生物质发电燃料成本计算模型

燃料成本是发电成本的主要组成部分, 它与燃料的收购费用、运输费用、存储费用和机组发电效率有关。

2.1 生物质燃料消耗量计算模型

单位电能对应的燃料消耗量计算公式为:

收稿日期: 2010-12-31 修订日期: 2011-02-17

基金项目: 河南省教育厅科技攻关项目 (2008A47005); 郑州市科技发展计划 (074SCCG32108-5)

作者简介: 王爱军 (1967-), 男, 河南温县人, 副教授, 主要从事能源开发和利用方面的研究。郑州 华北水利水电学院, 450011。

Email: wangaijun@ncwu.edu.cn

$$b_{fuel} = \frac{3600}{LHV_{fuel}\eta_e} \quad (1)$$

式中, b_{fuel} 为燃料消耗率, kg/kWh; LHV_{fuel} 为燃料低位热值, kJ/kg; η_e 为发电效率, %。

其中生物质气化与煤混燃发电效率为:

$$\eta_e = \eta_{gasifier}\eta_{cp} \quad (2)$$

式中, η_{cp} 为原燃煤机组发电效率, %; $\eta_{gasifier}$ 为气化效率, %。

电站规模直接决定了生物质电厂的燃料年消耗量。根据生物质发电单位电能燃料消耗量, 生物质燃料年消耗量计算公式为:

$$B_{fuel} = b_{fuel} P_e a \quad (3)$$

式中, B_{fuel} 为燃料年消耗量, t/a; P_e 为发电机功率, MW; a 为机组年运行小时数, h。

影响电厂发电效率的主要因素有: 锅炉效率和汽轮机效率。目前燃煤电站锅炉的热效率已经达到 90% 以上, 生物质电厂的锅炉效率略低于燃煤锅炉的效率, 最高可达 88%。因此, 生物质电厂锅炉效率方面的影响较小, 主要的影响因素在汽轮机效率方面。机组容量与蒸汽初参数对汽轮机效率有直接的影响, 从而影响发电效率。

目前, 燃煤发电的机组单机容量大(可达 1 000 MW)和蒸汽初参数高(压力超过 34 MPa, 温度达到 650℃), 发电效率可以达到 42%; 而生物质直燃电厂单机容量小(低于 25 MW), 蒸汽初参数低(压力 3 MPa 左右, 温度 400℃左右), 发电效率大约 15%~20%。

2.2 生物质发电燃料费用计算模型

生物质发电的燃料到厂价格即燃料费用包括生物质的收购价格、运输费用和其他费用。由于农业废弃物的堆积密度低、运费高, 收集和运输费用构成了生物质燃料费用的主要部分。

生物质发电燃料费用的计算公式为:

$$z_{fuel} = p_{fuel} + y_{fuel} + q_{fuel} \quad (4)$$

式中, z_{fuel} 为燃料费用, 元/t; p_{fuel} 为燃料收购价格, 元/t; y_{fuel} 为燃料运输费用, 元/t; q_{fuel} 为其他部分费用, 包括储存和预处理费用, 元/t。

年燃料收购费用为:

$$C_{fuel} = B_{fuel} P_{fuel} \quad (5)$$

式中, C_{fuel} 为年消耗燃料收购费用, 元/t。

运输费用与收集半径有直接的关系。收集半径越大, 运输费用越高。随着电站规模的扩大, 生物质的收集和运输范围将会变大, 使发电成本增高。

生物质燃料的年需求量和资源密度是决定生物质收集范围、运输距离的重要指标^[9]。以生物质分布密度为基础, 可以决定收集范围和运输距离, 公式如下:

$$S = \frac{B_{fuel}}{\rho} \quad (6)$$

式中, S 为生物质的收集范围, km²; ρ 为生物质分布密度, t/(km²a)。

根据收集范围确定收集方案, 生物质电厂的燃料需

求量大, 需要建立多个小的秸秆储运站(收购点), 分散收集秸秆后再由收储点集中运送到电厂, 根据生物质需求量确定收储点的数量, 每个收储点收购的生物质量相同, 如图 2 所示。计算得出收集范围 S 之后, 按照图 2 的布局, 可以计算生物质电厂收购秸秆的平均运输距离。假设共 n 个收储点, 单个收储点距生物质电厂的距离 L_i , 得出生物质电厂收购秸秆的平均运输距离:

$$L = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} \quad (7)$$

式中, L 为收储点到生物质电厂的平均运输距离, km。

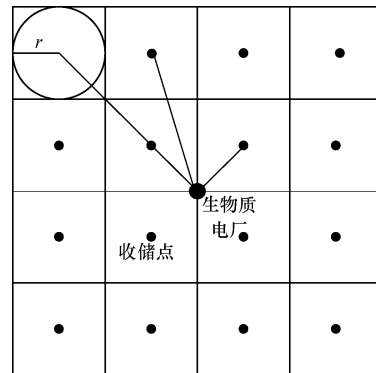


图 2 生物质收集距离

Fig.2 The distance of collecting biomass

燃料年运输费用的计算公式为:

$$Y_{fuel} = B_{fuel} YL \quad (8)$$

式中, Y_{fuel} 为年燃料运输费用, 元/a; Y 为单位运输费用, 元/(t·km)。

年燃料费用的计算公式为:

$$\begin{aligned} Z_{fuel} &= z_{fuel} B_{fuel} \\ &= B_{fuel} p_{fuel} + B_{fuel} YL + Q_{fuel} \\ &= C_{fuel} + Y_{fuel} + Q_{fuel} \end{aligned} \quad (9)$$

式中, Z_{fuel} 为年燃料费用, 元/a; Q_{fuel} 为年燃料所需的其他费用, 元/a。

2.3 生物质发电燃料成本计算模型

单位电能燃料成本的计算:

$$z = \frac{b_{fuel} P_{fuel}}{1000} + \frac{b_{fuel} YL}{1000} + q \quad (10)$$

式中, z 为单位电能所需燃料成本, 元/kWh; q 为单位电能所需的其他费用, 元/kWh。

3 计算实例

3.1 生物质发电燃料消耗量的计算

在计算的过程中, 燃料其他费用(包括预处理、储存)不易确定, 本文只讨论收购费用和运输费用。

在不同发电方式下, 发出相同的电量, 生物质的需求量不同, 收集和运输费用也不同。假如发电功率为 15 MW, 年运行时间为 6 500 h, 生物质燃料的低位热值为 15 222.98 kJ/kg, 假定间接混燃的气化炉气化效率为

85%，计算得到的不同发电方式对应的生物质发电的燃料消耗量，如表 1 所示。

从表 1 可以看出，燃料消耗量和发电效率密切相关，发电效率越大，燃料消耗量越小。生物质与煤直接混燃发电效率达 38%，是生物质直燃发电效率 15% 的 2 倍多，其年消耗燃料则比直燃发电的一半还要少。其他几种发电方式燃料消耗量也明显低于生物质直燃发电的年燃料消耗量。

表 1 生物质发电（15 MW）燃料消耗量

Table 1 Fuel consumption mass flow of biomass power generation (15 MW)

发电方式	发电效率/%	燃料消耗率/(kg·kWh ⁻¹)	年燃料消耗量/t
直燃	15	1.5766	153 715
直接混燃	38	0.6223	60 677
间接混燃	38×0.85	0.7390	72 053
气化（内燃机）	30	0.7883	76 857
燃气—蒸汽联合循环	35	0.6757	65 877

3.2 燃料费用的计算

中国平均秸秆资源密度为 88.55 t/(km²·a)，在全国 8 大区中，黄淮海地区是中国秸秆资源密度最高的地区，2005 年平均达到 380.53 t/(km²·a)^[10]，目前秸秆电厂的收购价在 150~200 元/t，计算过程中取秸秆收购价为 170 元/t。运输距离小于 30 km 选用公路卡车运输，单位距离运输费用折合为 0.3396 元/(t·km)^[11]。计算得到的不同发电方式对应的生物质发电燃料费用如表 2 所示。

表 2 生物质发电（15 MW）燃料费用

Table 2 Fuel costs of biomass power generation (15 MW)

单位：万元

发电方式	年收购费用	年运输费用	燃料费用
直燃	2 613.15	39.24	2 652.39
直接混燃	1 031.51	9.72	1 041.23
间接混燃	1 224.92	12.59	1 237.51
气化（内燃机）	1 306.58	13.87	1 320.45
燃气—蒸汽联合循环	1 119.92	11.01	1 130.93

从表 2 可以看出，生物质发电燃料年收购费用和年运输费用随着发电方式的不同而变化。燃料年收购费用明显高于年运输费用。随着发电方式的改变，燃料费用有较大的变化。

3.3 发电效率对燃料成本的影响

燃料消耗量与发电效率有直接的关系，效率越高，燃料消耗量越小；并且燃料成本与燃料消耗量有关，消耗量越大，成本就越高。燃料成本随发电效率变化而变化的过程曲线如图 3 所示。

从图 3 可以看出，燃料成本受发电效率的影响很大，并且随着效率的增大而降低。发电效率低的生物质直燃发电方式，燃料成本随发电效率提高，降幅较快。提高发电效率是降低生物质发电燃料成本有效的方法之一。

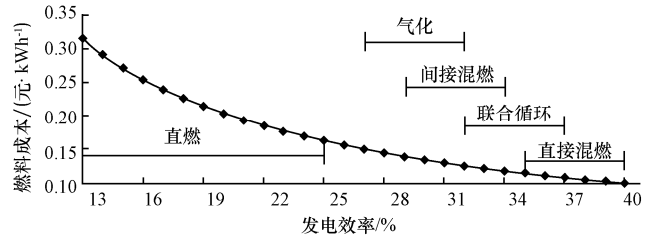


图 3 发电效率对燃料成本的影响

Fig.3 Impact of generation efficiency on fuel cost

3.4 燃料费用对燃料成本的影响

根据表 1 中的各种生物质发电方式对应的发电效率，经过计算得到的燃料成本随燃料费用增大而增大的变化过程如图 4 所示。

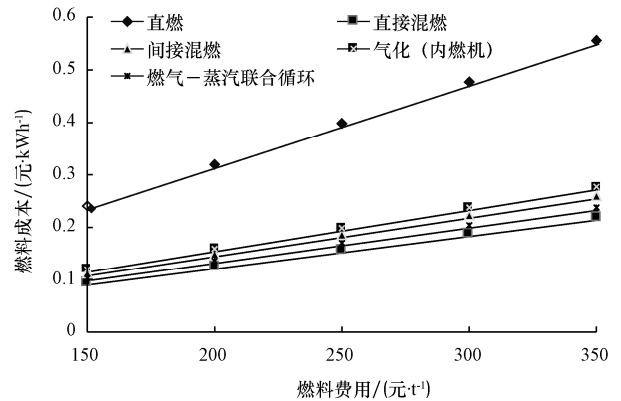


图 4 燃料费用对成本的影响

Fig.4 Impact of fuel price on fuel cost

燃料成本与燃料费用线性相关，随着燃料费用的提高而增大。燃料价格是市场供需两方面控制的，生物质电厂单方面无法改变，当生物质发电采用直燃方式，发电效率只有 15% 左右时，燃料成本随着燃料费用的上升快速增大，当燃料价格为 250 元/t，生物质直燃发电的燃料成本大约为 0.4 元/kWh；而生物质与煤混燃发电可以提高生物质发电效率，从而降低单位电能的燃料成本，当燃料费用为 250 元/t 时，混燃发电对应的燃料成本低于 0.2 元/kWh；生物质气化发电由于其发电效率与混燃发电接近，其燃料成本也与混燃接近。因此，生物质直燃发电的燃料成本约为其它方式的 2 倍。

4 结论与讨论

燃料成本是发电成本的主要组成部分。本文建立了生物质发电燃料成本计算模型，计算了生物质直燃发电、直接混燃发电、间接混燃发电、气化（内燃机）发电和燃气-蒸汽联合循环发电等方式的燃料成本。生物质直燃发电燃料成本明显高于其它生物质发电方式的燃料成本。

目前，中国对生物质直燃电厂采取了上网电价补贴政策，促进了生物质电厂的发展。但由于机组容量小，效率低，加上收购价格上涨，燃料成本较高，多数电厂处于亏损状态。采用生物质混燃等方式发电可以提高生

物质能源利用率,降低燃料成本。中国对生物质混燃发电还没有相关的补贴政策,限制了该项技术的推广。因此,中国应进一步完善生物质发电相关政策,激励企业采用新技术,一方面提高生物质能源的利用效率,另一方面降低燃料成本,增加发电企业的利润。

[参 考 文 献]

- [1] Peterson D, Haase S. Market Assessment of Biomass Gasification and Combustion Technology for Small- and Medium-Scale Applications[R]. NREL/TP-7A2-46190, July 2009.
- [2] Maniatis K. Progress in Biomass Gasification: An Overview, in Progress in Thermochemical Biomass Conversion (ed A. V. Bridgwater)[M]. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, 2008.
- [3] 余英,等. 生物质能及其发电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008, 1-7.
- [4] 马隆龙, 吴创之, 孙立. 生物质气化技术及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003, 177-180.
- [5] 邢爱华, 刘罡, 王焱. 生物质资源收集过程成本、能耗及环境影响分析[J]. 过程工程学报, 2008(8): 305-313.
Xing Aihua, Liu Gang, Wang Yao, et al. Economic, energy and environment analysis on biomass collection process[J]. Chinese Journal of Process Engineering, 2008(8): 305-313. (in Chinese with English abstract)
- [6] 毕于运, 高春雨, 王亚静. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报, 2009(25): 211-217.
Bi Yuyun, Gao Chunyu, Wang Yajing, et al. Estimation of straw resources in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009(25): 211-217. (in Chinese with English abstract)
- [7] 赵军, 王述洋. 我国生物质能资源利用[J]. 太阳能学报, 2008(29): 90-93.
Zhao Jun, Wang Shuyang. Bio-energy resource and its utilization in China[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2008(29): 90-93. (in Chinese with English abstract)
- [8] 雅克·范鲁, 耶普·克佩耶. 生物质燃烧与混合燃烧技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [9] 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): 206-210.
Fu Youhong, Fan Feng-ming, Fu Yuqing. Influence factors and resolution about the straw power generation in China[J]. Journal of Shenyang Institute of Engineering, 2007, 3(3): 206-210. (in Chinese with English abstract)
- [11] 毕于运, 王亚静, 高春雨. 中国主要秸秆资源数量及其区域分布[J]. 农机化研究, 2010, 3(3): 1-7.
Bi Yuyun, Wang Yajing, Gao Chunyu. Straw resource quantity and its regional distribution in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 3(3): 1-7. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张展, 王利生, 张培栋, 等. 区域秸秆资源最优化收集路径与运输成本分析[J]. 可再生能源, 2009, 27(3): 102-106.
Zhang Zhan, Wang Lisheng, Zhang Peidong, et al. Collection path optimization and transportation cost analysis of regional stalk resource[J]. Renewable Energy, 2009, 27(3): 102-106. (in Chinese with English abstract)

Fuel cost analysis of biomass power generation

Wang Aijun, Zhang yan, Zhang Xiaotao

(Institute of Electric Power, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: In order to analyze the biomass power generation cost, several main ways of biomass power generation, such as biomass direct combustion, co-combustion and biomass gasification combined cycle, were discussed. The fuel consumption mass flow calculation models and fuel cost models were established. Based on the same power generation capacity (15 MW), annual fuel consumption mass flow, biomass purchase price, transportation price and fuel cost were calculated. The results show that power generation efficiency has greater influence on fuel cost and biomass direct power generation fuel cost is 2 times of the others.

Key words: biomass power generation, fuel price, calculation model, fuel cost analysis