

# 可变成本报价排序上网方法的可行性研究

黄诗文<sup>1</sup>, 姚建刚<sup>1</sup>, 谢宇翔<sup>2</sup>, 陈华林<sup>2</sup>, 李文杰<sup>2</sup>

(1. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 湖南湖大华龙电气与信息技术有限公司, 湖南 长沙 410082)

**摘要:** 以节能减排为目标, 为增强节能发电调度的可操作性和市场竞争性, 在对火电厂可变成本与煤耗的关系进行计算和比较分析的基础上, 提出了可变成本报价排序上网的新方法。通过广泛调研数据分析和建立可变成本与煤耗的关系模型, 论证了这种新方法的可行性, 并对特殊情况下的可变成本报价排序上网方法进行了科学的修正。实例表明, 用可变成本报价排序上网是切实可行的。

**关键词:** 可变成本; 煤耗; 报价; 上网; 排序

## Feasibility study based on variable-cost bidding method of sorting to the grid

HUANG Shi-wen<sup>1</sup>, YAO Jian-gang<sup>1</sup>, XIE Yu-xiang<sup>2</sup>, CHEN Hua-lin<sup>2</sup>, LI Wen-jie<sup>2</sup>

(1. College of Electric Information and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. Hunan HDHL Electric & Informantion Techco. LTD, Changsha 410082, China)

**Abstract:** To save power and reduce emission and enhance the operability and competitiveness of the energy-efficient power generation scheduling, variable-cost bidding of sorting to the grid as a new method is proposed, which is based on the calculation and analysis of the relationship between coal consumption and variable-cost in thermal power plants. After widely collecting data, building and investigating the relational model of variable cost and the coal consumption, this paper validates this new method is feasible. In the meanwhile, variable-cost bidding is scientifically improved in some special cases. According to the reality, taking use of this method is practicable.

This work is supported by the Innovation Fund for Technology based Firms (No.07C26214300719).

**Key words:** variable-cost; coal consumption; bidding; on-grid power generation; sequencing

中图分类号: TM73; F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)17-0116-05

## 0 引言

煤炭在我国一次能源生产和消费中所占比例通常在70%左右, 而火力发电占到发电总容量的80%以上, 我国“富煤、贫油、少气”的资源特点决定了火力发电厂长期仍以燃煤作为主要一次能源<sup>[1-3]</sup>。因此节约发电能源有着很重要的现实意义。

国家发改委提出节能发电调度, 并在江苏、河南、四川、贵州及广东进行试点。节能发电调度是指以节能减排为核心目标, 在保障电力可靠供应的前提下, 按照各类不同容量发电机组的供电能耗水平, 从低能耗机组到高能耗机组依次安排发电。按照这个标准, 全国电网将尽最大能力多安排水能、风能、核能等清洁能源发电, 多安排大容量、低煤耗火电机组发电, 很大程度上实现了节能发电调度要求的充分利用可再生资源 and 节能减排的目标<sup>[4-5]</sup>。

但节能发电调度本质上是一种行政手段, 以节能、环保、经济为原则, 通过行政计划分配发电量指标, 缺乏与电力市场的结合, 不能反映电力市场的市场竞争性, 与早先计划体制下的按等耗量微增率准则经济调度没有多大区别。

可变成本是衡量效率的标准, 同时可变成本可以很好地反映市场信息, 且在电力市场中具有可操作性<sup>[6-7]</sup>, 而按能耗排序上网的技术核心就是“效率优先”上网。于是依据国家发改委的《节能发电调度办法(试行)》的精神<sup>[8]</sup>, 通过对大量火力发电厂的数据进行计算和比较分析后发现火力发电厂中可变成本不仅可以替代煤耗进行排序, 还可以很好地反映市场竞争性<sup>[9]</sup>。

## 1 可变成本与煤耗的关系模型

### 1.1 可变成本定义

发电厂的发电成本可分为两类: 可变成本和固定成本<sup>[10]</sup>。可变成本是指受产量变化影响的成本,

基金项目: 国家科技部创新基金(07C26214300719)

主要包括煤费、油费、环境保护费和购入电力费等; 固定成本是指在生产规模不变时期内不受产量变化影响的成本, 主要包括建设厂房、购买设备的费用折旧、贷款的利息、水资源费、材料费、职工薪酬、折旧费、修理费和一些其他固定支出等。因此, 发电成本  $C$  可以表示为:

$$C = V_C + F_C \quad (1)$$

式(1)中:  $V_C$  为发电可变成本;  $F_C$  为发电固定成本。

## 1.2 可变成本与煤耗关系模型的建立

表 1 某火电厂可变成本与煤耗统计表

Tab.1 Calculation of variable-cost and coal consuming in one power plant

	2007 年上半年	2008 年上半年	2008 年 6 月	2008 年 7 月	2008 年 8 月	2008 年 9 月
可变成本	640 484 546.19	719 094 644.70	129 707 069.42	139 859 215.23	133 256 887.15	129 516 982.67
1、煤费	625 880 167.58	6 962 05434.65	126 125 945.17	136 326 781.58	129 579 586.32	125 964 235.17
2、油费	3 453 318.59	7 263 732.76	917 458.84	891 585.54	947 193.23	887 928.04
3、环境保护费	9 220 267.00	12 233 803	1 898 209.00	1 923 518.22	1 917 063.88	1 857 632.52
4、购入电力费	1 930 793.02	3 391 674.29	765 456.41	717 329.89	813 043.72	807 186.94
煤费在可变成本中所占的比例/%	97.719 8	96.816 9	97.239 1	97.474 3	97.240 4	97.256 9

建立可变成本与煤耗的关系模型如下(为了便于比较, 用煤费代替煤耗建立模型):

$$\begin{aligned} & \text{Min } (\eta, \eta^*) \\ & \text{Max } |\eta - \eta^*| \\ & \text{s.t. } \begin{cases} \eta = \frac{\lambda \cdot \rho}{V_{CL}} \\ V_{CL} = Q_C + \lambda \cdot \rho \\ \rho = \rho_{CL} \cdot S \end{cases} \quad (2) \end{aligned}$$

式(2)中:  $\eta$  为煤费在可变成本中所占的比例;  $\lambda$  为每单位发电量的标准煤煤耗;  $\rho$  为标准煤的价格;  $V_{CL}$  为机组出力为  $P$  时, 每单位发电量的可变成本;  $Q_C$  为每单位发电量可变成本中的非煤耗成本;  $S$  为标准煤与实际用煤的换算关系, 即一单位的标准煤燃烧时所发的热量与  $S$  单位实际煤所发的热量相同;  $\rho_{CL}$  为实际用煤的价格;  $\Delta\eta$  为煤费在可变成本中所占比例的改变量;  $\eta^*$  为煤价发生变化后煤费在可变成本中所占的比例。

## 1.3 求解模型

对这个模型求解分两个步骤进行。

火电厂成本 70%以上用于购买煤炭, 如果仅考虑可变成本, 燃煤费用占可变成本的 90%左右<sup>[3-11]</sup>。对华中地区多家火力发电厂的发电成本进行分析后发现, 在可变成本中煤费占了 94%以上(表 1 是某火力发电厂的可变成本与煤耗统计情况)。若煤耗一定, 当煤价发生变化时, 煤费占可变成本的比例仍然在 90%左右, 且煤费在可变成本中所占比例的变化范围低于 2%。由此说明在火电厂中煤费直接影响甚至决定着可变成本的大小和改变量, 两者是可以替代的。

步骤 1: 求解  $\text{Min}(\eta, \eta^*)$ , 即计算可变成本与煤耗在量上的关系, 以此论证可变成本与煤耗在量上的取代可行性。

要论证可变成本与煤耗在量上的关系, 其本质就是求解模型中的  $\eta$  与  $\eta^*$  中较小的值是否在 90%左右。对模型中的  $\eta$  进行求解时, 分别取原始比例为 94%和 98%两个极限进行计算, 煤价的变化范围取 -30%~+30% (在电厂的实际购煤过程中, 各电厂购煤的煤价可能有差别, 但一般都不会超过 10%, 取这样大的一个变化范围, 目的是要更加充分地论证可变成本与煤费在量上的取代是可行的)。将确定的原始值代入模型, 得到的煤费在可变成本中所占比例的曲线如图 1 所示。

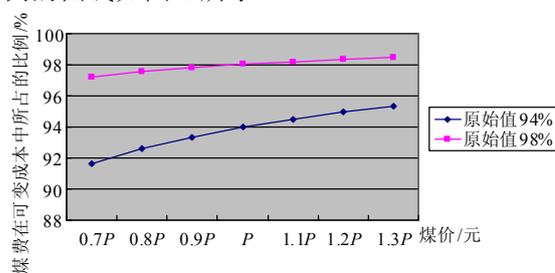


图 1 煤费在可变成本中所占比例的统计曲线

Fig.1 Statistical curve of proportion of coal consuming in variable-cost

图 1 中, 当煤价发生改变时, 煤费与煤价同步变化, 且煤费在可变成本中所占的比例在 90% 以上, 由此论证了可变成本在量上取代煤耗是可行的。

步骤 2: 求解  $\text{Max} |\eta - \eta^*|$  的关系曲线, 以此论证可变成本在质上取代煤耗的可行性。同步骤 1, 可以求得  $\text{Max} |\eta - \eta^*|$  的关系曲线如图 2。

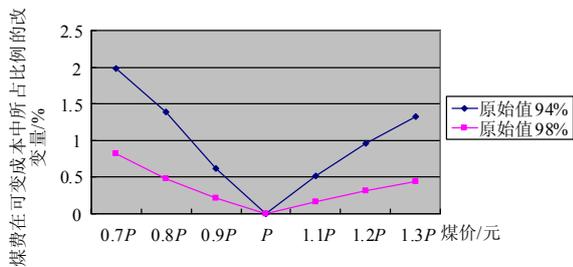


图 2 煤费在可变成本中所占比例变化值的曲线

Fig.2 Curve of mutative proportion of coal consuming in variable-cost

图 2 中, 当煤价发生改变时,  $\Delta\eta$  的变化量小于 2%, 从而证明了煤费的变化直接决定了可变成本的变化, 两者的改变量单调同步, 且两者改变量的大小基本相等, 所以可变成本在质上取代煤耗是可行的。

通过对模型的求解, 已经论证了可变成本取代煤耗的可行性。但在实际的排序上网中各台机组之间的可变成本可能会遇到一些特殊因素的影响而使排序结果与能耗的排序结果不一样, 需要作进一步探讨。

## 2 可变成本报价取代煤耗排序上网的可行性论证

在前面的模型中不难发现, 直接影响可变成本的是煤价。对于不同的电厂, 购买煤的方式可能不一样, 购买煤的地点即购煤运程也可能不一样, 这两者是造成购煤成本即煤价产生差异的主要因素, 本文只考虑这两种因素的影响而进行探讨。当各电厂都以同样的方式购买燃煤, 在运程也相差不大时, 可变成本与煤耗的关系就和模型中求解的结果一样, 其取代是可行的。

在电厂的购煤方式上, 分为购买计划煤和市场煤。电厂在政府计划下购买的煤为计划煤, 这部分煤的购买量是有限的, 往往不够电厂使用, 因此, 各电厂为了多发电上网, 追求更多的利润, 就会从市场上购买燃煤, 这部分煤就称为市场煤, 一般市场煤要比计划煤的价格高 6% 到 10%。由于可变成本的变化趋势是与煤价的变化趋势一致的, 因此,

当电厂高价购入市场煤时, 其可变成本也将相应地增加, 这就使购买市场煤的电厂在以可变成本排序上网的竞争处于不利<sup>[12]</sup>, 更主要的是不能客观反映出能耗排序的真实性, 达到节能减排的目的。为了更加公平地实现排序上网, 充分地反映出能耗排序的结果, 必须对购买市场煤的机组上报的可变成本进行处理, 用处理后的值代替可变成本进行上网排序, 同时在考虑节能减排的基础上, 建立可变成本的煤价处理模型:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \frac{V_{CL}}{\kappa} \\ & \text{s.t} \quad 1.06 \leq \kappa \leq 1.10 \\ & V_{CL}^* = \frac{V_{CL}}{\kappa} \end{aligned} \quad (3)$$

式 (3) 中:  $\kappa$  是为了对可变成本进行处理而引入的修正系数, 由市场煤与计划煤在价格上的关系确定其取值范围为  $1.06 \leq \kappa \leq 1.10$  (当市场煤与计划煤在价格上的关系发生改变时  $\kappa$  的取值范围也将发生改变);  $V_{CL}$  为机组出力为  $P$  时, 每单位发电量的可变成本;  $V_{CL}^*$  为可变成本被处理后的值。

对此模型求解得出  $\kappa=1.06$ 。同时对大量的火力发电厂的可变成本与煤耗排序结果进行比较后也得出  $\kappa$  取 1.06 最佳。

对煤价造成直接影响的因素还有购煤的运费, 当电厂离购煤地远时, 运费高, 煤价也就相应地提高了。其结果同样是不能客观地反映出能耗排序的真实性, 使电厂在排序上网的竞争处于不利。

由于煤炭的运输费用是按交通部门制定的运价执行的, 相对固定<sup>[3]</sup>。其可变成本的运输处理模型为:

$$V_{CL}^+ = V_{CL} - \delta \cdot s \quad (4)$$

式 (4) 中:  $\delta$  为交通部门制定的煤炭运输费用的执行单价;  $s$  为电厂购煤的运程;  $V_{CL}^+$  是可变成本减去燃煤运输费用后的值。

通过以上可变成本运输处理模型的计算, 电厂上报的可变成本又回到了市场煤和计划煤的单一问题上。

## 3 算例以及分析

表 2 是火电厂 A、火电厂 B 和火电厂 C 在 2008 年 6、7、8、9 月的可变成本和煤耗统计情况, 每个电厂都有两台机组, 其中火电厂 B 的两台机组发电用的是市场煤。表 3 是这三个电厂各机组在 2008 年 6、7、8、9 月的单位标准供电煤耗的统计情况, 现在对这六台机组分别用可变成本和能耗进行排序

上网, 比较两种方法进行排序上网的结果。由于火电厂 B 用的是市场煤, 因此需要将火电厂 B 的两台机组的可变成本用可变成本煤价处理模型处理之后再行排序, 处理后的可变成本见表 4。

表 2 火电厂 A、B、C 2008 年 6 到 9 月可变成本统计表

Tab.2 Statistical table of variable-cost in power plant A and B and C (from July to Sept, 2008)

		元/MWh			
		6月	7月	8月	9月
火电厂 A	A <sub>1</sub> : 200 MW	290.94	292.20	290.67	290.50
	A <sub>2</sub> : 300 MW	0	261.72	263.10	263.04
火电厂 B	B <sub>1</sub> : 300 MW	299.69	299.34	301.63	296.23
	B <sub>2</sub> : 600 MW	277.16	276.39	275.94	273.68
火电厂 C	C <sub>1</sub> : 125 MW	313.51	313.96	329.47	0
	C <sub>2</sub> : 310 MW	270.37	271.87	271.61	271.10

表 3 火电厂 A、B、C 2008 年 6 到 9 月单位标准供电煤耗统计表

Tab.3 Statistical table of standard coal consumption per power supply in power plant A,B,C (from July to Sept, 2008)

		g/kWh			
		6月	7月	8月	9月
火电厂 A	A <sub>1</sub> : 200 MW	362.87	364.44	362.53	362.32
	A <sub>2</sub> : 300 MW	0	326.43	328.15	328.07
火电厂 B	B <sub>1</sub> : 300 MW	343.14	342.74	345.38	339.13
	B <sub>2</sub> : 600 MW	318.24	323.13	322.61	314.21
火电厂 C	C <sub>1</sub> : 125 MW	391.02	391.58	410.93	0
	C <sub>2</sub> : 310 MW	337.22	339.08	338.76	338.13

表 4 火电厂 A、B、C 2008 年 6 到 9 月可变成本修正表

Tab.4 Amendatory table of variable-cost of power plant A, B and C (from June to Sept, 2008)

		元/MWh			
		6月	7月	8月	9月
火电厂 A	A <sub>1</sub> : 200 MW	290.94	292.20	290.67	290.50
	A <sub>2</sub> : 300 MW	0	261.72	263.10	263.04
火电厂 B	B <sub>1</sub> : 300 MW	282.73	282.40	284.56	279.46
	B <sub>2</sub> : 600 MW	261.47	260.75	260.32	258.19
火电厂 C	C <sub>1</sub> : 125 MW	313.51	313.96	329.47	0
	C <sub>2</sub> : 310 MW	270.37	271.87	271.61	271.10

对表 3 的能耗进行上网排序, 排序的原则是能耗低的机组先上网:

B<sub>2</sub> —— A<sub>2</sub> —— C<sub>2</sub> —— B<sub>1</sub> —— A<sub>1</sub> —— C<sub>1</sub>

对表 4 的可变成本修正值进行上网排序, 排序的原则是可变成本低的机组先上网:

B<sub>2</sub> —— A<sub>2</sub> —— C<sub>2</sub> —— B<sub>1</sub> —— A<sub>1</sub> —— C<sub>1</sub>

对上面按能耗排序上网的结果和按可变成本排序上网的结果进行比较, 可以发现其结果是一样的, 这就表明在这个实例中可变成本和能耗具有同样的上网排序结果, 对很多实例进行比较的结果均证明了可变成本取代煤耗进行排序上网是可行的。

## 4 结论

本文建立了可变成本与煤耗的关系模型, 通过对实例和关系模型的分析与计算, 论证了火力发电厂用可变成本取代煤耗进行排序上网的可行性。对于用可变成本取代煤耗进行排序上网时可能面对的特殊问题, 本文也提出了相应的修正办法。

本文论证的结果可以延伸到整个发电调度, 风能、太阳能、海洋能、水能、生物质能、核能等清洁能源发电的可变成本远远低于火力发电, 就这些能源本身具有的可再生性、清洁性和无远距离运输等特点, 使得其在与火力发电厂就可变成本排序上网的竞争中占优势, 这个结果与《节能发电调度办法(试行)》中的发电调度原则一致, 即用市场竞争的方式实现了行政手段所强制实现的目标。

## 参考文献

- [1] 刘韬文, 朱孝杰. 考虑风力发电的电力系统经济调度[J]. 继电器, 2008, 35 (增刊): 276-279.  
LIU Tao-wen, ZHU Xiao-jie. Economic dispatch of power system incorporating wind power plant [J]. Relay, 2008, 35 (S): 276-279.
- [2] 焦庆丰, 朱光明, 李明, 等. 我国火电厂能耗现状及节能潜力分析[J]. 湖南电力, 2008, 28 (1): 20-21.  
JIAO Qing-feng, ZHU Guang-ming, LI Ming, et al. Status quo of energy consumption and analysis of energy saving potentiality in China thermal power plants[J]. Hunan Electric Power, 2008, 28 (1): 20-21.
- [3] 严菲, 谭忠富, 等. 竞价环境下燃煤发电企业降低发电成本的储煤优化模型[J]. 电力学报, 2008, 23 (1): 5-8.  
YAN Fei, TAN Zhong-fu, et al. The optimized model on coal storage to reduce cost in coal-consuming power plant in competitive circumstances[J]. Journal of Electric Power, 2008, 23 (1): 5-8.
- [4] 丁军威, 夏清, 胡旸, 等. 《节能发电调度办法》政策解读[J]. 电力学报, 2008, 23 (3): 215-217.  
DING Jun-wei, XIA Qing, HU Yang, et al. Policy reading of on-grid power generation sequencing with energy consumption taken into account[J]. Journal of Electric Power, 2008, 23 (3): 215-217.
- [5] 白建华, 张风营, 等. 发电调度: 电力降耗突破口[J]. 纵深, 2007 (2): 22-23.  
BAI Jian-hua, ZHANG Feng-ying, et al. Power

generation management: breakthrough on energy saving in power industry[J]. Depth, 2007 (2): 22-23.

[6] 姚建刚, 唐捷, 李西泉, 等. 发电侧电力市场竞价交易模式的研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24 (3): 78-83.  
YAO Jian-gang, TANG Jie, LI Xi-quan, et al. Research of price competing trade mode of power supply in power market[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (3): 78-83.

[7] 丁军威, 夏清, 胡旸, 等. 发电侧逐步市场化的竞价新模式[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (3): 10-15.  
DING Jun-wei, XIA Qing, HU Yang, et al. A new model for gradually establishing competitive generation market[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (3): 10-15.

[8] 唐茂林, 王超. 基于节能发电原则的实时发电调度优化模型的研究[J]. 继电器, 2008, 36 (7): 47-50.  
TANG Mao-lin, WANG Chao. Research on the real-time dispatching optimization model of energy-saving generation in Sichuan grid[J]. Relay, 2008, 36 (7): 47-50.

[9] 陈宇晨, 侯志俭. 论电力市场的饱和和电价[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24 (3): 51-55.  
CHEN Yu-chen, HOU Zhi-jian. The study of the saturation phenomenon of spot price in electric power market[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (3): 51-55.

[10] 谭厚章, 苗杨, 王洋, 等. 煤质多变下火电厂最经济煤种决策[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29 (14): 1-5.  
TAN Hou-zhang, MIAO Yang, WANG Yang, et al. Decision of the most economical in power plant with coal quality variation[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29 (14): 1-5.

[11] 李涛, 蒋传文, 侯志俭. 发电侧电力市场的成本报价模型[J]. 水电能源科学, 2001, 19 (3): 35-36.  
LI Tao, JIANG Chuan-wen, HOU Zhi-jian. Pricing model of cost on the side of power supply in power market[J]. International Journal Hydroelectric Energy, 2001, 19 (3): 35-36.

[12] 施泉生, 吴基灵, 等. 发电企业竞价上网的经济分析及风险控制[J]. 改革与战略, 2008, 24 (5): 152-154, 22.  
SHI Quan-sheng, WU Ji-ling, et al. The economic analysis and risk control of power plants bidding[J]. Reformation and Strategy, 2008, 24 (5): 152-154, 22.

收稿日期: 2009-09-13; 修回日期: 2009-12-23

作者简介:

黄诗文 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力市场及其技术支持系统、电力系统稳定性; E-mail: hswdsl55555@126.com

姚建刚 (1952-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事负荷预测、电力市场、配电系统自动化、高压外绝缘等方面的研究与教学工作;

谢宇翔 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力市场及其软件开发。

(上接第 115 页 continued from page 115)

[7] 范文涛, 程林, 孙元章. 电网改造简化经济分析方法研究[J]. 继电器, 2004, 32 (19): 80-84.  
FAN Wen-tao, CHENG Lin, SUN Yuan-zhang. Research on simplified economic evaluation for power grid renovation[J]. Relay, 2004, 32 (19): 80-84.

[8] 国家发展改革委、建设部. 建设项目经济评价方法与参数[M]. 北京: 中国计划出版社, 2006.

[9] 钟庆, 吴捷, 黄武忠, 等. 动态规划在电力建设项目投资决策中的应用[J]. 电网技术, 2002, 26 (8): 48-51.  
ZHONG Qing, WU Jie, HUANG Wu-zhong, et al. Application of dynamic programming for investment decision[J]. Power System Technology, 2002, 26 (8): 48-51.

[10] 牛辉, 程浩忠, 张焰, 等. 电网扩展规划的可靠性和经济性研究综述[J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (1): 51-56.  
NIU Hui, CHENG Hao-zhong, ZHANG Yan, et al. Review of reliability and economy problems in transmission expansion planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (1): 51-56.

收稿日期: 2009-09-16; 修回日期: 2009-12-28

作者简介:

黎灿兵 (1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电网优化与节能减排; E-mail: licanbing@gmail.com

傅美平 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统规划与运行、评估。