

长期合约电量对电力市场价格影响的定量分析

宋正强¹, 侯志俭¹, 王承民¹, 杨辉玲²

(1. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200040; 2. 山东邹县发电厂, 山东 济宁 250010)

摘要: 长期合约交易是有效抑制市场力行为、促进电力市场稳定发展的措施之一。然而, 近年来许多文献对长期合约的作用仅限于定性分析。以博弈论为理论基础, 建立古诺竞争模型, 分析了市场力产生的机理, 对不同经济模式下的价格变化进行了详细的数学推导。并根据电力系统安全稳定要求, 计算了长期合约电量占总发电量不能超过的最大比例, 指出该比例与发电系统和输电系统的可靠性、电网的安全性、损耗是密切相关的。最后, 利用算例对比方法进行了验证。结果表明, 长期合约能够有效地抑制市场力行为, 随着长期合约交易比例的增大, 市场价格逐步降低, 同时整个电力市场电量供应增加。

关键词: 长期合约; 市场力; 电力市场稳定; 最大比例; 古诺模型

Quantitive analysis of forward contract's effect on power price

SONG Zheng-qiang¹, HOU Zhi-jian¹, WANG Cheng-min¹, YANG Hui-ling²

(1. School of Electronics and Electric Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;
2. Shandong Zouxian Power Plant, Jining 250010, China)

Abstract: Long-term contract is one of effective methods for refraining market power and improving the power market stability. However, the roles of long-term contract are limited to the analysis of nature. In this paper, a dynamic model based on game theory is proposed to describe the source of market power and deduce formulations of power market price in different economic environments. The max proportion of long-term contract power is calculated and it is related closely with the reliability, security and loss of generation and transmission systems. Finally, a sample is used to test the exact effect of long-term contract on power price. The results show that it is valid by using long-term contract to restrain market power. In addition, with the proportion of long-term contract increasing, power price will lower gradually and the volume of power will expand in the whole power market.

Key words: forward contract; market power; stability of power market; max proportion; Cournot game

中图分类号: TM73; F123.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)04-0058-03

0 引言

电力行业引入竞争进行市场化改革的目的是为了提高电力行业的效率, 降低电费, 使老百姓从中受益, 更好地推动国民经济发展。然而发展电力市场, 首先应该保证电力市场的稳定性^[1]。

而市场力对电力市场稳定性具有最大的破坏力, 同样, 近年来国内也有不少学者针对如何抑制发电方市场力, 促进电力市场稳定等问题作了一些研究工作^[2-5], 主要是采用长期合约交易, 但都没有定量分析。

本文针对这一问题, 利用博弈论知识建立电力市场动态均衡数学模型, 定量分析长期合约电量在不同比例情况下, 市场力可得到不同程度约束, 电价将会有不同变化, 确定了长期合约电量的最高比

例上限。

1 电力市场古诺模型

设某一区域市场有两个寡头发电企业, 市场电力需求总量 $X = x_1 + x_2$, x_1, x_2 分别为发电企业 1、2 的发电量。各企业在假定对方选择一定发电量为 x_i 的情况下进行竞争, 则企业各自的利润为

$$R_i = \Pi_i - TC_i(x_i) \quad (i=1,2) \quad (1)$$

目标函数为选择发电量 x_i 使得利润 R 最大化。其中, TC_i 为总成本, $\Pi_i = px_i$ 为总收益, p 为市场出清价格。

$$\text{这里 } p = \phi(X) = \alpha(x_1 + x_2) + \beta \quad (2)$$

α, β 为价格函数常数; 设各发电集团成本函数为 $TC_i = A + Bx_i + Cx_i^2$, A, B, C 分别为常数。式 (1) 最大化的条件为:

$$\frac{\partial R_i}{\partial x_i} = \phi'(X)x_i + p - MC_i(x_i) = 0 \quad (i=1,2) \quad (3)$$

即边际收益等于边际成本。

由式(2), 式(3)联立得

$$\beta + 2\alpha x_i + \alpha x_{j \neq i} = MC_i(x_i) \quad (i=1,2) \quad (4)$$

对于式(2), 我们可以将市场运行的一组历史数据如出清价、交易量代入, 可以确定需求函数的系数 α, β 。而对于式(4), 我们可以得到两个发电企业各自的生产反应曲线, 即

$$x_1 = \tilde{x}_1(x_2), \quad x_2 = \tilde{x}_2(x_1) \quad (5)$$

从而确定古诺均衡点、社会总收益以及社会无谓损失的大小。

2 考虑长期合约电量的数学模型

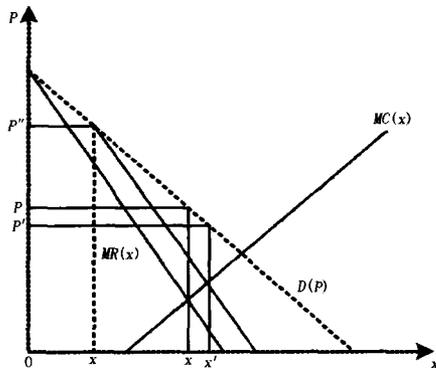


图1 具有长期合约电量的市场均衡

Fig.1 Equilibrium of power market with long-term contract

一般来说, 如果签订了长期合同的话, 贸易市场的价格弹性会增大, 寡头的市场支配力则会变低^[4]。因为, 当发电方与电力购买者、使用者等签订电力长期合同时, 市场中交易双方可控制的电量将减少。在图1中, 长期合同电量在0到x之间变化。关于此长期合同部分, 价格p为固定值, 企业对余下的电量部分进行利润最大化竞争。这样一来, 最大收入曲线受供给量x的点(而不是供给量0的点)的牵引, 向左移动。其结果, 供给量从x增加到x', 价格从p下降到p'。

在图1中, 本文假设需求方是按照需求价格的高低顺序来签订长期合同的。由此假设进行延伸, 所有拥有p'以上的需求价格的需求者能够签订长期合同, 而只有需求价格在p'以下者参加短期市场, 对应的长期合约电量为x_i。此种现象虽然不一定完全符合现实, 但长期合同电量的存在会降低短期市场的价格这一结论并不受该假定的影响。

$$\begin{aligned} \text{Max}_{x_i} R_i = & \phi(x_i + x_{j \neq i})(x_i - \underline{x}_i) + p_i'' \underline{x}_i - TC_i(x_i) \\ & (i=1,2) \end{aligned} \quad (6)$$

这里x_i为i发电企业总发电量, 包括长期合约电量。

$$\frac{\partial R_i}{\partial x_i} = p + (x_i - \underline{x}_i)\phi'(x_i + x_{j \neq i}) - MC_i = 0 \quad (i=1,2) \quad (7)$$

同样, 可以得到两个发电企业各自的生产反应曲线, 即

$$x_1 = \tilde{x}_1(x_2), \quad x_2 = \tilde{x}_2(x_1) \quad (8)$$

进一步可以算出在签订长期合约电量后竞争市场的价格、社会总收益以及无谓损失的大小。

3 长期合约电量的最大比例问题

在电力市场环境下, 电力系统面临着更多的不确定性因素, 从而影响了实际可用发电容量的大小, 影响了系统的长期稳定性。因此, 长期合约电量占总电量的比例还要受到电力系统实际运行条件的限制。

从发电侧来看, 设 α 为发电侧综合影响系数^[5], 取值为93%; 而对于输电系统来说, 设 β 为输电侧综合影响系数, 取值为96.4%; 类似取 γ 为用电侧综合影响系数, 为95%。这些都是电力市场实施过程中的不确定性因素, 考虑到这些不确定性因素后, 长期合约电量交易的最大比例为 $(1 - \alpha\beta\gamma)$, 则合约市场所占的最大比例为: $93\% \times 96.4\% \times 95\% = 85.1694\%$; 实时市场所占比例为14.8306%。

但是, 这并不能说明所有的市场都应该以这种比例为上限的, 从上面的分析中也可以看出, 这种比例与发电系统和输电系统的可靠性、电网的安全性、损耗是密切相关的。

4 算例分析

本文中, 设电力市场中有两个发电集团, 他们的线性边际成本曲线系数如表1所示。

表1 发电集团边际成本系数

发电集团	b	c
1	10	0.02
2	10	0.02

表1中的两个发电集团的边际成本系数相同, 是为了将问题简单化, 可以更容易观察到长期合约电量的比例对电力市场价格的影响。

这里, 价格曲线为 $p = \alpha X + \beta$, 其中

$\alpha = -0.01, \beta = 40$ 。

1) 寡头垄断模式下市场价格

此种模式下, 发电集团竞价原则: 边际成本= 边际收益。

对发电方 1 有

$$(2\alpha - c)x_1 + \alpha x_2 = b - \beta \quad (9)$$

同样对于发电方 2 有

$$(2\alpha - c)x_2 + \alpha x_1 = b - \beta \quad (10)$$

$$\text{得 } x_1 = x_2 = \frac{\beta - b}{c - 3\alpha} = 600, \quad p = 28。$$

这里本文选择两个发电集团发电边际成本系数相同, 因此两发电集团发电量应该一样, 市场利润平分。

2) 自由竞争模式

竞价原则: 边际成本= 边际价格

$$\text{发电方 1: } p = \alpha(x_1 + x_2) + \beta = b + cx_1 \quad (11)$$

$$\text{发电方 2: } p = \alpha(x_1 + x_2) + \beta = cx_2 + b \quad (12)$$

$$\text{得 } x_1 = x_2 = \frac{\beta - b}{c - 2\alpha} = 750, \quad p = 25。$$

3) 寡头垄断模式下加长期合约电量模式

竞价原则: 边际收益= 边际成本。

发电方 1

$$R_1 = 2\alpha x_1 + \alpha x_2 - \alpha \bar{x}_1 + \beta = MC_1 = b + cx_1 \quad (13)$$

发电方 2

$$R_2 = 2\alpha x_2 + \alpha x_1 - \alpha \bar{x}_2 + \beta = MC_2 = b + cx_2 \quad (14)$$

这里为了验证合约电量抑制市场力的作用, 可先假定发电方 1、2 均采用 10% 合约电量; 其次对每一个发电方又可以采用适当合约策略进行利润最大化。假设合约电量为 10%, 即 $\bar{x}_1 = 0.1x_1$

$$\text{得 } x_1 = x_2 = \frac{\beta - b}{c - 2.9\alpha} = \frac{40 - 10}{0.02 + 0.029} = 612.24, \\ p = 27.36。$$

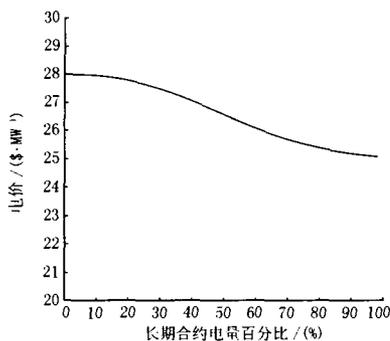


图 2 电价与长期合约电量比例关系图

Fig.2 Proportion between power price and long-term contract electricity

图 2 为合约电量在不同比例时, 电价变化曲线。

可以看出, 加入合约电量后, 市场电量总和增加, 各发电方总出力也增加, 市场价格受到抑制。而且随着合约电量比例的增加, 电价逐步逼近自由竞争模式下市场电价, 这是由于长期合约电量本身具有较大的需求弹性。

5 结论

本文利用博弈论建立了电力市场交易长期动态模型, 从数学上详细推导了长期合约电量对市场电价的影响, 进而分析了长期合约电量比例对市场力行为的抑制作用。

通过考虑电力系统实际运行的情况, 文中给出了最大交易比例的上限。最后, 利用具体算例计算了长期合约电量比例分别在 10%, 30%, 60%, 90% 情况下的市场电价。其中 30%, 60%, 90% 比例下的电价变化由图形曲线给出。

为促进电力市场长期稳定发展, 发电方的市场力行为值得深入研究, 尤其是该如何采取市场策略来抑制市场力。这里, 本文在研究电力市场长期稳定性时, 仅仅考虑了长期合约电量比例的影响。今后, 将几种影响市场力因素同时考虑, 如市场电力容量的变化、机组效率的提高等, 将能够得到更加准确、贴近实际的结果。

参考文献

- [1] 赖业宁, 薛禹胜, 王海风. 电力市场稳定性及其风险管理[J]. 电力系统自动化. 2005.27(12): 18-24.
LAI Ye-ning, XUE Yu-sheng, WANG Hai-feng. Electricity Market Stability and Its Risk Management[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(10): 6-10.
- [2] Mota W S, Alavarado F L. Power Markets Stability Considering Energy Imbalance[A]. In: ISCAS2000-IEEE International Symposium on Circuits and Systems[C]. 2000: Switzerland. 665-668.
- [3] 迟正刚, 张敏. 远期合同市场对电力市场稳定性的影响[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(9): 11-14.
CHI Zheng-gang, ZHANG Min. Effect of Forward Contract Market on Electricity Market Stability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(9): 11-14.
- [4] 张少华, 李渝曾, 王长军, 等. 电力市场中的远期合同交易[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(10): 6-10.

(下转第 83 页 continued on page 83)

工作配合密切, 但双方都忽略了作为 35 kV 母联开关的低压过流保护动作时限 (3 s) 的调整, 即可能会出现 35 kV 某一条出线发生故障, 保护拒动或开关拒跳, 母联 20 开关将迟于电源进线开关跳闸 (1 号、2 号主变 35 kV 侧开关在 35 kV 母联 20 开关前首先跳闸) 或不跳闸, 这样势必造成事故扩大, 继电保护装置将无选择性动作, 这是十分危险的。后经与有关方面磋商, 将 35 kV 母联 20 开关低压过流保护动作时限由 3 s 改为 0.2 s, 从而使 35 kV 系统的过流继电保护动作时限实现: 35 kV 线路继电保护动作时限 0 s, 35 kV 母联 20 开关继电保护动作时限 0.2 s, 35 kV 系统电源开关继电保护动作时限 0.3 s, 真正符合“阶梯性”原则。即便如此, 依笔者愚见, 根据电磁型过电流继电保护的现状以及少油开关 CD₃-X 直流电磁型操作机构的实际情况分析, 上述时间调整仅是基本原则而已, 实际有多大意义, 两级保护时间仅差 0.1 s, 这在目前设备状况下是否真能实现保护的选择性, 还有待于实践检验。

6 满足母差保护时的特殊运行方式

该厂 110 kV 的固定运行方式为 I 母线接 11、13、14、19 号开关, II 母线接 12、14、16、18 号开关, 母联开关 10 号在合闸位置, 母差保护为母联电流相位比较式母线差动保护, 3 号主变已经停役, 1 号机组也已调停, 故 110 kV 系统电源仅为 12 号和 14 号开关 (即 2 号和 4 号主变的 110 kV 侧开关), 且同在一条母线上运行, 另一组母线无电源支路。由于该母联电流相位比较式母线差动保护

的动作原理要求, 任一组母线必须有电源支路, 保护才能有选择性地切除故障, 所以目前的这种固定运行方式必须调整, 否则, 在电源支路集中的 II 母线短路时, 该型保护将拒动或无选择性动作, 由后备保护动作, 亦可能在 10 号开关穿越功率一定时由于母差不平衡电流增大, 或系统扰动导致 I 母线差动保护误动。调整 12 号和 14 号开关分别运行在两组母线上, 使每一组母线都有电源支路, 即便是停役任何一台机组或任何一台主变, 对母联电流相位比较式母线保护的选择性而言, 必须满足每一母线上有电源支路, 只有这样, 才能保证事故情况下保护有选择性的可靠动作, 将事故限制在最小范围, 使事故不致扩大。

7 结论

这种根据现场实际接线及设备工况临时改变运行方式, 变更保护动作时限以及系统安全稳定自动装置投入方式的方法仅是尝试, 今后还将根据生产实践及网络改造的需要, 进行探索和试验, 或将母差保护升级为比率制动式母线保护, 以及将机组的控制系统进行 DCS 和 NCS 优化改造, 为保证电力系统的稳定运行、主设备的完好和保证用户的供电可靠性提供科学决策的依据。

收稿日期: 2006-05-30; 修回日期: 2006-06-12

作者简介:

孙国彬 (1963-), 男, 高级技师, 从事发电厂与电力系统运行工作; E-mail: hbdcsgb3215@sina.com

蔡子亮 (1965-), 男, 副教授, 从事电路与系统研究工作。

(上接第 60 页 continued from page 60)

ZHANG Shao-hua, LI Yu-zeng, WANG Chang-jun, et al. Forward Contracts in Electricity Markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(10): 6-10.

[5] 王承民, 袁智强, 侯志俭. 电力市场的均衡失灵问题探讨[J]. 电网技术, 2004, 28(13): 65-69.

WANG Cheng-min, YUAN Zhi-qiang, HOU Zhi-jian. A Discussion on Power Market Equilibrium and Its Failures[J]. Power System Technology, 2004, 28(13): 65-69.

收稿日期: 2006-10-18; 修回日期: 2006-12-14

作者简介:

宋正强 (1974-), 男, 博士研究生, 研究方向为电力市场; E-mail: songyang@sjtu.edu.cn

侯志俭 (1942-), 男, 博士生导师, 教授, 研究方向为电力市场、静态安全分析及配电网重构;

王承民 (1970-), 男, 博士后, 研究方向为电力市场。