

基于发电商地理位置的金融输电权与市场力分析

郭兴磊¹, 张宗益^{1,2}, 汪锋¹

(1. 重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学电力能源技术经济研究院, 重庆 400044)

摘要: 金融输电权可以规避由于输电阻塞导致的区域价格风险, 但同时也带来了一系列新的纵向市场力问题。介绍了金融输电权理论, 重点应用博弈论研究了发电商与负荷地理位置相同和不同两种情况下, 金融输电权对发电商市场力的影响度问题。分析了输电容量、输电份额、需求弹性、发电成本等与这种影响度的关系。结果表明: 金融输电权可以大幅度降低电力出口区发电商的市场力, 略微提高电力进口区发电商的市场力。

关键词: 金融输电权; 市场权力; 地理位置; 电力市场; 博弈论

Financial transmission rights and market power based on generator's geographic location

GUO Xing-lei¹, ZHANG Zong-yi^{1,2}, WANG Feng¹

(1. School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Electric Energy Technology and Economy Institute, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Financial transmission rights(FTR) provide a financial tool for market participants to hedge against price risks due to transmission congestion. But at the same time, it gives rise to problems of vertical market power. Firstly, the concept of FTR is introduced. Then, based on game theory, the influences of FTR on intrinsic market power are researched in the two situations that the locations of generators and load are the same or not. Finally, the relationships between the influences and the transmission capacity, elasticity of demand, cost function coefficients are discussed. The results show that the FTR can mitigate the market power of generators in an exporting region markedly, while the FTR can increase the market power of generators in an importing region slightly.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 70941029).

Key words: financial transmission rights; market power; geographical location; electricity market; game theory

中图分类号: TM734; F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)02-0008-05

0 引言

我国电网结构薄弱, 电力资源与负荷分配不均衡, 发电商规模参差不齐, 壁垒问题严重等因素决定了我国电力交易市场化后会出现较程度的输电阻塞现象^[1]。在输电容量不足的情况下发电商由于所处地理位置的不同会具有不同的市场力^[2]。同时输电阻塞造成的电价区域不确定对市场形成了“分裂”, 相应的电价机制称为“区域电价”。由区域边际电价(Locational Marginal Price, LMP)理论^[3]知, 当输电网出现阻塞时, 各区域边际电价将出现大幅差异。Hogan (1992年)首次提出金融输电权(Financial Transmission Rights, FTR)的概念^[4], 规避这种区域

价格风险。利用金融输电权还可以公平合理的分配阻塞成本^[5]。

金融输电权引入电力市场后, 给发电商带来了一系列新的纵向市场力问题^[6]。关于市场力的研究主要集中在大发电商的横向联合问题上, 金融输电权与发电商原有市场力关系研究还不多, 主要有: Bushnell 最早研究发现金融输电权的引入会使阻塞租金在发电商与输电公司两者之间发生转移^[7]。Joskow 和 Sarkar 从发电商的市场结构的角度研究了金融输电权对发电商市场力的影响^[8-9]。Pritchard 和 Stoft 则研究了金融输电权对发电商的最优投标曲线的影响^[10-11]。与以上研究角度不同, 本文从发电商与负荷需求相对位置的角度, 研究金融输电权对发电商原有市场力的影响。

首先介绍了金融输电权的基本理论, 接着重点

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70941029)

研究了由于发电商与负荷需求所处地理位置的差异导致的金融输电权对发电商原有市场力的影响, 最后分析其与输电容量、输电权份额、发电成本系数及需求弹性等之间的关系。

1 金融输电权

金融输电权作为一种金融工具可以规避区域价格风险。基于实时电价理论的金融输电权是定义在节点与节点之间的, 节点边际价格已经包含了阻塞费用, 隐含考虑了阻塞的机会成本。结合图 1 进一步解释金融输电权的基本原理。

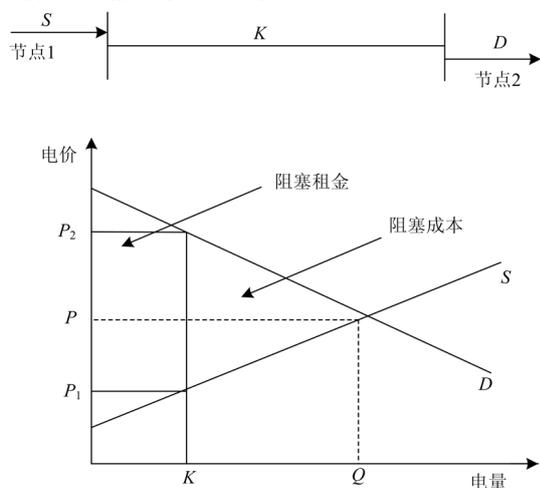


图 1 两节点示例阻塞费用与阻塞成本

Fig.1 Congestion rents and cost in 2-node network

假设节点 1 为完全竞争的发电商供应市场, 发电边际成本曲线为 S 。节点 2 只有负荷为电力需求市场, 负荷需求曲线为 D 。连接两节点的输电线路可用容量为 K 。为简化问题, 本文忽略线路损耗且不考虑无功功率。如果两节点间没有传输约束, 市场在价格 P 和数量 Q 处出清, 社会福利最大。但是, 由于发生了输电阻塞电力交易量只能为 K 。此时节点 2 处的消费者支付为 p_2 , 节点 1 处的发电商收益为 p_1 。电力交易量为 K MW 时发电商需向 ISO 支付阻塞费用 $(p_2 - p_1)k$ 。如果发电商预先购买到两节点间 K MW 的 FTR, 那么交易结算这 K MW 电力时发电商会获得 $(p_2 - p_1)k$ 的金融补偿, 正好抵消了其支付的阻塞费用。

2 基于发电商地理位置的解释

输电线路容量的限制分割了电力市场的整体性, 出现了电力出口区与进口区地理位置的划分。本节从发电商所处不同地理位置的角度出发, 分析两节点下金融输电权对发电商原有市场力的影响。

本文把这种影响称为输电权市场力(Market Power of Rights, MPR)。假设消费者位于节点 2, 节点 1 的均衡价格小于节点 2 的均衡价格($p_1 < p_2$), 电能从节点 1 向节点 2 流动, 连接两节点的输电线路传输容量为 K , 消费者需求 D 足够大($D > K$)。

设位于节点 i 的发电商具有相同的成本函数

$$C(q_i) = bq_i + \frac{c}{2}q_i^2 \quad (i=1,2) \quad (1)$$

式中: b 和 c 为成本系数; q_i 为发电商 i 的发电量。

节点 2 处的市场逆需求函数为

$$p_2 = e - fD \quad (2)$$

式中: p_2 为市场电价; D 为市场电量总需求; e 和 f 为电力逆需求曲线的截距和斜率。

2.1 发电商位于电力出口区

如图 2, 设节点 1 的发电商“US”具有市场力, 其他边缘发电商的集合 $G1$ 为市场价格接受者。当市场均衡电价为 P_1 时, $G1$ 最大化利润原则为边际成本等于电价, 即 $p_1 = C'(q_1)$

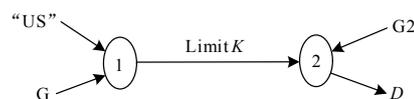


图 2 电力出口区发电商拥有市场力

Fig.2 Exporting generators with market power

解得最优发电量为:

$$q_1 = \frac{p_1 - b_1}{c_1} \quad (3)$$

“US” 最大化利润函数为

$$\max_{p_1} \pi = p_1(k - q_1) - C(k - q_1) \quad (4)$$

式中: $(k - q_1)$ 为市场领导者“US”面临的剩余市场需求。

由 $\frac{d\pi}{dp_1} = 0$ 可得发电商“US”的最优解

$$p_1 = \frac{2kc_1 + 3b_1}{3} \quad (5)$$

引入金融输电权后, 由于 $G1$ 不拥有输电权, $G1$ 的最优解不变。“US”拥有输电权, 所占输电权份额为 $L(0 \leq L \leq 1)$ 。

“US” 的最大化利润函数为

$$\max_{p_{1r}} \pi = p_{1r}(k - q_1) - C(k - q_1) + L(p_2 - p_{1r})k \quad (6)$$

由 $\frac{d\pi}{dp_{1r}} = 0$ 得发电商“US”的最优解为

$$p_{1r} = \frac{2kc_1 + 3b_1 - Lkc_1}{3} \quad (7)$$

电力进口区的发电商输电权市场力(MPR)为

$$MPR = \frac{p_{1r} - p_1}{p_1} = \frac{-c_1 Lk}{2kc_1 + 3b_1} \quad (8)$$

2.2 发电商位于电力进口区

图3中节点2的发电商“US”具有市场力，发电商G2为市场价格接受者。G2最优化策略是边际成本等于市场电价。解得最优发电量

$$q_2 = \frac{p_2 - b_2}{c_2} \quad (9)$$

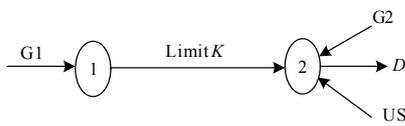


图3 电力进口区发电商拥有市场力

Fig.3 Importing generators with marker power

将式(9)代入市场逆需求函数得

$$p_2 = e - fD = e - f(k + q_2 + q) \quad (10)$$

式中: q 为具有市场力的“US”的发电量, 易得

$$q = \frac{ec_2 - fkc_2 + fb_2}{fc_2} - \frac{(c_2 + f)p_2}{fc_2} \quad (11)$$

“US”的最大化利润函数变为

$$\max_{p_2} \pi = p_2 q - C(q) \quad (12)$$

将式(11)代入式(12), 通过求解 $\frac{d\pi}{dp_2} = 0$,

得发电商“US”的最优解为

$$p_2 = \frac{fb_2(f + c_2) + (2f + c_2)(ec_2 - fkc_2 + fb_2)}{(f + c_2)(3f + c_2)} \quad (13)$$

当发电商“US”拥有金融输电权时, 最大化利润函数为

$$\max_{p_{2r}} \pi = p_{2r}(q) - C(q) + L(p_{2r} - p_1)k \quad (14)$$

由 $\frac{d\pi}{dp_{2r}} = 0$ 得发电商“US”的最优解为

$$p_{2r} = \frac{fb_2(f + c_2) + (2f + c_2)(ec_2 - fkc_2 + fb_2) + f^2 Lkc_2}{(f + c_2)(3f + c_2)} \quad (15)$$

电力进口区的发电商输电权市场力(MPR)为

$$MPR = \frac{p_{2r} - p_2}{p_2} = \frac{f^2 Lkc_2}{fb_2(f + c_2) + (2f + c_2)(ec_2 - fkc_2 + fb_2)} \quad (16)$$

3 算例与模拟结果分析

市场逆需求曲线参数取为 $e = 50$, $f = 0.0152$ 。不同节点发电商成本系数相同为 $b = 2$, $c = 0.02$ 。输电容量为 $k = 600$, 金融输电权份额为 $L = 1$ 。数据来源于同样是研究发电商市场力的文献[12]。用上述博弈模型模拟电力市场的均衡结果见表1。

表1 模拟电力市场均衡点计算结果

Tab.1 Results of equilibrium in simulated electricity market

市场模型	原市场均衡	FTR 市场均衡	MPR
	(q_1, q_2, p)	(q_{1r}, q_{2r}, p)	
出口区	(200, 400, 10)	(400, 200, 6)	-40%
进口区	(592, 848, 19.97)	(453, 908, 20.17)	6.3%

注: 市场均衡单位(q /MW-h, q /MW-h, p /元)

由以上均衡结果可以看出: 引入金融输电权可以大幅度降低电力出口区发电商的市场力, 降低幅度约为40%; 引入金融输电权对电力进口区的发电商市场力只有小幅提高, 提高幅度约为6%。本研究发发现不同地理位置的发电商的输电权市场力的有着巨大差异。

根据式(8)和式(16), 下面分别研究金融输电权与各参数变化之间的关系。

(1) MPR与输电容量 K 和输电权份额 L 的关系分析

由图4可知, 输电容量 K 和 L 与电力进口区发电商原有市场力为正向关系, 与电力出口区发电商原有市场力为负向关系。进口区发电商通过提高电价一方面从所售电量中获得更多的垄断利润, 另一方面可以从所拥有的金融输电权中获得更多的阻塞租金; 出口区发电商通过降低电价, 从减少获得所售电量利润与从提高获得阻塞租金两者中找到平衡点, 最大化自身利润。值得注意的是虽然金融输电权对进口区与出口区发电商市场力的影响方向相反, 但影响力度却不同。少量的金融输电权份额就可以大大降低出口区发电商市场力。如何降低发电商市场力一直是电力经济研究的热点与难点。对发电商策略行为进行监管一直是被认为有效降低发电商市场力的方法, 但由于信息的不对称监管的社会成本很大。如何对金融输电权的分配机制进行有效设计, 引导出口区发电商去获得输电权以自动降低发电商市场力, 是今后研究的重点。本节分析为以后金融输电权的有效分配机制设计提供了理论依据。

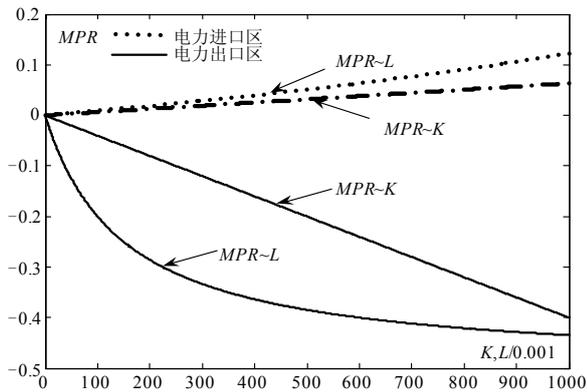
图4 MPR与输电容量 K 和输电权份额 L 的关系

Fig.4 Relationships between MPR and transmission capacity and transmission rights share

(2) MPR与生产成本系数 b 和 c 的关系分析

如图5, 引入金融输电权后, 发电成本系数 b 和 c 的变化对电力进口区发电商的输电权市场力影响不大。发电成本系数 b 的增大提高出口区发电商的输电权市场力, 相反系数 c 的增大可以降低电力出口区发电商的输电权市场力。综合来看, b 和 c 的变化对输电权市场力的影响较小, 这与本文假设发电商具有相同的发电成本相关。市场出清价是发电商博弈的纳什均衡解, 只要各发电商的相对成本不发生变化, 纳什均衡解就不会发生大的变化。

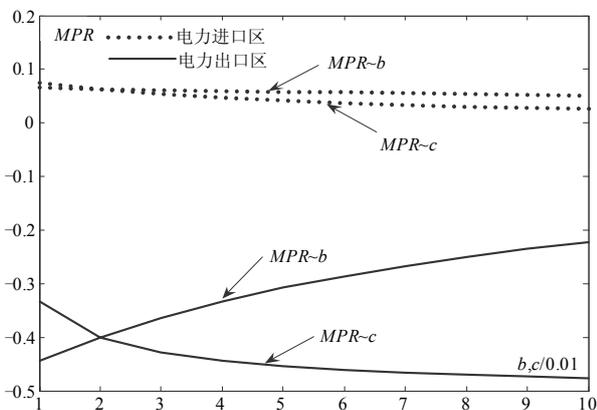
图5 MPR与发电成本系数 b, c 的关系

Fig.5 Relationships between MPR and each coefficient in cost function

(3) MPR与电力逆需求系数 e 和 f 的关系分析

如图6所示, 此时如果发电商提高电价, 金融输电权租金的增加大于售电利润的减少, 所以发电商有提高电价的动机。 e 为市场逆需求曲线的截距。通过计算需求电量等于传输容量时 ($D = K = 600$) 发电边际成本等于电价, $p = C'(600)$, 得 $e = 23.12$ 时。即只有 $e > 23.12$, 假设电能从节点1向节点2

传输才满足。因此在满足假设条件下, e 的变化对输电权市场力不产生影响。

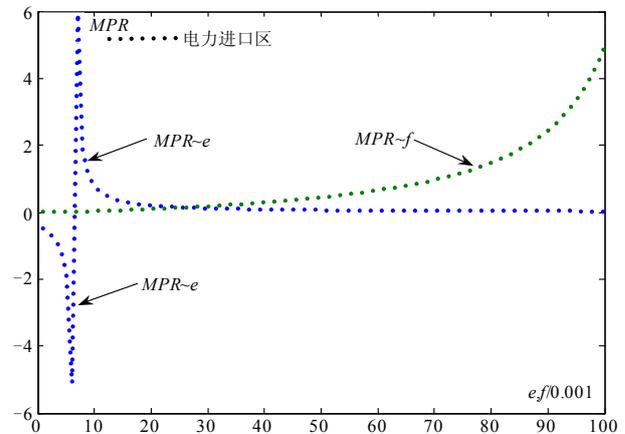
图6 MPR与需求曲线系数 e, f 的关系

Fig.6 Relationships between MPR and each coefficient in demand curve

4 结论

本文采用博弈论的方法推导出引入金融输电权前后市场纳什均衡解, 分析金融输电权对不同地理位置发电商的市场力的影响(MPR), 并分析了MPR与各种因素的关系。研究结果发现: 电力需求弹性系数对出口区发电商没有影响, 在需求弹性很小时可以提高进口区发电商原有市场力; 发电成本系数的变化对发电商原有市场力影响甚小; 输电容量和输电权份额与进口区发电商原有市场力有正向关系, 最多可以提高电价10%左右; 输电容量与输电权份额与出口区发电商原有市场力有负向关系, 最多可以降低电价40%左右。本文对输电阻塞管理及金融输电权分配机制的建立与市场监督的引导具有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] 周伟, 郑丹丹, 龚乐年. 考虑网络约束的市场力判别方法[J]. 继电器, 2004, 32(6): 9-12.
ZHOU Wei, ZHENG Dan-dan, GONG Le-nian. Market power detection based on network constrain[J]. Relay, 2004, 32(6): 9-12.
- [2] 王剑辉, 刘伟, 王良友. 电力市场中市场力与管制问题研究[J]. 继电器, 2004, 32(5): 1-6.
WANG Jian-hui, LIU Wei, WANG Liang-you. Study on market power and surveillance in power market[J]. Relay, 2004, 32(5): 1-6.
- [3] Schweppe F C, Caramanis M C. Spot pricing of electricity[M]. Norwell USA: Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [4] Hogan W W. Electricity market restructuring: reforms of

reforms[J]. Journal of Regulatory Economics, 2002, 20 (1) : 103-132.

[5] 李立颖, 彭建春, 江辉. 一种综合阻塞成本分摊与金融输电权的阻塞管理方法[J]. 继电器, 2005, 33(3): 1-5. LI Li-ying, PENG Jian-chun, JIANG Hui. A congestion management method integrating the allocation of congestion costs with financial transmission right[J]. Relay, 2005, 33(3): 1-5.

[6] 黄继民, 罗毅芳, 薛年华. 电力市场中输电权及市场力问题综述[J]. 电网技术, 2002, 26 (12) : 66-70. HUANG Ji-min, LUO Yi-fang, XUE Nian-hua. A survey of transmission rights and market rights in electricity markets[J]. Power System Technology, 2002, 26 (12) : 66-70.

[7] Bushnell J. Transmission rights and market power[J]. The Electricity Journal, 1999, 12 (8) : 77-85.

[8] Joskow P L, Tirole J. Transmission rights and market power on electric power networks[J]. Rand Journal of Economics, 2000, 31 (3) : 450-487.

[9] Sarkar V, Khaparde S A. A comprehensive assessment of the evolution of financial transmission rights[J]. Transactions on Power Systems, 2008, 23 (4) : 1783-1795.

[10] Pritchard G, Philpott A. On financial transmission rights and market power[J]. Decision Support Systems, 2005, (40) : 507-515.

[11] Steven Stoft. Financial transmission rights meet Cournot: how TCCs curb market power[J]. The Energy Journal, 1999, 20 (1) : 1-24.

[12] 宋依群, 侯志俭, 文福栓, 等. 电力市场中三种寡头竞争模型的市场力分析比较[J]. 电网技术, 2003, 27 (8) : 10-15. SONG Yi-qun, HOU Zhi-jian, WEN Fu-shuan, et al. Comparison of market power in the three oligopoly models of electricity market[J]. Power System Technology, 2003, 27 (8) : 10-15.

收稿日期: 2010-02-02; 修回日期: 2010-04-09

作者简介:

郭兴磊 (1980-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力技术经济; E-mail: guoxinglei2008@hotmail.com

张宗益 (1964-), 男, 工学博士, 经济学博士, 博士生导师, 主要研究方向为电力经济、能源经济;

汪 锋 (1982-), 男, 博士, 主要研究方向为电力技术经济。

(上接第 7 页 continued from page 7)

XIONG Xin-yin, WU Yao-wu. The application of the genetic algorithmic in the power system[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002.

[13] 许议勋, 陆拯, 郭志忠. 基于遗传算法的电力系统分层信息故障诊断方法[J]. 继电器, 2000, 28(10): 15-18. XU Yi-xun, LU Zheng, GUO Zhi-zhong. Layered information fault diagnosis based on genetic algorithm[J]. Relay, 2000, 28(10): 15-18.

[14] 杨建军, 战红, 陈宪国. 基于遗传算法并避免不可行解的配电网重构优化[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(17): 43-46. YANG Jian-jun, ZHAN Hong, CHEN Xian-guo. Optimization of distribution network reconfiguration of avoiding infeasible solutions based on genetic algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(17): 43-46.

[15] 殷人昆. 数据结构[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007. YIN Ren-kun. Data structure[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.

[16] 张玮, 潘贞存, 李磊. 一种基于线路相关集的大电网继电保护隐藏故障算法[J]. 继电器, 2007, 35 (22): 2-5, 22. ZHANG Wei, PAN Zhen-cun, LI Lei. Analysis of hidden failures of protection in bulk power system based on

RCTL[J]. Relay, 2007, 35 (22): 2-5, 22.

[17] 钟国坤, 曾碧, 余永权. 遗传算法及其异位交叉问题的研究[J]. 计算机工程, 2003, 29 (3): 115-117. ZHONG Guo-kun, ZENG Bi, YU Yong-quan. Study of genetic algorithms with different location mutations[J]. Computer Engineering, 2003, 29 (3): 115-117.

[18] 张顶学, 关治洪, 刘新芝. 基于捕食搜索策略的遗传算法研究[J]. 计算机应用研究, 2008, 25 (4): 1006-1012. ZHANG Xiang-xue, GUAN Zhi-hong, LIU Xin-zhi. Genetic algorithm based on predatory search strategy[J]. Application Research of Computers, 2008, 25 (4): 1006-1012.

[19] Wu F F, Liu W H. Detection of topology errors by state estimation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1989, 4(1): 176-183.

收稿日期: 2010-07-21; 修回日期: 2010-12-21

作者简介:

石立宝 (1971-), 男, 副教授, 主要从事风电分析与应用, 电力系统恢复控制, 电力系统优化运行等方面的研究; E-mail: shilb@sz.tsinghua.edu.cn

赤东阳 (1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统恢复控制方面的研究。