

一种计算衡量发电商市场力 Lerner 指标的新方法

鲁丽娟, 侯云鹤, 吴耀武, 熊信良

(华中科技大学电力工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 在竞争性的电力市场中, 各发电商的边际生产成本并不公开, 因此 Lerner 指标在实际市场中很难应用。根据市场均衡理论, 基于发电商所面对的需求曲线, 结合微观经济学分析, 提出了一种 Lerner 指标的新的计算方法。在不知发电商生产成本的情况下, 仅根据各参与者(发电商和用户)的报价曲线以及电力市场的实时交易信息, 即可计算出各发电商的 Lerner 指标。该方法也适于求解计及阻塞的系统。两个算例仿真表明, 该文提出的方法是可行的。

关键词: 电力市场; 市场力; 发电商需求曲线; 边际成本; 输电阻塞

中图分类号: TM73; F123.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)04-0012-05

0 引言

市场力(Market Power)是指某一产品或服务的提供者能够持续地影响或操纵市场价格, 使之一直高于完全竞争情况下的市场价格的能力^[1]。在完全竞争市场中, 所有厂商(firm)都是价格接受者(Price-taker), 不能影响市场价格, 而只是将市场价格作为既定价格来接受, 因而市场力为零。而在不完全竞争市场中, 各个厂商面临的需求曲线都是一条递减曲线, 各厂商为了追求最大利润而限制产量, 使市场价格高于完全竞争情况下的市场价格, 从而获得超额利润。这是由于市场参与者(厂商)拥有并行行使市场力的结果^[2]。解除管制后的电力市场类似于一个寡头竞争市场^[3]。在这种不完全竞争环境下, 拥有一定市场力的发电公司, 可以通过实施其市场力, 采用策略性投标行为获得不合理利润, 从而损害消费者和其他市场参与者的利益。如何度量市场参与者(发电商)所具有的市场力, 从而识别并限制市场力, 并为政府监管部门制订政策提供依据, 就显得具有十分重要的实际意义。

目前对电力市场市场力的分析研究可分为以下四类:

1) 利用市场力集中度指标分析

根据各发电公司所拥有的电力容量计算得到的静态 HHI (Herfindahl-Hirschman Index) 指标, 其值为所有成员的市场份额的平方之和。美国 FERC 规定: HHI 低于 1 000, 市场低度集中; 高于 1 800, 市场高度集中; 处于两者之间, 则市场中度集中^[1]。此类指标简单, 易于在电力市场中应用, 但静态 HHI 不包含负荷弹性、发电商报价策略以及输电拥塞等动

态信息^[1,4]。

Alvarado 提出了动态 HHI 以衡量局域市场力, 计及了输电阻塞对市场力的影响^[1]; Bialek 提出了另一种动态 HHI, 只计及调度外市场各发电商的市场份额的 HHI, 还考虑除了输电阻塞以及市场进入壁垒外的其它影响市场力的因素^[1], 较静态 HHI 更符合电力市场的要求。

2) 利用博弈论分析

文献[5]基于线性供给函数均衡(LSFE)模型, 提出了一种计及输电系统约束的计算发电商 Lerner 指标的方法, 但其 Nash 均衡点的多解性使得分析电力市场特性比较困难。

3) 利用试验仿真分析

文献[6]在假设发电商成本已知条件下, 使用市场仿真研究发电商市场力对市场的影响。但是发电商的成本数据是不公开的, 所以此方法仍难以实现。

4) 利用市场力直接度量指标分析

采用 Lerner 指数或 PCM 指数^[1]直接根据市场价格 P 偏离边际成本 MC 的程度, 界定发电商是否在滥用市场力。Lerner 指数为:

$$Lerner I = \frac{P - MC}{P} \quad (1)$$

该指标可以最直接地反映发电商市场力的大小, 但是在电力市场下, 发电商的边际成本是商业秘密, 不易获取, 因此这类指标只有理论意义, 在实际市场很难应用。

本文根据市场均衡理论, 基于发电商所面对的需求曲线, 结合微观经济学分析, 提出了一种 Lerner 指标的新的计算方法。运用本文提出的方法, 独立系统运行员(ISO)可以在未知发电商生产成本的情

况下,计算各发电商的 Lerner 指标。该方法只需要各参与者(发电商和用户)的报价曲线以及电力市场的实时交易信息就可以计算,计算简便、结果精确,且适用于系统具有阻塞的情况。

1 本文的计算方法

1.1 基本思想

根据微观经济学关于 Lerner 指标的结论^[2]:市场参与者(厂商)的市场力除了用价格与边际成本来表示外,还可以用该厂商面临的需求弹性 e_d 来表示,用公式表示为:

$$Lerner I = \frac{P - MC}{P} = - \frac{1}{e_d} \quad (2)$$

应用于电力市场环境下,可以得到衡量各发电商市场力的 Lerner 指标,用公式表示为:

$$Lerner I_i = \frac{P - MC_i}{P} = - \frac{1}{e_{di}} \quad (3)$$

式中: i 指电力市场中第 i 个发电商; $Lerner I_i$ 为衡量第 i 个发电商市场力的 Lerner 指标; P 为市场电价,本文采用市场清算价格(MCP); MC_i 为第 i 个发电商的边际成本; e_{di} 为第 i 个发电商的需求弹性。

很自然的,通过式(3)就可以得到一种计算 Lerner 指标的新方法。即通过计算第 i 个发电商的需求弹性 e_{di} 从而得到度量该发电商市场力的 Lerner 指标。

1.2 基于发电商需求弹性的计算方法

假设市场是一发电、用电侧同时开放的电力市场,其中有 n 个发电商。在任一时刻 h ,发电商 i 的供给曲线表示为 $P = S_i(Q_i^s)$,则 $Q_i^s = S_i^{-1}(P)$ 表示发电商出力。市场内除发电商 i 以外其余 $n-1$ 个发电商的总供给曲线为 $P = S_{other\ n-1}(Q_{n-1}^s, \dots)$,则 $Q_{n-1}^s, \dots = S_{other\ n-1}^{-1}(P)$ 表示其余 $n-1$ 个发电商的总出力。根据市场均衡理论,发电商 i 所面对的需求等于市场总需求减去其余 $n-1$ 个发电商的总供给,用公式表示为:

$$D_i^{-1}(P) = D^{-1}(P) - S_{other\ n-1}^{-1}(P) \quad (4)$$

式中: $P = D(Q^d)$ 为市场总需求曲线,则 $D^{-1}(P)$ 为市场总需求; $P = D_i(Q_i^d)$ 为发电商 i 的需求曲线,则 $D_i^{-1}(P)$ 为发电商 i 所面对的需求。

从而,根据式(4)可以得到发电商 i 的需求曲线。

若该市场按照统一市场出清价结算,则可以根据发电商 i 的需求曲线求得发电商 i 面对的市场需求弹性 e_{di} 。根据微观经济学中价格弹性的定义有:

$$e_{di} = \frac{dD_i^{-1}(P)}{dP} \cdot \frac{P}{D_i^{-1}(P)} \quad (5)$$

结合式(3)、(4)和(5),从而得到衡量发电商 i 市场力的 Lerner 指标。

$$Lerner I_i = - \frac{dP}{dD_i^{-1}(P)} \cdot \frac{D_i^{-1}(P)}{P} = - D_i(Q_i^d) \cdot \frac{D_i^{-1}(P)}{P} \quad (6)$$

式中: P 采用市场清算价格(MCP)。

很显然,在发电、用电侧同时开放的电力市场中,对于 ISO 而言,各市场参与者(发电商和用户)的报价曲线、交易信息以及市场出清价均是已知的,在未知发电商的成本信息的情况下,就可以计算出各发电商的 Lerner 指标。

另外,衡量整个市场市场力的综合 Lerner 指标 L 定义为:

$$L = \sum_{i=1}^n (Lerner I_i)^2 \quad (7)$$

1.3 考虑输电阻塞的影响

当网络无阻塞时,ISO 可以按照式(5)、(6),依据各市场参与者(发电商和用户)的报价曲线以及统一的市场出清价,计算出各发电商以及整个市场的市场力。

但当系统网络出现阻塞时,整个系统将按发生输电阻塞的线路划分成不同的区域,各发电商的市场力指标就需要按照所处的不同区域来衡量。对于位于区域 r 的发电商 i ,其需求曲线表示为:

$$D_{ri}^{-1}(P) = D_r^{-1}(P) - S_{r,other}^{-1}(P) \quad (8)$$

式中: $D_r^{-1}(P)$ 为区域 r 内的负荷总需求与区域 r 和相邻区域功率交换的代数和(外送的功率为正,送入的功率为负); $S_{r,other}^{-1}(P)$ 为区域 r 内除了发电商 i 以外的其他发电商的总供给。

从而可以计算出发电商 i 的 Lerner 指标:

$$Lerner I_{ri} = - D_{ri}(Q_{ri}^d) \cdot \frac{D_{ri}^{-1}(P)}{P} \quad (9)$$

出现网络拥塞时,计算整个市场的市场力意义不大,只有分区域计算各区域的市场力才能反映实际市场力水平。与式(7)类似,衡量区域 r 市场力的 Lerner 指标 L_r 为:

$$L_r = \sum_{i \in r} (Lerner I_{ri})^2 \quad (10)$$

1.4 影响市场力的因素

根据以上的分析,发电商影响市场电价的能力取决于其他发电商的报价策略、市场需求弹性、市场成员数量、市场成员之间的相互作用以及网络拥塞

等因素。

1) 其他发电商的报价策略。电力市场中,其他发电商的报价策略的变化,其实就对应于经济学中其供给曲线的变化,根据式(4),其他发电商的总供给 $S_{other}^{-1}(P)$ 的变化必然影响到发电商 i 需求曲线的变化,从而影响其市场力。

2) 市场需求弹性。根据式(5)、(6),整个市场的需求弹性必将影响到市场成员(发电商 i) 面对的需求弹性。

3) 市场成员的数量。市场成员(主要成员)的数量越多,发电商 i 所面对的需求曲线弹性越大,根据式(6),显然其市场力越小。

4) 市场成员之间的相互作用。根据微观经济学分析,若市场成员之间竞争激烈,则市场力较小;若市场成员之间相互合作,例如串谋,则市场力较大。在实际电力市场中就反映为各发电商一起哄抬电价,其实这是由于此行为引起市场供给曲线发生了变化,各发电商的需求弹性减小,导致市场成员行使了较大的市场力。

5) 网络拥塞。输电阻塞导致市场需求曲线发生变化,影响到各发电商的需求曲线,从而导致市场力的变化。

2 算例分析

2.1 无阻塞的情况

首先不考虑网络约束的情况,即无阻塞情况。为清晰而又不失一般性,选择了一个双寡头发电市场^[5]来说明问题。算例的系统图见图1,5条支路且有相同电抗值,忽略网损。系统包括两个发电商、两个用户。

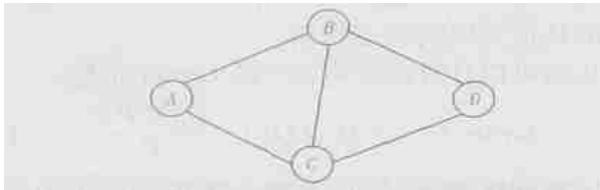


图1 不考虑输电阻塞的算例系统图

Fig. 1 Case system without transmission congestion

用户1和用户2分别位于节点C和节点D,各用户的需求曲线为:

$$D_1: P = k_1 Q + 100$$

$$D_2: P = k_2 Q + 100$$

用户的需求曲线的斜率 k_1 和 k_2 见表1。

发电商1和发电商2分别位于节点A和节点B,他们的边际成本曲线为:

$$G_1: MC_1 = 0.35 Q + 10$$

$$G_2: MC_2 = 0.45 Q + 10$$

基于文献[5]中模型,各发电商的报价曲线为:

$$G_1: P = m_1 Q + 10$$

$$G_2: P = m_2 Q + 10$$

针对用户的不同需求曲线,各发电商采取了相应的策略,其报价斜率 m_1 和 m_2 见表1。

表1 不考虑输电阻塞算例系统的市场参数

Tab. 1 Market parameters of the case system without transmission congestion

策略	k_1	k_2	m_1	m_2
1	- 0.52	- 0.65	0.549	0.639 3
2	- 0.55	- 0.55	0.573	0.42

依照式(5)、(6)和(7),可以分别得到各发电商的需求弹性 e_{di} 、Lerner 指标 L_i 以及发电市场的综合 Lerner 指标 L ,如表2所示。表2中 L_i 是利用发电商边际成本通过市场仿真^[6]由式(1)直接得到的发电商 Lerner 指标。结果表明,利用本文提出的方法计算各发电商的 Lerner 指标能较准确地反映各发电商真实的 Lerner 指标。

表2 不考虑输电阻塞算例系统的计算结果

Tab. 2 Calculated results of the case system without transmission congestion

策略	发电商	Q	P	$- e_{di}$	$L_i / (\%)$	$L / (\%)$
1	G_1	82.88	55.5	3.365	29.71	29.71
	G_2	71.17	55.5	4.12	24.27	24.27
	L				1.472	1.472
2	G_1	73.58	52.16	4.266	23.44	23.5
	G_2	100.38	52.16	2.796	35.76	35.7
	L				1.828	1.827

2.2 有阻塞的情况

考虑有网络约束的情况,即阻塞情况。系统结构图见图2,假设线路 a - b 发生阻塞,线路容量上限为 100 MW,系统包括4个发电商、3个用户。

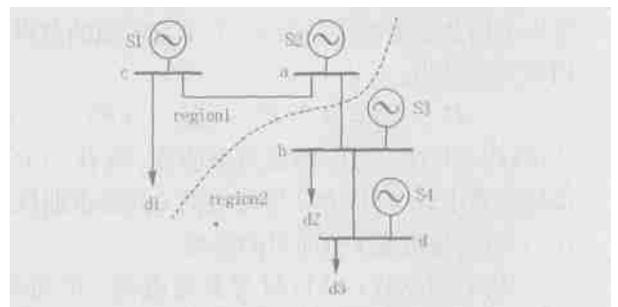


图2 考虑输电阻塞的算例系统图

Fig. 2 Case system with transmission congestion

各用户的需求曲线为(用户需求曲线的斜率 k_1 、 k_2 和 k_3 见表 3):

$$D_1: P = k_1 Q + 100$$

$$D_2: P = k_2 Q + 120$$

$$D_3: P = k_3 Q + 110$$

各发电商的边际成本曲线分别为(发电商边际成本曲线的斜率 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_4 见表 3):

$$G_1: MC_1 = t_1 Q + 3$$

$$G_2: MC_2 = t_2 Q + 4$$

$$G_3: MC_3 = t_3 Q + 2$$

$$G_4: MC_4 = t_4 Q + 5$$

各发电商的报价曲线分别为:

$$G_1: P = m_1 Q + 10$$

$$G_2: P = m_2 Q + 10$$

$$G_3: P = m_3 Q + 2$$

$$G_4: P = m_4 Q + 5$$

针对用户的不同需求曲线,各发电商采取了相应的策略,其报价斜率 m_1 、 m_2 、 m_3 和 m_4 见表 3。

表 3 考虑输电阻塞算例系统的市场参数

Tab.3 Market parameters of the case system with transmission congestion

策略	k_1	k_2	k_3
1	- 0.55	- 0.45	- 0.35
2	- 0.35	- 0.4	- 0.3

策略	t_1	t_2	t_3	t_4
1	0.19	0.125	0.494 4	0.547
2	0.26	0.32	0.56	0.612

策略	m_1	m_2	m_3	m_4
1	0.35	0.3	0.65	0.7
2	0.4	0.45	0.7	0.75

由于线路 a - b 发生阻塞,依照图 2 所示,将本系统划分成两区域。依照式(8)、(9)和(10),可以分别得到各发电商的需求弹性 e_{di} 、Lerner 指标 L_{ri} 以及各区域发电市场的综合 Lerner 指标 L_r ,如表 4 所示。同不考虑网络约束情况一样,表 4 中 L_i 是利用发电商边际成本通过市场仿真^[6]由式(1)直接得到的发电商 Lerner 指标。结果表明,利用本文提出的方法计算各发电商的 Lerner 指标能较准确地反映各发电商真实的 Lerner 指标。

根据算例计算结果,可以看出,通过本文提出的方法计算得到的 Lerner 指标同市场仿真结果一致。本文提出的方法,是在未知发电商生产成本的情况下计算各发电商的 Lerner 指标,方法简便并较准确,而且能较全面地反映市场动态信息,因此对市场力的监管是具有可操作性以及针对性。

表 4 考虑输电阻塞算例系统的计算结果

Tab.4 Calculated results of the case system with

transmission congestion

策略	发电商	Q	P	$- e_{di}$	$L_r / (\%)$	$L_i / (\%)$
1	G_1	120.157	45.055	2.321	43.08	43.08
	G_2	136.84	45.055	1.881	53.15	53.15
	G_3	90.91	60.909	4.369	22.89	22.89
	G_4	80.14	60.909	5.039	19.8	19.8
	L_{r1}				4 680.8	4 680.8
	L_{r2}				916	916
2	G_1	117.88	57.13	2.45	40.71	40.71
	G_2	104.67	57.13	2.92	34.2	34.2
	G_3	92.98	67.06	5.166	19.35	19.35
	G_4	82.73	67.06	5.884	16.9	16.9
	L_{r1}				2 827	2 827
	L_{r2}				660	660

3 结论

本文基于发电商所面对的需求曲线,根据市场均衡理论,结合微观经济学分析,提出了一种 Lerner 指标的新的计算方法。运用本文提出的方法,独立系统运行员(ISO)可以在未知发电商生产成本的情况下,计算各发电商的 Lerner 指标。通过算例检验,得到了满意的结果。与以往研究方法相比,本文提出的计算 Lerner 指标的方法其优势在于:

- 1) 简单直接,准确性以及可操作性好,不需要了解发电商的边际成本信息,不需要寻找 Nash 均衡点,便于监管。
- 2) 基于发电商需求弹性提出的计算方法,包含有市场需求信息,还综合了其他市场成员的竞价策略信息,体现了博弈思想,并且计及了输电阻塞所带来的影响,相对于静态 HHI 指标能比较全面地反映市场动态信息。
- 3) 综合性好,既能反映发电商甚至单个机组的市场力,也能反映整个市场或各区域的市场力程度。

参考文献:

[1] 林济铿,倪以信,吴复立. 电力市场中的市场力评述 [J]. 电网技术, 2002, 26(11): 70-76.
 LIN Ji-keng, NI Yi-xin, WU Fu-li. A Survey of Market Power in Relation with Electricity Market Structure [J]. Power System Technology, 2002, 26(11): 70-76.

[2] Pindyck R S, Rubinfeld D L. Microeconomics, Fifth Edition [M]. NJ: Prentice-Hall, 2001.

[3] Church J, Ware R. Industrial Organization: A Strategic Approach [M]. USA: McGraw-Hill, 1999.

[4] David A K, Wen F S. Market Power in Electricity Supply

- [J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2001, 16(4): 352-360.
- [5] 赵义术, 余贻鑫, 刘怀东. 使用 LSFE 分析及输电系统约束的市场势力[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(13): 30-35.
- ZHAO Yi-shu, YU Yi-xin, LIU Huai-dong. Transmission Constrained Market Power Analysis Based on LSFE[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(13): 30-35.
- [6] Rafael K, Luiz A, Barroso N. Market Power Assessment and Mitigation in Hydrothermal Systems [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2001, 16(3): 354-359.

收稿日期: 2004-06-18; 修回日期: 2004-08-04

作者简介:

鲁丽娟(1977-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力市场理论、电力系统运行分析、电力系统规划; E-mail: hou.yunhe@263.net

侯云鹤(1975-), 男, 博士研究生, 研究方向为最优化理论在电力系统中应用、电力市场理论、电力系统运行分析、电力系统规划;

吴耀武(1963-), 男, 副教授, 研究方向为电力市场理论、电力系统运行分析、电力系统规划及电力系统谐波分析;

熊信良(1945-), 男, 教授, 研究方向为电力市场理论、电力系统运行分析、电力系统规划及电力系统谐波分析。

An approach for calculating Lerner index to evaluate market power of each generator

LU Li-juan, HOU Yun-he, WU Yao-wu, XIONG Xin-yin

(Department of Electric Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on the theory about market power and market equilibrium, and microeconomics analysis, a novel method is proposed to calculate Lerner index which is one of the most important indices to evaluate market power of each generator in electricity market. With this method, an independent system operator (ISO) can conveniently and accurately calculate each generator's Lerner index without their marginal cost information and only need each participant's supply/demand function and spot exchange information of electricity market. This method is also applicable to the congested system. The presented method is tested with two case systems, and the results show that this method is efficient.

Key words: electricity market; market power; generator demand curve; marginal cost; transmission congestion

(上接第 11 页 continued from page 11)

- [4] 张伯明, 陈寿孙. 高等电力网络分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996. 309-313.
- ZHANG Bo-ming, CHEN Shou-sun. Senior Power Network Analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1996. 309-313.
- [5] 陈珩. 电力系统稳态分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995. 161-162.
- CHEN Heng. Power System Steady State Analysis[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995. 161-162.

收稿日期: 2004-06-18; 修回日期: 2004-07-30

作者简介:

杭乃善(1949-), 男, 教授, 研究方向为电力系统的分析与控制;

姚元玺(1980-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统的分析与控制; E-mail: yyxh@sohu.com

龚婷婷(1981-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统的分析与控制。

An algorithm of multi-balance bus based on rectangular coordinate current influx

HANG Nai-shan, YAO Yuan-xi, DOU Ting-ting, ZHAO Yue-xing

(Electric Engineering College, Guangxi University, Nanning 53004, China)

Abstract: This paper describes an algorithm of multi-balance bus power flow based on rectangular coordinate current influx. The algorithm make the imbalance power share with several generation units. The mismatch is current influx instead of active power and reactive power imbalance. For PQ bus, the off-diagonal Jacobian matrix elements are equal to those of the nodal admittance matrix, which is simple compared with conventional Newton Raphson formulation. The algorithm has an obvious physical meaning and a good convergence characteristic. The example shows the feasibility of the proposed algorithm.

Key words: power flow calculation; current influx; rectangular coordinate; multi-balance bus