

# 基于面板数据模型的期货和现货电价的 动态关系分析

刘思东<sup>1</sup>, 杨洪明<sup>2</sup>, 王琦<sup>1</sup>

(1. 五邑大学数理系, 广东 江门 529020; 2. 长沙理工大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410076)

**摘要:** 电力期货市场是电力市场中一种重要的金融衍生市场, 作为一种高级的电力市场交易形态具有独特的运行机制和特有的价格发现与规避风险的功能, 已被许多发达国家广泛采用。所以研究电力期货市场的特点和规律、期货价格与现货价格的动态关系有着重要的意义。该文借助计量经济学中最新的方法, 利用美国 PJM 电力市场和北欧电力市场的数据, 通过面板单位根检验、面板协整检验以及面板误差修正模型和 Granger 因果检验的方法研究了电力期货价格与现货价格的动态关系。研究结果说明就长期而言期货电价和现货电价的线性组合有向均衡收敛的趋势, 它们之间存在着长期均衡的关系, 期货与现货价格相互作用、相互影响, 但期货价格处于主导地位。

**关键词:** 电力市场; 期货价格; 现货价格; 面板数据模型

## Dynamic relationship between electricity futures price and spot price based on panel data model

LIU Si-dong<sup>1</sup>, YANG Hong-ming<sup>2</sup>, WANG Qi<sup>1</sup>

(1. Department of Mathematics and Physics, Wuyi University, Jiangmen 529020, China; 2. College of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China)

**Abstract:** The electric power futures market is a sort of very important financial market in the power market. As a market form of high-class, the electricity futures market has been widely adopted by the developed countries due to its special running mechanism, price discovery and function of risk avoiding. It is important to research the characteristic and rule of electric power futures market and the dynamic relation between electrical futures prices and spot prices. Primarily using the model and the method in the econometrics, this paper studies the dynamic relationship between futures price and spot price by panel unit roots test, panel cointegration test, panel error correction model and panel Granger causality test with the data of Nordic electricity market and American PJM electricity market. The results of this paper show that the linear combination of futures price and spot price has balance convergence trends in the long-term. There is a long-term equilibrium relationship between futures price and spot price. Futures price and spot price have interaction and mutual influence, but futures price is in the dominant position.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No.70601003).

**Key words:** electricity market; futures price; spot price; panel data model

中图分类号: TM73; F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)12-0001-05

## 0 引言

电力期货市场概念自 20 世纪 80 年代被提出后, 引起各国重视。为了提高各国电力系统的运行效率, 降低用电价格, 各国分别建立起电力期货市场。世界上第 1 份电力期货于 1995 年出现在北欧电力交易所(Nordic Power Exchange)。之后, 美国、澳大利亚和德国等国家的交易所也相继推出了电力期

货。中国自 2002 年启动电力市场改革以来, 已提出了建立电力期货、期权等电力金融市场的目标, 2006 年上海期货交易所已着手研究电力期货商品的交易问题<sup>[1]</sup>。在电力现货市场不断成熟和完善的前提下, 为规避现货市场的经营风险而出现的期货市场已经成为电力市场改革深入和发展的重要问题<sup>[2,3]</sup>。

国外的电力期货市场经过近 10 年的运行, 积累了大量的数据, 国外的学者们运用这些数据对电力期货市场进行了实证研究。文献[4]采用“预测误差”方法对美国电力期货市场的有效性进行了检验。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70601003)

研究发现在 1996~1999 年的时段, 期货市场拒绝了有效性假设, 但在 1998~1999 年的时段则接受了有效性假设。文献[5]紧紧抓住电力不可储存的特性, 研究了电力期货套期保值的基差问题, 分析了利用期货对电力交易进行风险管理的特殊困难。文献[6]在美国四个电力现货市场历史统计数据基础上, 分析比较了直接套期保值与交叉套期保值两种策略在降低保值头寸价值风险(即减小标准差)的效果。文献[7]对纽约商业交易所的 2 支期货(COB, 期货交割地点为 California-Oregon Border; PV, 期货交割地点为 Palo Verde)进行了实证研究, 得到了较悲观的结果, 期货套期保值并不能减少交易的风险。国外的文献对电力期货市场的有效性和套期保值进行了一些研究, 而对电力期货市场中期货电价和现货电价的动态关系的研究还比较少。国内对电力期货市场的研究才刚刚起步, 基本上仅限于提出电力期货市场的概念和对电力期货市场做出简单的介绍。

鉴于此, 本文将借助国际上较为成熟的经济计量模型, 利用美国 PJM 电力市场和北欧电力市场的数据, 通过面板单位根检验、面板协整检验以及面板误差修正模型和 Granger 因果检验的方法研究电力期货价格与现货价格的动态关系。主要解决下面两个问题: (1) 电力市场期货价格与现货价格之间是否具有长期稳定的均衡关系? 如果有, 则表明电力期货市场是有效率的, 具有良好的价格发现功能, 不存在少数市场参与者操纵控制价格的现象; (2) 如果电力市场期货价格和现货价格之间存在长期稳定的均衡关系, 它们是否表现为一种领先、滞后的关系? 这种关系具体表现出什么特征, 是期货价格引导现货价格, 还是两种价格相互引导?

## 1 面板数据模型

### 1.1 面板数据

面板数据(Panel Data)是既包括了截面数据又包括了时间序列数据的一种数据类型<sup>[8]</sup>。采用面板数据来开展计量经济分析, 具有以下优势:

① 面板数据结合了截面数据和时间序列数据的优点, 同时弥补了各自的不足。截面数据能更好地反映个体之间的差异, 却难以刻画单个个体的动态变化; 而时间序列数据的特点恰好与之相反。这样面板数据起到了取长补短的效果。

② 观测点数量的扩大有助于提高计量估计的有效性。

③ 面板数据可以很好地控制无法观测到的变量以及经济计量模型中省略的变量。

面板数据分析技术经过 20 多年的发展和完善, 目前已成为国际上一种比较成熟的经济计量手段。面板数据同样会表现出时间维上较长的延续性和非平稳性, 因而, 时序分析中的伪回归单位根、协整问题也不可回避地存在于面板数据模型之中。面板数据的建模理论和方法及其实证研究成为目前计量经济研究的热点和前沿问题。

### 1.2 面板数据模型

单方程面板数据模型的一般形式为:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i x_{it} + \varepsilon_{it} \quad (i = 1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, T) \quad (1)$$

其中:  $x_{it}$  为  $k \times 1$  维向量,  $\beta_i$  为  $1 \times k$  维向量,  $k$  为解释变量的数目; 误差项  $\varepsilon_{it}$  均值为零, 方差为  $\sigma^2$ 。

模型(1)常用的有如下三种情形:

情形 1:  $\alpha_i = \alpha_j, \beta_i = \beta_j$

情形 2:  $\alpha_i \neq \alpha_j, \beta_i = \beta_j$

情形 3:  $\alpha_i \neq \alpha_j, \beta_i \neq \beta_j$

对于情形 1, 在横截面上无个体影响、无结构变化, 则普通最小二乘估计给出了  $\alpha_i, \beta_i$  的一致有效估计。相当于将多个时期的截面数据放在一起作为样本数据。

对于情形 2, 称为变截距模型, 在横截面上个体影响不同, 个体影响表现为模型中被忽略的反映个体差异的变量的影响, 又分为固定影响和随机影响两种情况。

对于情形 3, 称为变系数模型, 除了存在个体影响外, 在横截面上还存在变化的经济结构, 因而结构参数在不同横截面单位上是不同的。典型的面板数据是横截面单位较多而时期较少的数据。这样, 该技术主要集中于横截面的变化或异方差上。

面板数据包括两维的数据: 横截面和时间。如果模型设定不正确, 将造成较大的偏差, 估计结果与实际将相差甚远。所以, 在建立面板数据模型时必须控制不可观察的个体和时间的特征, 以避免模型设定的偏差, 并改进参数估计的有效性。

## 2 基于面板数据模型的期货和现货电价的动态关系

### 2.1 数据的选取

数据来自北欧四国的电力运营机构 Nordpool(详见 <http://www.nordpool.com>), 和美国 PJM 电力市场(详见 <http://www.pjm.com>), 选取 2004 年 9 月 24 日至 2005 年 12 月 23 日每周的现货电价和期货电价组成面板数据。图 1 和图 2 分别显示出

北欧四国和美国 PJM 现货电价和期货电价的变化曲线, 其中 fpr 表示期货电价, spr 表示现货电价。

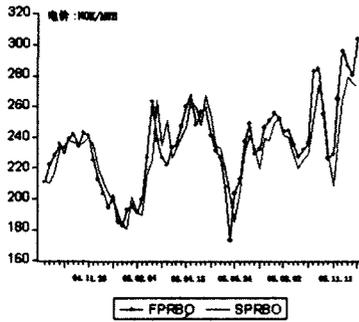


图 1 北欧市场电价的变化曲线

Fig. 1 Varying curve of electricity price in Nordpool market

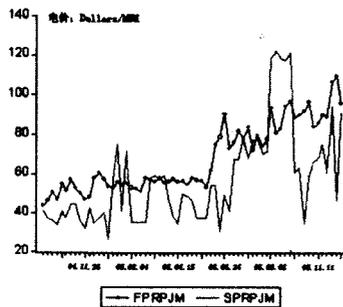


图 2 PJM 市场电价的变化曲线

Fig. 2 Varying curve of electricity price in PJM market

## 2. 2 期货与现货电价面板数据的动态关系分析

### 2.2.1 面板数据单位根检验

Levin 和 Lin 于 1992 年首次提出面板数据的单位根检验方法, 即 LLC 法<sup>[9]</sup>。1999 年, Hams 和 Tzavalis 证明在时间跨度较小时, LLC 法的检验能力较差。二人对 LLC 法进行改进, 并提出 Harris 和 Tzavalis 检验法。Im、Pesaran 和 Shin 在 1997 年建立了 IPS 法, 但 Breitung 于 1999 年发现 IPS 法对限定性趋势的设定极为敏感。同年, Maddala 和 Wu 提出了 MW 法, 该法的优点在于允许在进行单个 ADF 检验时可以有不同的时滞。2003 年, Im、Pesaran 和 Shin 在考虑异方差和残差自相关后, 建立了面板数据单位根检验的 W 检验<sup>[10]</sup>。为了避免单一方法可能存在的缺陷, 本研究选择 LLC 检验、IPS 检验和 Hadri 检验三种方法来进行面板数据单位根检验。

对期货电价和现货电价两个变量分别进行 LLC 单位根检验、IPS 单位根检验和 Hadri 单位根检验, 检验回归式中包含常数项, 滞后阶数根据 Schwarz 准则自动选取。经检验发现, 期货电价和现货电价的水平值经三种方法检验, 均说明有单位

根。而期货电价和现货电价的一阶差分经三种方法检验, 其结果在 5% 的显著水平上表现为无单位根, 说明这两个变量都是一阶单整的。现货与期货电价的面板数据单位根检验结果见表 1。

表 1 面板单位根检验结果

Tab. 1 Results of panel unit root tests

变量	检验方法	水平值		
		LLC 检验	IPS 检验	Hadri 检验
期货电价		-1.408 (0.080)	-0.758 (0.224)	5.256 (0.000)
现货电价		-0.665 (0.253)	-1.156 (0.124)	3.817 (0.000 1)
变量	检验方法	一阶差分		
		LLC 检验	IPS 检验	Hadri 检验
期货电价		-11.136* (0.000)	-11.040* (0.000)	0.082* (0.467)
现货电价		-13.596* (0.000)	-12.965* (0.000)	-0.839* (0.799 3)

注: 表中\*表示在 5% 下的显著性水平。括号内为统计量对应的概率值。

综上所述, 此面板数据中的时间序列是一阶单整时间序列。也就是说面板数据中的时间序列是不平稳的, 有人曾经对不平稳时间序列的一阶差分建立回归模型, 但是这样做出来的模型很难对实际的经济现象做出解释。所以我们不采用那种方法, 而在下一节采用对此面板数据进行协整检验的方法, 达到在原始数据整体的基础上研究期货电价与现货电价是否具有长期的均衡关系的目的。

### 2.2.2 面板数据协整检验

迄今为止, 面板协整检验主要有两个方向: 一是原假设为非协整, 使用类似 Engle 和 Granger(1987) 平稳回归方程, 从协整回归式中得到残差构造统计检验, 计算其分布, 这一类问题的研究可见文献 [11~13]; 另一个是原假设为协整, 基本的检验基于残差, 详细的检验过程可见文献 [14]。

Pedroni 提出的面板协整检验方法可以检验多个面板时间序列间是否存在长期的协整关系, 同时允许面板数据中各面板单位的协整关系中短期动态系数和长期协整关系系数不同。

Pedroni 建立协整方程

$$y_{i,t} = \alpha_i + \delta_i t + \beta_{2i} x_{2i,t} + \dots + \beta_{Mi} x_{Mi,t} + e_{i,t} \quad (2)$$

其中:  $t = 1, 2, \dots, T; i = 1, 2, \dots, N; m = 1, 2, \dots, M; T$

代表样本的时间跨度个数,  $N$  代表样本单位个数,  $M$  代表回归变量的个数。在模型中, 单位之间的斜率、固定效应系数和个体确定趋势系数不同, 因而面板单位间允许存在很大的差异。Pedroni 提出了 7 个面板数据的协整统计量, 其中 4 个是用联合组内尺度(Within dimension)描述, 用“Panel”来表示; 另外 3 个是用组间尺度(Between dimension)来描述, 用“Group”表示。

表 2 面板协整检验结果  
Tab.2 Results of panel cointegration tests

组内统计量	统计量值	组间统计量	统计量值
Panel v-Statistic	0.544	Group rho-Statistic	-5.506*
Panel rho-Statistic	-6.404*	Group PP-Statistic	-4.373*
Panel PP-Statistic	-4.305*	Group ADF-Statistic	-4.466*
Panel ADF-Statistic	-4.359*		

注: 原假设为: 变量之间不存在协整关系; 当统计检验值小于临界值-2.58, 说明在 1% 显著性水平下拒绝原假设, 在表中用\*表示。现货电价与期货电价之间的协整方程为:

$$fpr_{it} = 18.104 + 0.932spr_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

通过面板数据单位根检验, 现货电价与期货电价两变量均表现为一阶单整, 因此两变量间有存在协整关系的可能。根据 Pedroni 提出的方法, 检验现货电价与期货电价之间的协整关系, 检验结果见表 2。表 2 显示出 7 个检验统计量中存在 6 个统计量, 即 Panel rho-Statistic、Panel PP-Statistic、Panel ADF-Statistic、Group rho-Statistic、Group PP-Statistic 和 Group ADF-Statistic 在 1% 显著性下拒绝原假设, 只有 1 个统计量 Panel v-Statistic 没有拒绝原假设。对于小样本来说, Group ADF-Statistic 是最有效的, 其它的统计量可能存在不稳定性。因此, 尽管 Panel v-Statistic 没有拒绝原假设, 综合所有 7 个统计量的结果, 我们仍然认为期货电价和现货电价存在面板协整关系。

### 2.2.3 面板数据误差修正模型及因果关系检验

通过面板协整检验, 建立了协整方程(3), 但时间跨度较小。下面通过误差修正模型来更为准确地说明现货和期货电价之间的动态关系。现货和期货电价面板数据的误差修正模型为:

$$\Delta spr_{it} = b_{2i} + \sum_{k=1}^m \alpha_{2k} \Delta spr_{it-k} + \sum_{k=1}^m \beta_{1k} \Delta fpr_{it-k} + \lambda_1 ECM_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$\Delta fpr_{it} = b_{2i} + \sum_{k=1}^m \alpha_{2k} \Delta spr_{it-k} + \sum_{k=1}^m \beta_{2k} \Delta fpr_{it-k} + \lambda_2 ECM_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中:  $\Delta$  表示一阶差分运算,  $ECM$  表示长期均衡误差。

如果长期均衡误差项系数  $\lambda$  为零被拒绝, 说明误差修正机制发生作用, 检验得到的长期均衡关系是可靠的, 反之则是不可靠的。如果式(4)中的  $\beta_{1k}$  或式(5)中的  $\alpha_{2k}$  为零被拒绝, 说明短期因果关系成立, 反之则无短期因果关系。

现货和期货电价面板数据的误差修正模型检验结果见表 3。在以期货电价为因变量的误差修正模型中,  $ECM$  项回归系数 0.428, 其概率值为 0.000, 显著不为 0, 所以误差修正机制发生作用; 变量  $\Delta spr_{t-1}$  和  $\Delta spr_{t-2}$  的回归系数分别为 0.034 和 0.021, 其概率值分别为 0.636 和 0.772, 显著为 0。所以现货电价不是期货电价的格兰杰原因。

表 3 面板误差修正模型检验结果  
Tab.3 Results of error correction model test

变量	回归系数	标准误差	T 检验值	概率值	
因变量 $\Delta fpr_t$	$\Delta fpr_{t-1}$	0.016	0.087	0.186	0.852
	$\Delta fpr_{t-2}$	-0.314	0.098	-3.208	0.002
	$\Delta spr_{t-1}$	0.034	0.071	0.475	0.636
	$\Delta spr_{t-2}$	0.021	0.072	0.291	0.772
	$ECM$	0.428	0.067	6.362	0.000
因变量 $\Delta spr_t$	$\Delta fpr_{t-1}$	0.834	0.117	7.152	0.000
	$\Delta fpr_{t-2}$	0.191	0.132	1.450	0.150
	$\Delta spr_{t-1}$	-0.498	0.096	-5.169	0.000
	$\Delta spr_{t-2}$	-0.024	0.097	-0.247	0.806
	$ECM$	-0.245	0.090	-2.706	0.008

在以现货电价为因变量的误差修正模型中,  $ECM$  项回归系数-0.245, 其概率值为 0.008, 显著不为 0, 所以误差修正机制发生作用; 变量  $\Delta fpr_{t-1}$  的回归系数为 0.834, 其概率值分别为 0.000, 显著不为 0。所以, 无论是短期还是长期, 期货电价是现货电价的格兰杰原因。

### 3 结论

本文通过对北欧与美国 PJM 电力市场的期货电价与现货电价面板数据的动态分析,解决了文章中提出的几个问题:(1)电力市场期货价格与现货价格之间具有长期稳定的均衡关系,电力期货市场是有效率的,具有良好的价格发现功能,不存在少数市场参与者操纵控制价格的现象;(2)电力市场期货价格和现货价格表现为一种领先、滞后的关系,这种关系具体表现出期货价格引导现货价格,现货电价滞后于期货电价。

#### 参考文献

- [1] 江健健,夏清,祁达才. 基于期货的新型电力交易模式[J].中国电机工程学报, 2003, 23(4): 31-37.  
JIANG Jian-jian, XIA Qing, QI Da-cai. New Mechanism of Electricity Trade Based on Futures[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(4): 31-37.
- [2] 周浩, 康建伟, 陈建华. 蒙特卡罗方法在电力市场短期金融风险评估中的应用[J].中国电机工程学报, 2004, 24(12): 74-77.  
ZHOU Hao, KANG Jian-wei, CHEN Jian-hua. Evaluating Short-term Financial Risk in the Electricity Market by Applying Monte-Carlo Method[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(12): 74-77.
- [3] 周浩, 张权, 张富强. 考虑期货交易的电力市场金融风险[J].电网技术, 2004, 24(12): 74-77.  
ZHOU Hao, ZHANG Quan, ZHANG Fu-qiang. Financial Risk in the Electricity Markets Considering Futures Contracts[J]. Power System Technology, 2004, 24(12): 74-77.
- [4] Avsar S G, Doss B A. Forecast Errors and Efficiency in the US Electricity Futures Market[J]. Australian Economic Papers, 2001, 40(4): 479-499.
- [5] Colins R A. The Economics of Electricity Hedging and a Proposed Modification for the Futures Contract for Electricity[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(1): 8-20.
- [6] Tավlapco E, Lawarree J, Liu C C. Hedging with Futures Contracts in a Deregulated Electricity Industry[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(3): 577-582.
- [7] Lo A W, MacKinlay C. Stock Market Prices Do not Follow Random Walks: Evidence from a Simple Specification Test[J]. Review of Financial Studies, 1988, 1: 41-66.
- [8] 李子奈, 叶阿忠. 高等计量经济学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [9] Levin A, Lin C F. Unit Root Tests in Panel Data: Asymptotic and Finite-sample Properties[J]. San Diego: University of California, 1992.
- [10] Im K S, Pesaran M H, Shin Y. Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels[J]. Journal of Econometrics, 2003, 115(1): 53-74.
- [11] Pedroni P. Fully Modified OLS for Heterogeneous Cointegrated Panels and the Case of Purchasing Power Parity[J]. Indiana University Working Paper in Economics, 1996.
- [12] Pedroni P. Panel Cointegration: Asymptotic and Finite sample Properties of Pooled Time Series Tests with an Application to the PPP Hypothesis: New Results[Z]. Indiana University, 1997.
- [13] Pedroni P. Critical Values for Cointegration Tests in Heterogeneous Panels with Multiple Regressions[J]. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 1999.
- [14] McCoskey S, Kao C. A Residual-based Test for the Null of Cointegration in Panel Data[J]. Econometric Reviews, 1998, 17: 157-166.

收稿日期: 2008-07-31; 修回日期: 2008-11-20

#### 作者简介:

刘思东(1982-), 男, 硕士, 研究方向为数量经济模型、电力市场; E-mail: liu123qun@126.com

杨洪明(1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向为电力市场;

王琦(1947-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向为运筹与优化。