

Correlation Analysis of Competitive Electricity Market Based on Granger Test

Xinwei Wen, Zewei Bai, Yazhi Li, Shen Liu, Fang Wang*

College of Information Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan
Email: *topwang619@163.com

Received: Jun. 4th, 2019; accepted: Jun. 18th, 2019; published: Jun. 25th, 2019

Abstract

In order to explore the formation mechanism of electricity price in competitive electricity market, in this paper, the clearing price and load of California electricity market are considered as study object to detect the causal relationship between them by using Granger. Firstly, the long-range auto-correlation of real-time electricity price and quantity of the years of 1999 to 2000 as well as the cross-correlation between them are tested. Then, the first-order difference of the charge quantity and its corresponding price data for 24 periods in 1999 and 2000 is made respectively. After that, we investigate the stability of the sequence by ADF test. And then the causality test between the charge quantity and the price sequence after the first-order difference is carried out by Granger test. The results show that there is a significant correlation between the quantity and electricity price, which is causal to each other. Finally, some suggestions are provided for the healthy operation of electricity market of China.

Keywords

California Electricity Market, Auto-Correlation, Cross-Correlation, Granger Causality Test

基于格兰杰检验的竞争性电力市场相关性分析

文欣薇, 柏泽伟, 李雅芝, 刘深, 王访*

湖南农业大学信息科学技术学院, 湖南 长沙
Email: *topwang619@163.com

收稿日期: 2019年6月4日; 录用日期: 2019年6月18日; 发布日期: 2019年6月25日

摘要

为探索竞争性电力市场电价形成机制, 本文以美国加利福尼亚州(以下简称加州)电力市场出清价格、电量为研究对象, 通过格兰杰检验, 分析加州电力市场出清价格与电量之间的相关性。结果表明, 加州电力市场出清价格与电量之间存在显著的相关性, 且为因果关系。最后, 针对加州电力市场的健康运行提出了一些建议。

文章引用: 文欣薇, 柏泽伟, 李雅芝, 刘深, 王访. 基于格兰杰检验的竞争性电力市场相关性分析[J]. 统计学与应用, 2019, 8(3): 530-536. DOI: 10.12677/sa.2019.83060

荷量为研究对象,利用格兰杰方法检测二者之间的因果关系。首先选取1999~2000年的实时电价与电荷量进行长程自相关性、互相关性检测。然后分别将1999年和2000年全年24个时段的电荷量及其对应电价的数据进行一阶差分,选用ADF检验法检测序列的平稳性,而后利用Granger检验法对一阶差分后的电荷量与电价序列进行因果关系检验。结果表明,电荷量与电价的具有显著的相关关系,且互为因果。最后为我国电力市场健康运行提供了建议。

关键词

加州电力市场, 自相关, 互相关, Granger因果检验

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着电力市场化改革的深入,电价的制定、电力市场的竞价成为了电力市场研究领域的热点问题。电价的变化包含了电力市场中的多种信息,并能较好地反映市场的变化。对电价的了解不够或是反应不当,将会极大程度上影响发电商的利益。而找到电价与电荷量的相关性,不仅有助于揭示电价这一重要信号在电力市场中的变化规律,也对于发电厂竞价策略的制定具有重要意义。

电价作为反映电力市场状况的核心指标,是电力市场的一个研究热点。电价受到发电量、用电量以及输电网的运行状态的影响,这些因素的共同作用让电价的变化异常复杂,具有极强的不确定性。为了研究电价, Davison 等[1]提出了一种不同于直接电价模型的随机电价模型;刘莉等[2]将多标度分形理论应用于发电商竞价策略的制定,并由此制定出最优竞价策略;王访等[3]认为不同电力市场与不同时段的分形各不相同,也可以利用分形参数的差异来区分不同时段电价。对于不同的时段,各个因素对于电价有着不同的影响。本文主要从用电量这个影响因子入手,选取分时段电价的数据,利用基本的统计学方法,着重研究电价与电荷量的相关性以及深层次的关联,为实现更好的定价决策提供参考。

本文采用1999年和2000年美国加州电力市场每时段电荷量与电价数据为研究对象,分析它们之间的相关关系,为电力市场定价决策与市场化竞价提供进一步的支持。首先对它们进行描述统计分析,揭示其线性关系;接着研究电价与电荷量的自相关性及电价与电荷量的互相关性;最后为了探寻电价与电荷量的相互影响,在进行ADF检验后,对原始数据进行一阶差分,用加州电价和电量的自相关性和互相关性的显著性并结合AIC检验来确定各检验的最大时滞项后,对电价与电荷量进行Granger因果检验,得出其相互影响、相互制约的关系。最后提出相应的建议,为我国电力市场的定价以及竞价策略提供合理的参考。

2. 加州电价及负荷量相关性分析

2.1. 电价与负荷量的回归分析

建立线性回归模型 $y_i = a + bx_i + e_i$, 其中 y_i 为电价, x_i 是用电量, e_i 为服从高斯分布的白噪声序列。将加州电力市场1999~2000年的电价及电荷量进行K均值聚类,分别选出24个时段的聚类值来代替该时段的电价及电荷量,并由SPSS软件进行拟合比较,分析1999年和2000年电价及电荷量关系,可看

出无论是常数项还是自变量，其 t 统计量对应的 p 值都小于显著水平 0.05，在此水平下都通过了检验，且模型 R^2 均约为 0.86，因此电价及电容量间有较为显著的线性关系，具体关系如表 1 所示：

Table 1. Analysis of linear fitting of quantity and price in California 1999 and 2000 yrs in electricity markets
表 1. 加州电力市场 1999 年和 2000 年电价及电容量的线性拟合分析结果

		非标准化系数		标准化系数	t	Sig.
		B	标准误差	Beta		
1999 年	(常数)	-24.120	1.605		-15.026	0.000
	负容量	0.002	0.000	0.989	30.732	0.000
2000 年	(常数)	-114.451	2.537		-4.664	0.000
	负容量	0.011	0.001	0.881	8.752	0.000

2.2. 电量与电价的自相关性分析

电量和电价时常受汛期、早期、负荷的谷峰等因素的影响，为探究电量和电价序列的变化是否受到历史值的影响，我们在下面的分析中对所选取的电量、电价的一阶差分序列进行研究。将 1999 年和 2000 年全年 24 个时段的电容量及其对应电价的所有数据分别导入 Eviews 软件，进行一阶差分处理，并作出相关图，如果所得检验概率小于显著性水平，则拒绝原假设，认为序列存在自相关性。加州 1999 和 2000 年全年的数据的相关图如图 1、图 2 所示。

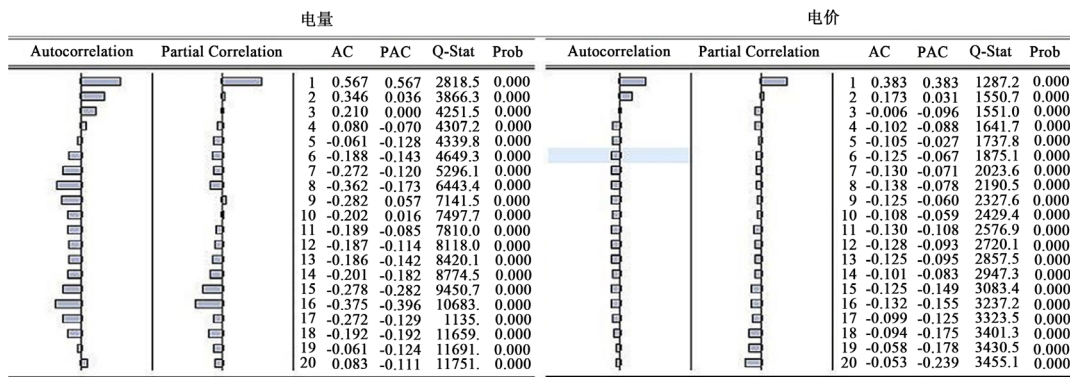


Figure 1. Auto-correlation plot between electric quantity and price in California 1999 yr
图 1. 加州 1999 年电量电价的自相关图

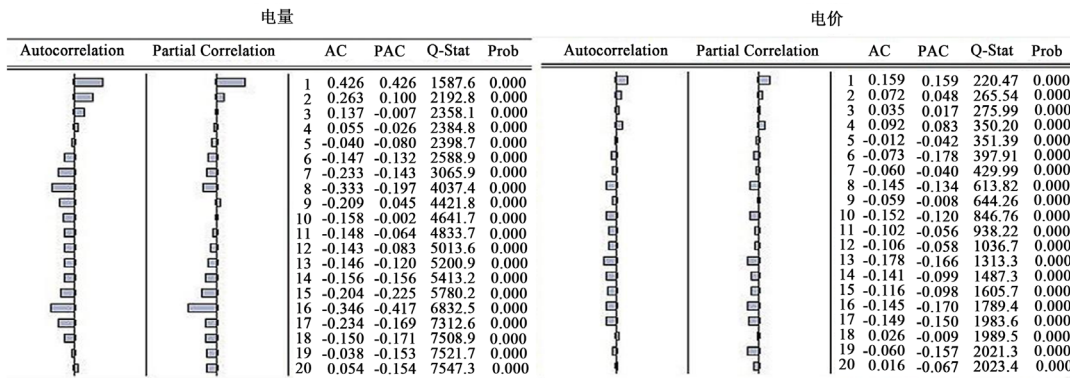


Figure 2. Auto-correlation plot between electric quantity and price in California 2000 yr
图 2. 加州 2000 年电量电价的自相关图

由以上两图不难看出：1999 年和 2000 年的电价和电量的检验概率 p 值均小于显著性水平 0.05，并且 1999 年和 2000 年的电价、电量的自相关图中的 AC 均不为 0，说明加州 1999 年和 2000 年的电价和电量序列的变化受到自身历史值的影响，具有显著地长程自相关性。

2.3. 电量与电的互相关性分析

为了探寻电量和电价时间序列的长程互相关性，分别将 1999 年和 2000 年的全年 24 个时段的电流量及其对应电价的数据导入 Eviews，进行互相关性分析[4]，得到这两个序列的 t 统计量的值，比较 t 统计量与临界值的大小，结果如表 2 所示：

Table 2. Cross-correlation between quantity and price in California 1999 and 2000 yrs in electricity markets

表 2. 加州电力市场 1999 年和 2000 年电流量和电价互相关关系

相关性	1999 年		2000 年	
	X	Y	X	Y
X	1.0000		1.0000	
Y (t -统计量)	0.6427 (78.4989)	1.0000	0.5932 (18.4271)	1.0000

说明：表中的 X 代表电价，Y 代表电流量。

从上述两表中可以看出：1999 年和 2000 年的 t 统计量的值都远大于 0.05 显著性水平下的临界值 3.629，表明电流量和电价之间具有显著的互相关性，并且 1999 年和 2000 年中电流量和电价的相关系数大于 0，表明电价和电流量具有正相关性。

3. Granger (格兰杰)因果检验

3.1. 平稳性检验及滞后项的确定

在对加州电力市场电流量电价数据进行分析之前，首先要检验变量的平稳性，否则会产生伪回归现象。本文选用 ADF 检验[5]检测序列的平稳性。为此，将 1999 年和 2000 年的电价与电流量数据进行 ADF 检验，若 p 值大于显著性水平 0.05，则表明该序列不平稳。实验发现原始数据在经过一阶差分后 p 值为 0.0000，小于 0.05 的显著性水平，说明一阶差分后的电价及电流量序列是平稳的[6]。

Granger 因果检测[7]中一个最重要的工作的滞后项的确定，不同的滞后会带来不同的检测结果，本文利用加州电价和电流量的自相关性和互相关性的显著性并结合传统的 AIC 检验来确定各 Granger 因果检测的最大时滞项。

记 R_m 为电价和电流量变化序列(一阶差分序列)互相关性显著的自由度所对应的滞后项的集合， C_m 为电价变化序列自相关性(记为 $Q_C(m)$)显著的自由度所对应的滞后项的集合， K_m 为电流量序列自相关性(记为 $Q_K(m)$)显著的自由度所对应的滞后项的集合，即：

$$\begin{cases} R_m = \{m | Q_{cc}(m) > \chi_\alpha^2(m)\} \\ C_m = \{m | Q_C(m) > \chi_\alpha^2(m)\} \\ K_m = \{m | Q_K(m) > \chi_\alpha^2(m)\} \end{cases} \quad (1)$$

之后，求出上述三个集合的交集 I_m ：

$$I_m = R_m \cap C_m \cap K_m \quad (2)$$

互相关统计量为:

$$Q_{cc}(m) = N^2 \sum_{i=1}^m \frac{\rho_i^2}{N-i} \quad (3)$$

其中 $\rho_i = \frac{\sum_{k=i+1}^N x(k)y(k-i)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N x(k)^2 \cdot \sum_{k=1}^N y(k)^2}}$ 。 $\{x(k)\}$ 为电量和电价的一阶差分序列, $k=1,2,\dots,N$, 其中 N 为序列长度。自相关统计量为:

$$Q(m) = N(N+2) \sum_{i=1}^m \frac{r_i^2}{N-i}, \quad (4)$$

其中 $r_i = \frac{\sum_{k=i+1}^N x(i)x(k-i)}{\sum_{k=1}^N x(k)^2}$ 。由 AIC 统计量最小的原则来确定最大时滞项:

$$AIC = \frac{-2l}{N} + \frac{2n}{N}, \quad (5)$$

其中 $l = -\frac{Nk}{2}(1 + \ln 2\pi) - \frac{N}{2} \ln \left| \frac{1}{N} \sum \hat{\varepsilon}_i \hat{\varepsilon}_i' \right|$, k 是内生变量个数, $n = k(d + pk)$ 是被估计参数的总数, d 是外生变量个数, p 是滞后阶数。

3.2. Granger 因果分析

Granger 因果检验假定变量 y 或变量 x 的预测信息全部包含在这两个时间序列之中, 检验要求估计以下两个回归:

$$\begin{cases} y_t = \sum_{i=1}^m \alpha_i x_{t-i} + \sum_{j=1}^m \beta_j y_{t-j} + u_{1t}, \\ x_t = \sum_{i=1}^m \lambda_i x_{t-i} + \sum_{j=1}^m \delta_j y_{t-j} + u_{2t}. \end{cases} \quad (6)$$

其中干扰项 u_{1t} 和 u_{2t} 互不相关, 对上式第 1 个方程中检验变量 x 是否是引起 y 的变化, 现假设为 x 不是 y 变化的原因, 即 $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_m = 0$, 构造检验统计量:

$$F = \frac{(RSS_R - RSS_{UR})/m}{RSS_{UR}/(N-k)}, \quad (7)$$

其中, RSS_R 是(6)式只对 y 的滞后项进行的回归(这一回归中没有把滞后项 x 包括进来, 这是一个受约束的回归)残差平方和; RSS_{UR} 是(6)式对所有变量的回归(这一回归包括 x 的滞后和 y 自身的滞后, 这是一个无约束的回归)残差平方和。 m 是变量 x 的滞后阶数, k 是指无约束回归中为之参数个数。

同理第 2 个方程检验 y 的滞后是否为 x 的原因, 原假设为 y 不是 x 变化的原因, 即 $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_m = 0$ 。在原假设下, F 统计量服从自由度为 m 和 $(N-k)$ 的 F 分布。通过查表可得在给定显著性水平 α ($\alpha = 0.05$) 下的 F 分布临界值 $F_\alpha(m, N-k)$ 。当 $F > F_\alpha(m, N-k)$ 时, 则拒绝原假设, 认为此时 $x(y)$ 的滞后对 $y(x)$ 会造成影响。

根据上述检验原理, 对加州电量和电价一阶差分序列进行 Granger 因果检验。由 3.1 可知, 电量和电价的变化序列(一阶差分序列)均为平稳序列, 其因果检验的结果如表 3 所示:

在显著性水平为 0.05 的条件下均应拒绝原假设, 说明电价是电量的 Granger 原因, 且电量也是电价的 Granger 原因, 即二者互为因果关系。

Table 3. The result of Granger causality test for electric quantity and price in 1999 and 2000 yrs ($\alpha = 0.05$)
表 3. 加州 1999 年和 2000 年电价与负荷量的 Granger 因果检测结果($\alpha = 0.05$)

年份	原假设	F 值	p 值	决策	滞后阶数
1999 年	电价不是电量的 Granger 原因	75.5125	3.00e-33	拒绝原假设	22
	电量不是电价的 Granger 原因	214.501	1.00e-91	拒绝原假设	
2000 年	电价不是电量的 Granger 原因	68.1943	2.00e-17	拒绝原假设	26
	电量不是电价的 Granger 原因	38.8408	4.00e-30	拒绝原假设	

4. 结论及建议

4.1. 结论

通过对加州 1999 年和 2000 年电价、电容量数据的 Granger 检验发现, 电价与电容量具有较强相关性, 电价受到电容量的影响, 而电容量的变化也与电价密切相关。因此, 在这种双向影响的情况下, 电力市场的运营商考虑到用电者对电价的变化敏感度后, 可根据实时的用电情况合理调整分时段的电价。

4.2. 对我国电力市场健康运营的启示与建议

1) 促使电价的合理制定, 保障电力市场合理运行

自从电力市场的改革深化以来, 电价的制定成为了重点研究对象。加强对电价的研究, 能使我国电力市场更加健康合理地运行与发展。运营商根据实时用电情况合理调整分时段的电价, 可以督促人们养成节约用电的习惯。

2) 节约用电, 建设资源节约型社会

建设资源节约型社会, 其目的在于追求更少资源消耗、更大经济和社会效益, 实现可持续发展。提高国民的节约用电意识, 对于建设资源节约型社会有着必不可少的作用。用电者也应清醒的意识到其用电行为也将会影响电力价格的制定。

3) 加强对于各国电力市场的研究, 促进电力市场的繁荣发展

在全球化、一体化高速发展的当今时代, 我们需要不断的学习以求高速发展。在电力市场研究方面亦是如此。对于他国电力市场优秀政策以及精彩研究的交流和学习, 可以帮助我们更好的发展我国的经济[8]。在交流中汲取各自之长处, 并从而因地制宜地设计出适合我国国情的电价制定方案、电力市场运行方案等, 促进我国电力市场的繁荣发展。

基金项目

本文由湖南省社科基金项目(18YBA226)和湖南农业大学大学生创新性实验计划项目(XCX18007)资助。

参考文献

- [1] Davison, M., Anderson, C.L. and Marcus, B. (2002) Development of a Hybrid Model for Electrical Power Spot Prices. *IEEE Transactions on Power Systems*, **17**, 257-264 <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2002.1007890>
- [2] 刘莉, 江辉, 彭建春, 石宇. 基于多标度分形理论的发电商竞价策略[J]. 电网技术期刊, 2010, 34(3): 129-134.
- [3] 王访, 尚金成. 基于多重分形理论的电力交易价格分时段特征分析[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(1): 62-69.
- [4] 赵立平, 李小北, 郭凤兰. 河北省对外贸易与经济增长的相关性分析[J]. 商场现代化, 2006(34): 18-19.
- [5] 莫达隆. 利用 ADF 检验对时间序列进行建模. 时代金融, 2010(4): 46-48.

- [6] 贺彦淇. 基于差分法的旅游收入回归分析[J]. 经济研究导刊. 2012(17): 98-99.
- [7] 朱加发, 王怀相. 基于格兰杰因果关系检验的铁路与城市化关系研究[J]. 铁道运输与经济, 2017(4): 68-72
- [8] 龚小平, 刘飞. 供电公司的电力市场营销作用浅析[J]. 中小企业管理与科技(中旬刊), 2016(5): 28-28.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2325-2251, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: sa@hanspub.org