

Chapter Three

关于能源期货：石油，煤和天然气的非线性超前滞后的依赖性分析¹

Germa'n GCreamer¹ and Bernardo Creamer²

¹School of Business, Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ, USA

²Universidad de las Ame'ricas, Quito, Ecuador

3.1 介绍

主要化石能源（如石油，煤和天然气）有一些影响其价格的共同因素，例如控制排放量或者能源危机市场和政治斗争也会影响能源价格，尤其是对石油来说。当然它们之间价格相互依赖，作为生产电力的部分替代品，相互影响也是很有可能的。

Mohammadi（2011）发现对于美国而言，石油和天然气的价格分别受国际影响和区域影响，而煤的价格则由长期的合同决定。Mohammadi（2009），运用协整分析法揭示了电力和煤的价格之间的强关系以及电力和石油、天然气之间的不显著关系。

¹A preliminary version of this paper is included on the Proceedings of the AAAI 2014 Fall Symposium on Energy Market Predictions.

Handbook of High-Frequency Trading and Modeling in Finance, First Edition. .Mariani, H. Eugene Stanley and Frederi G. Viens.

© 2016 John Wiley & Sons, Inc. Published 2016 by John Wiley & Sons, Inc.

Asche et al. (2003) 和 Bachmeier and Griffin (2006) 运用协整分析发现当原油和几种提纯产品价格整合在一起时，石油、煤、天然气之间有非常微弱的联系。(Asche et al., 2003). Hartley et al. (2008) 注意到天然气和石油价格之间的间接关系。Aruga and Managi (2011) 更进一步的检测到在一组大型能源产品之间的弱市场整合度：WIT 石油，Brent 石油，汽油，燃油，煤，天然气和乙醇的未来价格。

Mjelde and Bessler (2009) 发现石油、煤、天然气和铀市场没有完全协整。Asche et al. (2006) 指出 1995-1998 年间，由于对能源总体的高需求而不是对某种特定能源的需求，英国的能源市场高度整合。Brown and Yucel (2008) 的研究表明了自从 2000 年以后石油和天然气的价格就已经独立了。然而，当我们把天气和库存纳入误差修正模型的考虑范畴之后，原油的价格就对天然气的价格有影响了。Ramberg (2010) 运用协整分析也得到了类似的结果。Amavilah (1995) 发现石油价格影响铀的价格。

之前提及的大部分关于化石能源的研究都是基于协整分析和格兰杰因果判断法，然而，没有一个研究运用了非线性相关手段比如由 Sze'kely and Rizzo (2009) 提出的布朗相关距离。距离相关性是一个用于处理多维随机向量的非线性多元依赖系数。在众多不同的使用这种距离相关性的财经问题的研究中，Creamer et al. (2013) 评价了企业新闻网络在回报与波动性上的影响；Grothe et al. (2014) 测度了欧洲债券和股票在最近的欧元危机中的关系；Puliga et al. (2014) 建立了信用违约互换网络来预测系统性风险；Zhang et al. (2014) 建立了国际航运市场网络来预测系统性风险。这一章进行了煤、石油、天然气的超前-滞后分析，运用了布朗距离相关性并且将其结果与著名的格兰杰因果分析检验结果相比较。

3.1.1 因果关系分析

格兰杰因果关系 (Granger, 1969, 1980, 2001) 是一种在经济学、金融计量经济学和其他领域如同神经科学都非常流行

的方法，用于评价两个或更多变量间的线性因果关系。根据格兰特因果分析法的基本定义，将 Y_{t-1} 作为滞后值，用自回归过程对因变量 Y_t 的预测应该与用 Y_{t-1} 和自变量 X_{t-1} 向量的自回归过程结果作比较。因此，根据格兰杰因果分析，当 X_{t-1} 优先于 Y_t 发生且 X_{t-1} 拥有其他变量没有的用于预测 Y_t 的独特信息时， X_{t-1} 就是引起 Y_t 的原因。

典型的，格兰杰分析法是通过控制 X_{t-1} 的有和无，利用自回归模型来接受检验，正如下面这个二元例子所示：

残差是白噪声序列：

零假设： $H_0: \beta_1=0$ 在 F 检验的基础上被拒绝。基于 AIC 和 BIC 来选择自回归模型的顺序。

Sze'kely and Rizzo (2009) 也提出了用于捕捉关于随机过程的协方差的布朗距离协方差。介于随机向量 X, Y 之间的距离协方差 ($v(X, Y)$)，通过平方根求得，衡量了 $f_X f_Y$ 和 $f_{X,Y}$ 之间的距离。 $|| \cdot ||$ 为常态， t 和 s 是向量 f_X, f_Y 分别是 X, Y 的特征函数， $f_{X,Y}$ 是 X, Y 的联合特征函数。由实证得到 $v(X, Y)$ 评价了独立的零假设 $H_0: f_X f_Y = f_{X,Y}$ 比上备择假设 $H_A:$

$f_X f_Y \neq f_{X,Y}$ 。在这一章中，检验为独立性的距离协方差检验。相似的有，距离方差 ($v(X)$) 是 $v^2(X)$ 的平方根

一旦距离协方差确定了，距离相关性 $R(X, Y)$

也被下面的表达式确定：

距离相关性检验中：若向量是互相独立值为 0，若完全依赖值为 1。

3.2 数据

我们使用 2006-2012 年间一个月每日一次的化石能源远期期货对数价格作为时间序列：WTI 石油，纽约商品交易所的煤，天然气。（图 3.1）这些序列，根据自相关函数 ACF 和偏 ACF，有一些相关联的自回归影响。然而，这一章强调的是滞后的互相关，在接下来的部分将会讲述。

3.3 估计方法

我们用 ADF 检验评价序列的平稳性，我们使用 Bai 和 Perron(1998) 的检验来探测煤/WIT 对数价格的结构性突变比率，考虑到这些是因果性分析的最显著的产品。当突变日期为

未知及突变日期不止一个时，Bai-Perron 检验极其有用。

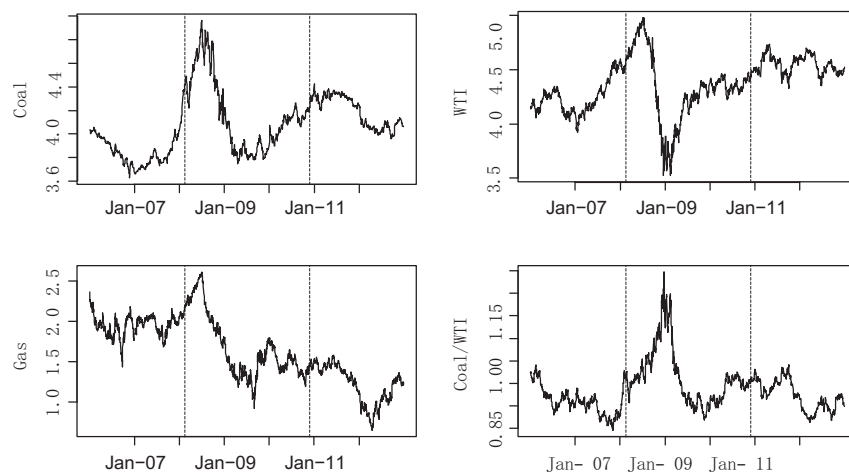


图 3.1 产品的对数价格水平线表示根据检验煤/WTI 对数价格比率代表的结构性突变

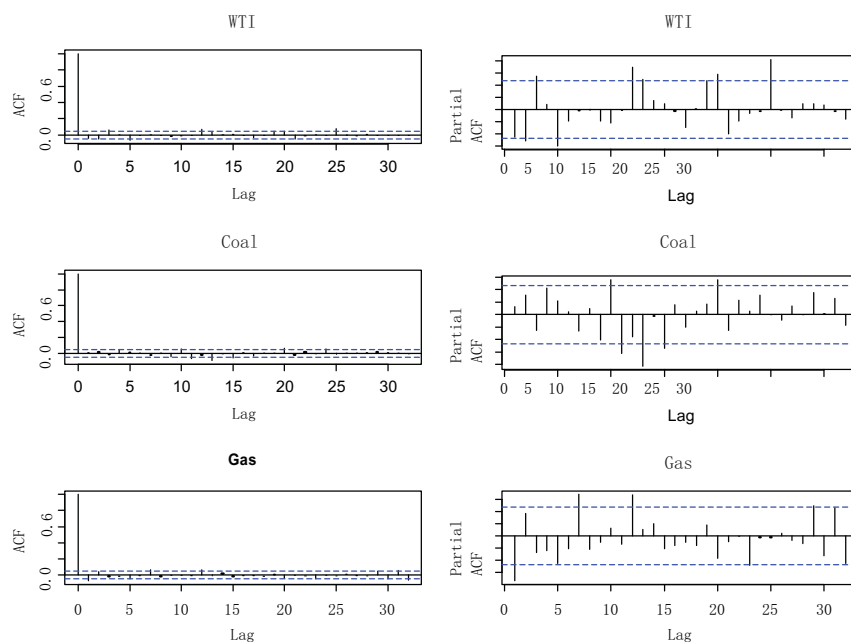


FIGURE 3.2 ACF and partial ACF of log returns byproduct.

对于由 Bai-Perron 检验确认的每个时期的完整序列，我们测试它的非线性，运用 White (Lee et al., 1993) 和 Terasvirta 检验 (Terasvirta et al., 1993). 我们也进行非线性超前滞后关系分析，在每对变量之间的运用布朗距离相关性，选取了七个滞后期（一周）我们把这些结果与格兰杰因果检验比较，用 Johansen 检验 (Johansen, 1988a, b) 评价不同组的协整性，从而决定我们是否要用 VAR 误差修正模型。在我们的分析中 \rightarrow 表示关系举例来说， $X \rightarrow Y$ 指明了，当运用格兰杰因果检验时或当运用布朗距离相关性 Y 依赖于 X 时， X 引起 Y 。因此，每个检验的 P 值只评价了一个变量对另一个变量的影响并且不被其他的时间序列影响。

3.4 结果

将 Bai - Perron 检验运用到煤/WTI 比率序列，可以把数据分散到下列时期：01/03, 2006-01/17, 2008

表 3.1 对数价格的描述性数据

	2006 - 2012		
	Coal	WTI	Gas
矿	4.08	4.37	1.62
SD	0.26	0.25	0.41
Skewness	0.79	- 0.47	0.05
Kurtosis	0.34	0.48	- 0.6

(危机前), 01/18, 2008-11/17, 2010 (金融危机时期), 11/18, 2010-12/31, 2012 (恢复时期) (图 3.1) 我们在不同时期进行我们的分析, 整个时间序列为 2006-2012。ADF 检验表明所有对数价格序列在上述时期都是非平稳的, 正如预测的一样, 对数收益是平稳的。所以, 我们运用对数收益 (对数价格的一阶差分) 来进行因果检验。

天然气价格的分布表现出最高的波动性, 尽管它比剩余的倾斜程度更低, 更为平坦。(据表 3.1 和图 3.1). 价格序列间的相关性在危机时期显著增加, 我们可以从图 3.1 和表 3.2 中的所有序列的收敛观测到这点。在危机前的时期, WTI 和煤之间的相关性为 0.64; 然而, 在危机以后, 相关性跌倒了 0.08。煤和天然气之间的相关性刚好相反, 从 0.29 增加到了 0.82。与此同时, 天然气和 WTI 的相关性从 0.07 变为 0.15。这些互相关变化表明了这三种化石能源序列内部的高关联性。然而, 表 3.3 中的超前-滞后和格兰杰因果分析更好地捕捉到了长期的动态联系。

表 3.2 对数价格的相关性矩阵表不包含对角值

	2006-12	危机前	危机时	危机后
	煤 WTI	煤 WTI	煤 WTI	煤 WTI
WTI	0.64	0.54	0.67	0.08
Gas	0.16 - 0.03	0.28 0.06	0.85 0.65	0.82 - 0.15

3.5 讨论

格兰杰因果关系的显著性水平 $p \leq 0.05$, $\ddagger p \leq 0.01$) 布朗距离相关性 $p \leq 0.05$, $** p \leq 0.01$) 对数收益序列排除了不相关关系黄色代表根据 White 或者 Terasvirta 检验的非线性, 绿色代表两者都检测到的在 5% 阈值内的非线性

时期	滞后/影响	1	2	3	4	5	6	7
2006 - 12	WTI→煤	** * †	** *	** *	** *	** *	* †	*
	天然气→煤	*						*
	煤→WTI	** *	*	** *	** *	** *	*	*
	煤→天然气		*	*		†	†	†
	WTI→煤	** *						
危机前	WTI→煤	** *						
	天然气→煤	*	*					
	天然气	* †	†	†	†	†		
危机时	WTI→煤	** * †	** * †	** * †	** * †	†	* †	†
	天然气→煤							*
	煤→WTI	** *	*	** *	** *	** *	*	
	煤→天然		*	*		†	†	
	气	*						
恢复时期	天然气→煤							
	煤→天然气	†	* †	†	†	†		

根据 Johansen 检验, 没有一组对数价格在不同时期内在 5% 的显著水平上协整, 我们使用对数收益序列的 VAR 模型来进行格兰杰因果检验, 使用七个滞后期而不是使用自回归误差修正模型向量。

3.5 讨论

在 2006-2012 完整期间内, 根据布朗距离, WTI 和煤表现出一种反馈关系, 只有 WTI→煤保持与格兰杰因果检验 5% 的显著水平一致的关系 (表 3.3) 在滞后期 5-7 中, 煤格兰杰引起天然气。另外, 布朗距离认识到了下列的依赖性 (括号中的滞后期) 天然气 (1-7) → 煤, 煤 (2-3) → 天然气和 WTI (1) → 天然气。在危机期间 (2008-2010) 也检测到了十分类似的关系。两个检验都表明天然气→WTI 在危机前具有相关依赖性, 布朗距离认识到了 WTI (1) → 煤和天然气 (1, 2) → 煤的关系

的重要性。在恢复期间，只有煤→天然气关系在两个检验中是相关的，特别是对于格兰杰检验来说。大多数运用布朗距离观测到而没有被格兰杰检测到的附加关系都与相关的非线性关系一致，根据 White 和 Terasvirta 检验（表 3.3）因此，布朗距离检测到了大量很重要的依赖性，其中一些被格兰杰因果检验证实。

这些被确认的非线性关系可能会对美国用于产电的投入有一些影响。发电用的煤在 2007 年时达到峰值，之后便快速的下降。而与之相反的天然气，自 1990 年后就不断增长，特别是在 2009 年之后。在 2000 年和 2012 年之间，用于产电的煤和石油比率已经分别从 51.7%，2.9% 下降到 37.4% 和 0.6%，而用于产电的天然气则近乎增长了两倍，从 15.8% 上升到 30.4%。（表 3.4）产电的增加

产电网络能源的比率 Ren. en. 根据可再生能源

年	煤	石油	天然气	核	Ren En	其他
2000	51.72%	2.92%	15.81%	19.83%	9.38%	0.35%
2001	50.96%	3.34%	17.10%	20.57%	7.70%	0.32%
2002	50.10%	2.45%	17.91%	20.22%	8.90%	0.42%
2003	50.83%	3.07%	16.74%	19.67%	9.15%	0.55%
2004	49.82%	3.05%	17.88%	19.86%	8.85%	0.53%
2005	49.64%	3.01%	18.77%	19.28%	8.82%	0.48%
2006	48.97%	1.58%	20.09%	19.37%	9.49%	0.51%
2007	48.51%	1.58%	21.57%	19.40%	8.49%	0.45%
2008	48.21%	1.12%	21.44%	19.57%	9.25%	0.42%
2009	44.45%	0.98%	23.31%	20.22%	10.57%	0.45%
2010	44.78%	0.90%	23.94%	19.56%	10.36%	0.45%
2011	42.27%	0.74%	24.72%	19.27%	12.52%	0.48%
2012	37.42%	0.56%	30.35%	18.97%	12.22%	0.47%

来源：美国能源信息机构

天然气的增加与用于产电的煤的收缩量相等，这可以部分归因于从 2005 年 12 月到 2012 年 4 月的天然气的对数价格的下降（表 3.1）美国净化空气法案限制二氧化硫的排放和天然气价格的相对下降导致了发电厂用天然气代替部分煤作为他们主要的投入能源。当越来越多的发电厂增加天然气的消费量，天然气的价格也跟随着石油和煤的类似趋势走高。线性的或非线性的超前-滞后分析也表明煤的价格对天然气的价格有重要影响，特变是在危机和恢复时期。这个特例阐释了所研究的不同商品间的价格的非线性的动态变化和存在于三种化石能源间的主要内部关系。这些非线性的关系的主要作用是提高商品价格预测的精准度。

3.6 结论

这一章提出了用布朗距离相关性来进行金融和经济时间序列的超前-滞后分析。当这个方法用于资产价格时，已确认的非线性关系可能会改进这些资产的价格发现过程。

布朗距离相关性决定了与线性的格兰杰因果检验相似的关系，并且揭示了石油，煤，天然气之间的非线性关系。这项研究可以扩展到探索当下和未来的混合资产价格的超前-滞后关系，如商品和不同市场使用的外币。