

文章编号: 1006-4710(2011)04-0491-05

# 国际原油期货价格与现货价格动态关系研究 ——基于 WTI 原油实证检验

扈文秀, 姚小剑

(西安理工大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 从期货价格与现货价格的动态关系入手, 借助协整检验、向量误差修正模型、格兰杰因果检验以及脉冲响应、方差分解等方法, 以 WTI 原油为例, 定量分析了国际原油期货市场的价格发现功能。结果表明, WTI 原油期货价格与现货价格存在长期均衡关系。期货合约初期 WTI 原油现货市场具有部分价格发现功能, 但随后将减弱并最终趋于消失。WTI 原油期货市场价格发现过程中起主导作用。

**关键词:** 国际原油期货市场; 现货市场; 动态关系; 价格发现

**中图分类号:** F831.5      **文献标志码:** A

## The Study of Dynamic Linkages Between International Crude Oil Futures Prices and Spot Prices ——Based on the Empirical Analysis of WTI Crude Oil

HU Wenxiu, YAO Xiaojian

(Faculty of Economics and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** As viewed from dynamic linkages between the futures prices and spot prices and with WTI crude oil as an example, the price discovery of international crude oil futures market is quantitatively analyzed, by means of cointegration test, vector error correction model, Granger causality test, impulse response and variance decomposition etc. The results indicate that, first, there is a long-term equilibrium relation between WTI crude oil futures price and spot prices; second, the spot market of WTI crude oil partially owns the function of price discovery during the early period of the futures contract, but its function decreases to zero as time goes on; finally, the WTI crude oil futures market plays a leading role during the price discovery process.

**Key words:** international crude oil futures market; spot market; dynamic linkages; price discovery

期货价格发现功能是指期货价格能准确反映未来现货市场产品供求关系, 并对临近交割期的现货价格具有良好的预期作用, 从而引导商品交易者利用期货市场进行套期保值、对冲现货价格波动风险。所以, 面对近年来国际原油期货价格自身的暴涨暴跌, 人们开始质疑原油期货市场是否仍然具有价格发现功能。关于期货价格发现功能检验的研究成果表明, 研究选取的时间样本不同, 则影响国际原油期

货和现货价格的因素不同, 从而研究结论不相一致。并且, 已有研究大多未完整地涉及近三年国际原油期货价格波动剧烈的实际<sup>[1-15]</sup>。鉴于此, 本研究拟选取最新数据并从期货价格与现货价格动态关系入手, 运用协整检验、向量误差修正模型、格兰杰因果检验、脉冲响应分析、方差分解等方法对上述问题进行深入研究, 从而对国际原油期货市场的价格发现功能做出客观评价。

收稿日期: 2011-06-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70973096); 教育部人文社科后期基金资助项目(07JHQ0049); 陕西省高校重点学科专项资金建设资助项目(107-00X902)。

作者简介: 扈文秀(1964-), 男, 河南长垣人, 教授, 博导, 研究方向为金融工程与投融资管理。E-mail: hwxsxj@msn.com。

## 1 研究方法

首先,利用向量自回归模型(VAR)建立国际原油期货价格和现货价格的动态关系模型,为:

$$FP_t = C_1 + \sum_{i=1}^p \beta_i \cdot FP_{t-i} + \sum_{i=1}^p \eta_i \cdot SP_{t-i} + \mu_{1t} \quad (1)$$

$$SP_t = C_2 + \sum_{i=1}^p \theta_i \cdot FP_{t-i} + \sum_{i=1}^p \lambda_i \cdot SP_{t-i} + \mu_{2t} \quad (2)$$

(1)、(2)式中, $C$ 是常数项, $FP_t$ 是国际原油期货价格, $SP_t$ 是国际原油现货价格, $\mu$ 是残差项。

其次,利用Johansen协整检验判断国际原油期货价格和现货价格是否存在长期均衡关系,并同时检验二者存在协整关系的个数。

协整关系仅说明变量之间存在长期均衡关系。但是,在短期变量间往往是非均衡的。建模时需要用数据的动态非均衡过程来逼近经济理论的长期均衡过程。向量误差修正模型(VECM)刻画了变量间长期和短期的关系,提供了国际原油期货价格和现货价格之间长期均衡和短期调整的信息,即:

$$\Delta FP_t = \delta_1 + \gamma_1 \cdot ecm_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha_{11}(i) \cdot \Delta FP_{t-i} + \sum_{i=1}^p \alpha_{12}(i) \cdot \Delta SP_{t-i} + \varepsilon_{1t} \quad (3)$$

$$\Delta SP_t = \delta_2 + \gamma_2 \cdot ecm_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha_{21}(i) \cdot \Delta FP_{t-i} + \sum_{i=1}^p \alpha_{22}(i) \cdot \Delta SP_{t-i} + \varepsilon_{2t} \quad (4)$$

VECM模型的(3)、(4)式反映了国际原油期货(现货)价格短期变化 $\Delta FP_t$ ( $\Delta SP_t$ )由两部分构成,一部分是分别受过去短期期货价格和现货价格变化的共同影响,其中 $\alpha_{11}(i)$ 、 $\alpha_{12}(i)$ 、 $\alpha_{21}(i)$ 、 $\alpha_{22}(i)$ 分别为相应影响系数, $P$ 为滞后阶数。另一部分是对偏离长期均衡的短期调整,其中误差修正项 $ecm_{t-1}$ 反映期货价格与现货价格之间的长期均衡关系,误差修正系数 $\gamma_1$ ( $\gamma_2$ )反映当二者短期出现对长期均衡关系偏离时,期货(现货)价格分别将其调整到均衡状态的调整力度。

最后,在协整检验基础上利用Granger因果检验来验证国际原油期货价格变化与现货价格变化领先、滞后的关系,从而判断期货价格是否引导现货价格。

## 2 数据说明

目前,NYMEX有WTI原油期货和现货交易。其中,WTI原油期货已经成为全球交易量最大的商品期货,其价格也成为国际原油市场最重要的风向标

和晴雨表,所以本研究以WTI原油为国际原油的代表,选取一个月期的WTI原油期货价格日数据形成连续的时间序列,以 $FP$ 表示。选取美国俄克拉何马州库欣交割的WTI原油现货价格日数据,记为 $SP$ 。样本区间是2000年1月4日至2011年3月1日。为了避免数据处理中的异方差现象,并且不改变数据的性质,分别对每个价格序列取对数,即, $SP = \{\ln SP\}$ 、 $FP = \{\ln FP\}$ (数据来源为美国能源信息署网站(www.eia.doe.gov),数据分析采用Eviews5.0软件)。

## 3 结果分析

### 3.1 平稳性检验

协整检验的前提是待检验变量是同阶单整序列,采用ADF检验WTI原油期货价格和现货价格序列的平稳性(见表1)。由表1可知,在1%、5%的显著性水平下期货价格和现货价格有单位根的原假设都不能被拒绝,说明它们都是非平稳序列。进一步对WTI原油期货价格和现货价格的一阶差分序列 $DFP$ 、 $DSP$ 进行ADF检验,在1%、5%的显著性水平下有单位根的原假设都被拒绝,说明它们同为一阶单整序列。

表1 WTI原油期货价格、现货价格ADF检验结果  
Tab.1 The result of ADF test of WTI crude oil futures prices and spot prices

变量	检验形式 ( $c, t, L$ )	ADF 统计量	1% 临界值	5% 临界值
$FP$	( $c, t, 0$ )	-2.754 6	-3.961 3	-3.411 4
$SP$	( $c, t, 0$ )	-2.804 6	-3.961 3	-3.411 4
$DFP$	( $0, 0, 0$ )	-54.406 2	-2.565 8	-1.940 9
$DSP$	( $0, 0, 0$ )	-53.934 8	-2.565 8	-1.940 9

检验形式( $c, t, L$ )中, $c$ 、 $t$ 、 $L$ 分别表示ADF检验方程中是否包含常数项、时间趋势项以及滞后阶数。0表示无常数项、时间趋势以及滞后期。

### 3.2 协整检验

Johansen协整检验的滞后期数要根据向量自回归模型(VAR)的滞后期数减1来确定。而在建立VAR模型时,通常希望滞后期数足够大,从而完整地反映构造模型的动态特征。但滞后期越长,模型中需估计的参数就越多,自由度就越小,所以,应在滞后期与自由度之间寻求一种平衡。因此,首先根据使AIC和SC统计量取最小值的准则来确定滞后期,如果此二者结论出现矛盾,则参照使LR统计量取最小值来综合确定(见表2)。根据表2选取滞后期数 $P=3$ ,建立WTI原油期货价格和现货价格的

VAR(3)模型。

表2 WTI原油期货价格和现货价格的VAR模型滞后期选择

Tab.2 The choose of lag period about WTI crude oil futures prices and spot price's VAR model

统计量	统计量特征值				
	VAR(2)	VAR(3)	VAR(4)	VAR(5)	VAR(6)
AIC	-10.792 8	-10.794 6	-10.808 9	-10.810 1	-10.817 2
SC	-10.771 6	-10.764 9	-10.770 7	-10.763 3	-10.762 0
LR	55.112 0	14.549 7	45.324 7	11.788 9	27.060 7

据检验 VAR(3)模型的全部特征根都在单位圆内,满足了系统稳定性要求。对 WTI 原油期货价格和现货价格序列进行协整检验。选择含截距项,不含趋势项的检验类别,取滞后期数  $P=2$ 。由表 3 可知,有 0 个协整向量的原假设在 1%、5% 的显著性水平下被拒绝,至多有 1 个协整向量的原假设在 1%、5% 的显著性水平下不能被拒绝,说明 WTI 原油期货价格与现货价格具有 1 个协整关系,即二者保持着长期均衡关系。

表3 WTI原油期货价格与现货价格 Johansen 协整检验结果

Tab.3 The result of Johansen cointegration test between WTI crude oil futures prices and spot prices

原假设	特征值	迹统计量	1% 临界值	5% 临界值	Prob
0 个协整向量	0.206 0	646.435 4	19.937 1	15.494 7	0.000 1
至多有 1 个协整向量	0.000 6	1.607 0	6.634 9	3.841 5	0.204 9

3.3 向量误差修正模型(VECM)

向量误差修正模型结果,一方面显示 WTI 原油期货价格和现货价格呈现  $ecm_t = 0.0087 + FP_t - 1.0023SP_t$  的长期均衡关系,另一方面显示  $\Delta FP_t$  的误差修正系数  $\gamma_1$  为  $-0.024 < 0$ ,说明 WTI 原油期货价格在  $t$  期的变化( $\Delta FP_t = FP_t - FP_{t-1}$ )可以负向消除  $t-1$  期 2.4% 的非均衡水平; $\Delta SP_t$  的误差修正系数  $\gamma_2$  为  $0.5281 > 0$ ,说明 WTI 原油现货价格在  $t$  期的变化( $\Delta SP_t = SP_t - SP_{t-1}$ )可以正向消除  $t-1$  期 52.81% 的非均衡水平。二者的价格调整方向符合短期动态调整的理论要求。当  $t-1$  期系统短期偏离均衡,即若 WTI 原油期货价格大于现货价格而导致  $ecm_{t-1} > 0$  时,期货价格应下降( $\gamma_1 \cdot ecm_{t-1} < 0$ ),现货价格应上升( $\gamma_2 \cdot ecm_{t-1} > 0$ ),才能恢复到二者在  $t$  期的长期均衡状态。反之,则反是。此外,误差修正系数  $\gamma_2$  大于  $\gamma_1$  的绝对值表明,WTI 原油现货价格反映即期或短期的供求状况,而 WTI 原油

期货价格含有预期成分,反映未来供求变化和价格走势,体现价格变化的长期性。因此,在 WTI 原油期货价格和现货价格的短期非均衡向长期均衡的调整过程中,现货价格的调整力度要大于期货价格的。

3.4 Granger 因果检验

由于 Granger 因果检验结果对滞后期数的选择非常敏感,所以选取不同滞后期数进行检验(见表 4)。根据表 4 在 5% 显著性水平下,当滞后 1、2 期时“DFP 不是 DSP 的格兰杰原因”的原假设被接受,“DSP 不是 DFP 的格兰杰原因”的原假设被拒绝,表明在 WTI 原油期货合约前 2 期内,WTI 原油期货价格和现货价格变化存在单向引导关系,现货价格变化在时间上领先期货价格变化。这说明,作为一种金融衍生工具 WTI 原油期货市场是以原油现货市场为基础的,所以在期货价格形成最初期,现货价格的变动影响着期货价格的变动。当滞后超过 3 期时“DFP 不是 DSP 的格兰杰原因”的原假设和“DSP 不是 DFP 的格兰杰原因”的原假设在 5% 显著性水平下都被拒绝,表明 WTI 原油期货价格变动和现货价格变动存在双向引导关系。这是因为随着时间的延长,在无套利机制作用下,WTI 原油期货市场与现货市场之间建立了一种内在、稳定的联系,所以期货价格与现货价格互为引导、互为依存,共同实现价格发现功能。

表4 WTI原油期货价格与现货价格 Granger 因果检验结果

Tab.4 The result of Granger causality test between WTI crude oil futures prices and spot prices

原假设	F 统计值	Prob	滞后阶数
DFP 不是 DSP 的格兰杰原因	0.590 3	0.442 4	1
DSP 不是 DFP 的格兰杰原因	4.141 8	0.041 9	
DFP 不是 DSP 的格兰杰原因	1.612 8	0.199 5	2
DSP 不是 DFP 的格兰杰原因	5.578 7	0.003 8	
DFP 不是 DSP 的格兰杰原因	13.233 2	1.4E-08	3
DSP 不是 DFP 的格兰杰原因	3.753 8	0.010 5	
DFP 不是 DSP 的格兰杰原因	9.966 7	5.2E-08	4
DSP 不是 DFP 的格兰杰原因	4.591 8	0.001 1	
DFP 不是 DSP 的格兰杰原因	8.478 7	5.6E-08	5
DSP 不是 DFP 的格兰杰原因	6.607 9	4.0E-06	

3.5 脉冲响应分析

由于 VAR 模型的系数多,且每一个系数仅反映了一个局部的动态关系,不能反映一个变量变化对另一个变量的全部影响情况。因此,在分析 VAR 模型时往往利用脉冲响应来分析当一个误差项发生变化时引起的 VAR 系统内相应内生变量冲击给其它内生变量带来的动态影响路径。

图1和图2分别给出了已建立的VAR(3)模型中WTI原油期货价格和现货价格脉冲响应的直观显示。由图1可知,对于来自期货市场的冲击现货价格的反应是剧烈的,第1天现货价格就增加了2.4%,尽管其在前3天内有所下降,但现货价格波动仍然稳定在增加2.2%的水平上,并最终趋于平稳。由图2可知,对来自现货市场的冲击,期货价格的反应是正向的,前5天内期货价格波动由零增加至0.9%,此后逐步趋于平稳。

从脉冲响应的结果可看出,当面临外部冲击时WTI原油期货价格对现货价格的影响力大于现货价格对期货价格的影响力。

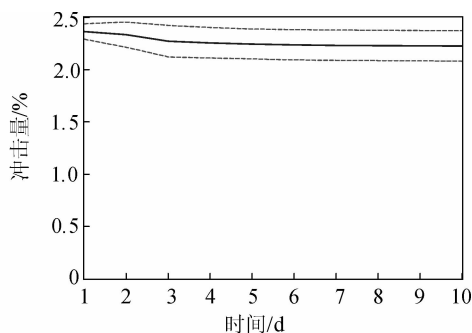


图1 WTI原油期货价格对现货价格的脉冲响应  
Fig.1 The impulse responses of WTI crude oil futures prices to spot prices

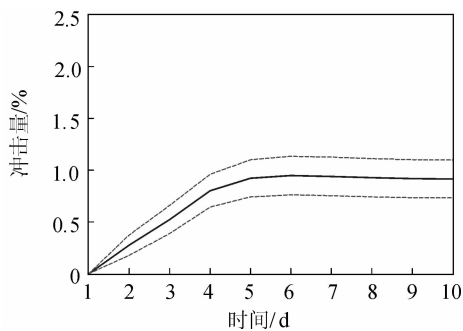


图2 WTI原油现货价格对期货价格的脉冲响应  
Fig.2 The impulse responses of WTI crude oil spot prices to futures prices

### 3.6 方差分解

方差分解将VAR系统内一个内生变量的方差分解到各个扰动项上,由此提供了关于每个扰动因素从无限过去到现在影响VAR模型内各个变量的相对程度。如此,可判断在VAR系统中,一个变量的波动有多少归因其自身因素,有多少是系统中其它因素引起的,从而能定量刻画期货市场和现货市场在价格发现功能中作用的大小。

从表5给出的WTI原油期货价格与现货价格

的VAR(3)模型的方差分解结果可知,对WTI原油现货价格变动部分进行方差分解时,滞后期为1则总方差来自现货价格的部分占15.70%,但随着滞后期的增加,该比例呈下降趋势,最终趋于1.07%;而总方差来自期货价格的部分却呈现增长趋势,从滞后1期的84.30%最终趋于98.93%。由表5还可知,对WTI原油期货价格变动部分进行方差分解,当滞后1期时期货价格变动部分的方差全部来自期货市场,随着滞后期增加该比例最终趋于99.94%,即期货价格变动部分的方差基本来自期货价格,来自现货价格的比例非常小。最后,将所得结果平均则WTI原油价格波动前2期来自现货价格的方差大于6.19%(即, $(12.2769 + 0.1005)/2$ ),来自期货市场的方差小于93.81%(即, $(87.7231 + 99.8995)/2$ ),最终来自现货市场的方差为0.56%(即, $(1.0681 + 0.0614)/2$ ),来自期货市场的方差为99.44%(即, $(98.9319 + 99.9386)/2$ )。

表5 WTI原油期货价格和现货价格方差分解结果

Tab.5 The result of variance decomposition about WTI crude oil futures prices and spot prices

滞后期	现货价格来源		期货价格来源	
	现货价格/%	期货价格/%	现货价格/%	期货价格/%
1	15.699 7	84.300 3	0.000 0	100.000 0
2	12.276 9	87.723 1	0.100 5	99.899 5
3	9.564 1	90.435 9	0.261 0	99.739 0
4	7.402 1	92.597 9	0.255 2	99.744 8
5	5.970 7	94.029 3	0.219 5	99.780 5
6	4.999 2	95.000 8	0.188 6	99.811 4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	1.068 1	98.931 9	0.061 4	99.938 6

方差分解的结果说明尽管WTI原油期货市场仍在整个价格发现过程中占有主导地位,但是WTI原油现货市场在期货合约前2期的价格发现中却占有大于6%的比例,体现出现货市场在价格发现过程中的重要性。这主要因为近年来国际金融市场中对冲基金和金融机构等非商业交易者逐渐把原油看作作为一种金融资产<sup>[16]</sup>,并将大量资金从资本市场移至WTI原油期货市场进行投机交易,从而造成期货价格的剧烈波动及风险的不断上升。面对国际原油期货市场日益金融化,以生产经营为目的的原油商业交易者为了降低期货套期保值风险,逐渐重视原油现货交易,以之来充实库存、稳定生产,现货交易量也从早期约占全球原油贸易量的5%上升到目前的15.4%<sup>[17]</sup>。

## 4 结 论

本研究借助多种计量方法,从不同角度对纽约商品期货交易所交易的 WTI 原油期货价格与现货价格的动态关系进行了实证研究,得出结论为:

1) 协整检验发现,WTI 原油期货价格与现货价格存在长期均衡关系。尽管短期会偏离均衡状态,但在无套利机制的作用下,它们会按照误差修正系数调节的幅度最终趋于长期均衡;

2) 格兰杰因果检验表明,在 WTI 原油期货合约前 2 期,WTI 原油现货价格变动引导期货价格变动,此后,WTI 原油期货价格变动和现货价格变动互为引导,共同实现价格发现功能;

3) 脉冲响应和方差分解分析认为,WTI 原油期货合约初期,现货价格具有一定比例的价格发现功能,但在整个期货合约期,期货市场的影响大于现货市场,价格发现仍以期货市场为主导。

以往的研究忽略了 WTI 原油现货市场在价格发现过程中的作用。本研究在肯定 WTI 原油期货市场具有价格发现功能的基础上认为,由于现货市场是期货市场的基础,现货价格反映当前的供求关系,任何使 WTI 原油现货价格发生波动的信息都会传导至 WTI 原油期货市场,从而引起后者价格的波动。因此,WTI 原油现货市场在期货合约初期也起到一定的价格发现作用。

目前,尽管国际原油日益具有金融资产属性,表现为期货价格的大幅波动,但以上研究结论说明国际原油期货市场仍然具有价格发现功能,可以为利用期货市场规避、转移现货价格风险提供基础。2010 年中国原油对外贸易依存度已超过 50%,稳定的原油现货进口价格对中国意义重大。因此,国内有条件的企业应积极利用国际原油期货市场与现货市场的相关信息进行套期保值,对冲原油现货价格波动风险,从而确保进口原油价格安全。

### 参考文献:

[1] Bigman D, Goldfarb D, Schechtman E. Futures market efficiency and the time content of the information sets [J]. *Journal of Futures Markets*, 1983, 3(3): 321-334.

[2] Garbade K D, Silber W L. Price movement and price discovery in futures and cash markets [J]. *Review of Economics and Statistics*, 1983, 65(2): 289-297.

[3] Silvapulle P, Moosa I A. The relationship between spot and futures prices: evidence from the crude oil market [J]. *The Journal of Futures Markets*, 1999, 19(2): 175-193.

[4] Moosa I A. Price discovery and risk transfer in the crude oil futures markets: some structural time series evidence [J]. *Economic Notes*, 2002, 31(1): 155-165.

[5] Schwarz T V, Szakmary A C. Price discovery in petroleum markets: arbitrage, cointegration, and the time interval of analysis [J]. *The Journal of Futures Markets*, 1994, 14(2): 147-167.

[6] Gurcan S. Efficiency in the crude oil futures market [J]. *Journal of Energy Finance & Development*, 1998, 3(1): 13-21.

[7] Coppola A. Forecasting oil price movements: exploiting the information in the future market [J]. *The Journal of Futures Markets*, 2008, 28(1): 34-56.

[8] Bekiros S D, Diks G H. The relationship between crude oil spot and futures prices: cointegration, linear and nonlinear causality [J]. *Energy Economics*, 2008, 30(5): 2673-2685.

[9] Hammoudeh S, Thompson M, Eving B. Threshold cointegration analysis of crude oil benchmarks [J]. *The Energy Journal*, 2008, 29(4): 79-95.

[10] Maslyuk S, Smyth R. Cointegration between oil spot and future prices of the same and different grades in the presence of structural change [J]. *Energy Policy*, 2009, 37(5): 1687-1693.

[11] Huang B N, Yang C W, Hwang M J. The dynamics of a nonlinear relationship between crude oil spot and futures prices: a multivariate threshold regression approach [J]. *Energy Economics*, 2009, 31(1): 91-98.

[12] Kaufmann R K, Ullman B. Oil price, speculation, and fundamentals: interpreting causal relations among spot and futures prices [J]. *Energy Economics*, 2009, 31(4): 550-558.

[13] Lean H H, McAleer M, Wong W. Market efficiency of oil spot and futures: a mean-variance and stochastic dominance approach [J]. *Energy Economics*, 2010, 32(5): 979-986.

[14] Moosa I A, Ailoughani N E. Unbiasedness and time varying risk premia in the crude oil futures markets [J]. *Energy Economics*, 1994, 16(2): 99-105.

[15] Kaufmann R K. The role of market fundamentals and speculation in recent price changes for crude oil [J]. *Energy Policy*, 2011, 39(1): 105-115.

[16] Cifarelli G, Paladino G. Oil price dynamics and speculation: a multivariate financial approach [J]. *Energy Economics*, 2010, 32(2): 363-372.

[17] 范英, 焦建玲. 石油价格: 理论与实证 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.