

## 基于时差相关多变量模型的金融危机前后国际原油价格影响因素分析

张 文<sup>1</sup>, 王 珏<sup>2</sup>, 部 慧<sup>3</sup>, 汪寿阳<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 虚拟经济与数据科学研究中心, 北京 100190; 2. 中国科学院 数学与系统科学研究院, 北京 100190;  
3. 北京航空航天大学 经济管理学院, 北京 100191)

**摘 要** 为研究各因素与国际原油价格之间相互影响的程度和时差关系, 提出了基于时差相关多变量模型的分析框架. 根据该框架, 在确定影响因素和模型变量后, 对各因素与油价间的时差相关关系进行了分析, 以此作为确定和调整模型中变量滞后阶数的依据, 结合变量系数是否显著和模型调整  $R^2$  是否提高的判断准则, 对金融危机前后共七组样本构建了多元回归模型. 研究结果发现: 各因素与油价的相互作用并不都是在当期完成的; 金融危机爆发后, 各因素与油价的关系均发生了不同程度的变化, 且油价有向基本面回归的趋势.

**关键词** 原油价格; 金融危机; 影响因素; 时差相关; 多变量模型

## Multivariable model based on cross-correlogram for analyzing the change of relationship between factors and crude oil price during financial crisis

ZHANG Wen<sup>1</sup>, WANG Jue<sup>2</sup>, BU Hui<sup>3</sup>, WANG Shou-yang<sup>2</sup>

(1. Research Center on Fictitious Economy and Data Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;  
2. Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;  
3. School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract** A multivariable model based on cross-correlogram is proposed to study the effect of influencing factors on crude oil price. Following the selection of factors and variables, the lead-lag relationship between factors and oil price is firstly analyzed to decide and adjust the lag order of independent variables. Then multivariable regression models are set up to analyze the effect of influencing factors on crude oil price during financial crisis. It proves that not all factors change the oil price in the current period. The relationship between factors and oil price does change after financial crisis to various extent.

**Keywords** crude oil price; financial crisis; influencing factors; cross-correlogram analysis; multivariable regression model

### 1 引言

从 2003 年第二次海湾战争到 2008 年第二季度, 国际原油价格经历了一段高波动快速上涨时期, 其时间跨度长达 5 年, 大大超过了前几次石油危机. WTI 原油现货价格于 2008 年 7 月 3 日一度达到其历史最高点 145.31 美元/桶, 2008 年第二季度原油现货均价高达 123.95 美元/桶. 2008 年 9 月雷曼兄弟破产标志着美国次贷危机演变成全球金融危机, 原油现货价格更于 9 月 23 日创下十年来单日最大跌幅, 暴跌 14.76 美元/桶, 幅度达到 12.04%. 之后油价一路下挫, 特别是 2008 年第四季度, 相比上一季度下跌幅度达到 50.57%, 12 月 22 日原油现货价格触及 2001 年 2 月份以来的历史最低点 30.28 美元/桶. 进入 2009 年, 随着全球经济复苏迹象的明朗, 以及美元贬值等因素的作用, 国际原油价格开始逐步回升, 截止到 2009 年 12 月 31 日, WTI 原油现货价格已升至 79.39 美元/桶, 回到 2007 年水平. 纵观 2008 年和 2009 年油价的巨幅波动, 金融危机明

收稿日期: 2010-01-29

资助项目: 国家自然科学基金 (70801058, 71003004, 71001103, 70971052)

作者简介: 张文 (1983-), 女, 北京人, 博士研究生, 研究方向: 金融管理, E-mail: zhangwen05@mails.gucas.ac.cn; 王珏 (1979-), 女, 山东青岛人, 博士, 副研究员, 研究方向: 智能计算、经济预测, E-mail: wjue@amss.ac.cn.

显是导致油价经历如此走势的主要原因. 图 1 为 1986 年至 2009 年 WTI 季度原油现货价格走势.

从 20 世纪 70 年代第一次石油危机爆发至今, 国际原油价格先后经历了七次剧烈的大幅波动, 对其前后油价波动机制的研究主要集中在上世纪的三次石油危机、海湾战争、以及亚洲金融风暴等<sup>[1-5]</sup>, 然而正如 Kilian<sup>[6]</sup> 指出的, 不是所有的石油危机都一样, 2008 年 9 月爆发的全球金融危机对油价波动机制的改变, 与前六次应该也有所不同. 然而, 目前还少有文献对其前后油价波动机制的变化进行分析. 近期有一些学者从影响因素入手, 对此次危机发生前油价快速上涨的 2003-2008 年油价波动的成因及影响进行了分析<sup>[7-8]</sup>. 而对于危机前后, 各影响因素与油价间关系的变化、油价波动机制的改变的研究, 目前国内外的文献还很少.

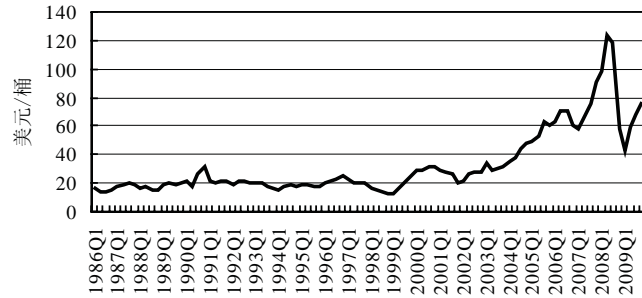


图 1 1986-2009 年 WTI 季度原油现货价格走势

以往对油价影响因素的研究, 大多使用误差修正模型进行数量分析<sup>[9-13]</sup>, 尽管使用误差修正模型从理论上可以得到各因素长期和短期与油价相互间的影响关系, 但是该模型也有自身的缺陷. 例如, 各变量选取相同的滞后阶数是否合理, 分析单个变量对油价的影响不够直观. 而且, 使用误差修正模型计算得到的弹性系数通常会偏小<sup>[9]</sup>.

因此, 本文提出了一个基于时差相关的多变量分析框架, 不仅对各因素与油价相互影响的程度进行计量, 同时对影响的时滞进行研究, 通过对金融危机前后的样本建模, 解答以下两个问题: 金融危机前后各因素对油价的影响是否出现了变化; 如果有变化, 变化是什么, 反映了什么问题. 弄清这两个问题, 有助于我们通过分解问题, 更进一步了解国际油价波动的机制, 危机后油价走势的成因, 同时可以为建立更有效的预测模型提供有力支持.

本文对影响因素的分析跨越了整个金融危机时期, 试图探求危机前后, 以及随着危机的演化, 各因素与油价之间关系的变化. 本文第二节提出了基于时差相关的多变量分析框架; 第三节确定了拟研究的油价影响因素, 并对模型变量进行选择; 第四节在说明样本区间后对模型变量进行了平稳性检验, 然后根据第二节的分析框架利用数据的有力支撑, 深入分析了各因素与国际原油价格之间相互影响的程度、时差关系和内在机制, 以及金融危机爆发前后各因素与油价之间影响关系的变化, 揭示了变化的原因, 解答了本文开始提出的两个问题; 第五节总结了本文的主要结论和贡献.

## 2 基于时差相关的多变量分析框架

除误差修正模型外, 以前的油价影响因素分析多为同阶的二元回归分析, 或在此基础上加入若干影响显著的变量, 建立多元回归模型, 研究各因素与油价间的偏相关关系<sup>[14]</sup>. 这样的分析过程, 一方面会导致多元回归模型的调整  $R^2$  较低, 模型对数据的拟合较差, 解释力度不强, 更重要的是, 此种分析是建立在各因素与油价的影响作用关系是在当期就传导完毕的假设下的, 然而实际情况却不尽然. 因此, 本文构建了一个基于时差相关的多变量分析框架 (图 2). 在多变量模型中引入各影响因素的领先或滞后阶, 能更深入地分析各因素在时间维度上是如何影响油价或受其影响的. 在建模前先进行时差相关分析, 以此作为确定和调整滞后阶数的依据, 提高了模型构建的科学性. 本文使用的多变量模型为经典的多元回归模型, 自变量及其滞后阶数的确定, 遵从自变量的系数是否显著和调整  $R^2$  是否提高的准则.

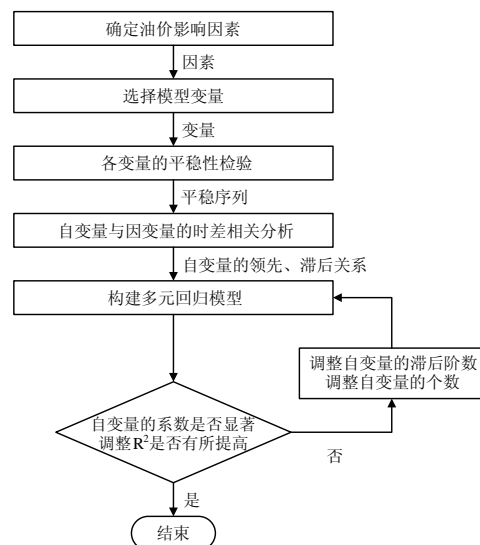


图 2 基于时差相关的多变量影响因素分析框架

### 3 国际原油价格影响因素与模型变量选择

#### 3.1 影响因素确定

原油作为一种商品,供给和需求是决定其价格的基本要素,油价的变动是供求关系变化的结果. Cooper<sup>[15]</sup>指出经济与发展组织(OECD)国家的石油需求在短期是缺乏弹性的. Krichene<sup>[10]</sup>的研究也发现油价波动不同阶段短期的需求和供给均是缺乏弹性的. 正是由于这一原因,当市场需求发生变化,特别是需求增加的时候,市场更多的是通过价格变化而不是产量变化来达到均衡;反之,当石油供给发生变化的时候,市场也是更多的通过价格变化来重归均衡. 因而从一定程度上讲,石油短期弹性的缺乏是当某种因素影响了石油的供给或需求时造成短期内油价大幅波动的内因. 尽管短期原油的需求和供给几乎是刚性的,然而从长期来看,原油的供给和需求弹性会逐渐增大. Huntington<sup>[9]</sup>对1950-2005年油价、美国石油需求量(以2002年美元计)和美国实际GDP(以2002年美元计)的分析,证实了石油消费的长期弹性要大于短期. Krichene<sup>[10]</sup>的研究发现1918-1973年石油的长期供给则是富有弹性的.

经济状况也是原油价格的主要影响因素之一. GDP是最常用的衡量经济增长情况的指标. Hamilton<sup>[8]</sup>应用经济学理论对油价进行分析时指出,世界实际GDP的快速增长导致石油的需求曲线右移,使石油消费大幅增加,又由于短期供给刚性,因此导致2003-2005年期间油价快速上涨. GDP的增长意味着经济体提供了更多的商品和服务,因此需要更多的原油用来生产原材料(如塑料、化学制剂等),生产成品油为交通运输提供燃料等. 另外GDP增长意味着居民收入增加,因此有更多的可支配收入可用来消费原油产品. GDP增长还会增加市场对经济增长的信心,从而推高油价. 但是GDP的增长,特别是美国GDP的增长在一定程度上还会推动美元汇率走强,从而打压油价. 而且GDP还会影响国家的宏观调控与决策,进而间接影响油价(如美国的宏观调控体系中就包含能源政策,将油价作为调节经济的政策手段). 因此GDP不仅通过影响原油消费来影响原油价格,它还通过影响其他因素对油价产生影响. 所以,在后面油价影响因素的分析中,除供需因素外,本文还对GDP与油价的关系进行分析,研究在保持其他因素不变的情况下,GDP与油价间的偏相关关系.

另外,库存也是原油市场中非常重要的因素之一. 同其他生产加工行业一样,为应对可预期的或不可预期的需求和供给冲击,建立原油库存可以用来降低调整生产的成本,保证商品的按时交割,降低市场成本<sup>[16]</sup>. 库存作为原油供给和需求的调节工具,其变化会对油价特别是短期油价产生影响. 由于短期原油市场的参与者无法获得准确的、实时更新的基本面信息,而EIA每周发布的原油库存变动数据,可以用来判断短期原油市场的供求状况,所以该信息成为交易商可获得的最新最快的基本面信息,进而成为其市场操作的依据. Ghouri<sup>[17]</sup>估计了油价与美国石油库存之间的关系,得到美国石油总库存上升(下降)1%,将会导致WTI原油价格相应下跌(上涨)0.97%.

原油作为在国际市场上交易的品种,其价格还受到美元汇率,以及市场投机程度的影响. 原油具有内在价值,且交易大都以美元结算,当美元兑其他货币走低时,原油的内在价值并没有减少,而是相同数量的美元所能体现的原油的内在价值减少了,因此相同价值的原油需要等价于更多的美元. 另一方面,原油等初级商品具有一定的保值功能,因此美元贬值时,大量国际金融资本转向投资原油等初级商品以对冲货币贬值风险,推高了原油的价格水平. IMF<sup>[18]</sup>的研究显示,美元指数下降1%将会伴随国际油价上涨约1%. 全球原油供求的脆弱平衡状态为国际资本投机原油提供了基础,现代高度发达的金融市场则为国际资本投机提供了平台. 2003-2008年上半年间,大型的金融机构、对冲基金、退休基金和其他投资基金在能源商品市场上投入了上千亿的资金. 根据Parsons<sup>[19]</sup>的估算,2008年年中,投资在场内交易的原油期货合约的投资基金约有2020亿美元,通过指数基金投资在原油上的资金约有1300亿美元. 除此之外,还有规模庞大的原油衍生品场外交易,金额难以估算. 投机者对原油期货合约的大量购买不仅创造了一种额外的石油需求,而且部分投机者高买更高卖,不断推高油价进行套利. 投机因素与2003-2008年上半年间国际油价的大幅上涨有着密切的关系. 汪寿阳等<sup>[14]</sup>和Kesicki<sup>[7]</sup>在研究中,将CFTC公布的在NYXE交易的原油期货非商业净多头和非商业净多头比率作为市场投机程度的度量,分析结果显示原油期货非商业净多头和非商业净多头比率均与油价呈现显著的正向关系. 因此,本文对油价影响因素的分析,除考虑原油的商品属性外,还将考虑原油的金融属性.

影响原油价格的因素众多,本文通过以上分析,选择了学术界和业界存在共识的、数据可得且有足够样本长度的、对油价产生影响的几个重要因素:原油的需求、供给和库存,经济状况,美元汇率以及市场投工程

度, 分别对它们与油价间相互影响的程度、时差关系和内在机制, 以及金融危机爆发前后它们与油价间影响关系的变化及其原因进行深入分析。

### 3.2 变量选择

确定影响因素后, 建模之前需针对各因素选择合适的模型变量。本文使用的原油价格为 WTI 季度原油现货价格<sup>1</sup>。

原油需求, 本文使用 OECD 石油产品消费量<sup>2</sup>进行度量。因为, OECD 目前的 30 个成员国包括了几乎所有的发达国家, 国民生产总值占全世界的三分之二。2008 年 OECD 的石油消费量为 47.57 百万桶/天, 占世界石油消费总量的 55.46%<sup>3</sup>。另一方面, OECD 的石油消费数据较世界原油消费数据更新更为及时, 所以, 本文将 OECD 的石油消费量作为世界原油需求的代表。

相似的, 对原油供给, 本文使用石油输出国组织 (OPEC) 的原油产量<sup>4</sup>作为代表。尽管 OPEC 的原油产量占世界原油产量的比重逐年下降, 但是其作为 13 个主要石油生产国的国际性石油组织, 原油储量占世界的 79.3%<sup>5</sup>, 世界石油出口的 55%<sup>[20]</sup>, 在国际原油供给中仍然扮演着最为重要的角色。2008 年 OPEC 的原油产量为 32.48 百万桶/天, 占世界原油产量的 44.06%。

美国是世界上原油消费最多的国家, 2008 年消费原油 19.50 百万桶/天, 占世界的 22.74%, 同时美国也是世界第三大原油生产国, 为保证生产、消费以及国家安全的需要, 美国建立了世界上最大的石油库存, 其库存占世界的 40%, OECD 的 43%。因为美国石油库存的变化同 OECD 石油库存变化的相关系数达到 0.87, 而且又因为美国的石油库存数据每周发布一次, 而 OECD 的石油库存数据每月发布一次, 所以相对于 OECD 的石油库存, 投资者可能会更多地根据美国石油库存的变化情况对头寸进行调整。因此本文使用美国石油总库存<sup>6</sup>对原油库存进行度量。

本文使用美国实际 GDP 度量经济状况。因为美国是当今世界经济最发达的国家, 其经济增长速度牵动着世界经济的增长速度。2008 年美国国内生产总值达到 14.4 万亿美元, 是排名其后的中国 GDP 的 1.8 倍, 日本的 3.3 倍, 印度的 4.4 倍, 德国的 5 倍<sup>7</sup>。另外, 从数据的可得性来看, 美国 GDP 具有季度数据且数据更新及时。

美元汇率和市场投机程度, 本文沿用文献中的变量, 分别使用对主要货币的美元指数<sup>8</sup>和非商业净多头比率<sup>9</sup>进行度量, 其中

$$\text{非商业净多头比率} = \frac{\text{非商业持仓多头} - \text{非商业持仓空头}}{\text{非商业持仓多头} + \text{非商业持仓空头} + 2 \times \text{非商业持仓套利}} \quad (1)$$

## 4 建模及结果分析

### 4.1 变量平稳性检验

建模应使用平稳序列, 因此首先对各变量进行平稳性检验。本文使用 ADF 检验对各变量进行单位根检验, 样本区间为: 1986 年第 1 季度 - 2009 年第 3 季度。为了使分析结果更具经济解释性, 除“非商业净多头比率”外, 本文对其它 6 个变量均进行了对数化处理。从表 1 可以看出, 除非商业净多头比率为平稳序列外, 其他变量的对数序列均为 I(1) 单整序列。

### 4.2 建模及结果分析

接下来, 对油价与各影响因素之间的时差相关关系进行分析, 然后构建多元回归模型。基于时差相关分析可以确定各自变量相对于油价的领先、一致和滞后关系<sup>[21]</sup>。从时差相关分析结果 (表 2) 可以看出: OPEC 原油产量与油价之间的领先滞后关系, 在 2008 年第四季度发生了变化; 美国 GDP 在 2008 年第四季度之前

1. 数据来源: EIA, 为当日度价格的平均值。

2. 数据来源: EIA。

3. 数据来源: EIA, 经计算得到。

4. 数据来源: EIA, 为包括油田凝析油的原油产量。

5. 数据来源: OPEC Annual Statistical Bulletin 2008。

6. 数据来源: EIA, 包括工业库存和政府控制库存。

7. 数据来源: <https://www.cia.gov>, 经计算得到。

8. 数据来源: Federal Reserve Bank of St. Louis, 为当日度数据的平均值。

9. 数据来源: CFTC, 根据当季最后一个交易日的的数据, 计算得到。

均领先油价 2 个季度, 2008 年第四季度和 2009 年第一季度领先油价 1 个季度, 2009 年第二、三季度与油价同步; 非商业净多头比率则在 2008 年第 4 季度之前均领先于油价, 之后与油价同步.

表 1 各变量的平稳性检验

变量名称	<i>t</i> 值	<i>p</i> 值	备注
<i>LNPRICE</i>	-0.925 166	0.776 1	原油价格
<i>D(LNPRICE)</i>	-8.466 764	0.000 0	
<i>LNCONSUM</i>	-2.116 939	0.238 7	OECD 石油消费
<i>D(LNCONSUM)</i>	-5.391 046	0.000 1	
<i>LNPRO</i>	-2.509 990	0.116 3	OPEC 原油产量
<i>D(LNPRO)</i>	-9.620 481	0.000 0	
<i>LNUSSTOCK</i>	-0.887 500	0.788 0	美国原油库存
<i>D(LNUSSTOCK)</i>	-4.869 491	0.000 1	
<i>LNREALGDP</i>	-1.706 381	0.424 7	美国 GDP
<i>D(LNREALGDP)</i>	-6.000 588	0.000 0	
<i>LNUSDINDEX</i>	-1.900 979	0.330 6	美元指数
<i>D(LNUSDINDEX)</i>	-7.258 402	0.000 0	
<i>NONCOMMER_NETR</i>	-4.670 658	0.000 2	非商业净多头比率

注: *D* (变量名称) 为变量的一阶差分.

为进一步分析各因素与油价相互影响的程度和时差关系, 本文对金融危机前后的七段样本分别建立多元回归模型, 自变量的个数及滞后阶数的调整遵从“系数显著, 调整  $R^2$  有所提高”的准则. 其中基于 1986Q1–2008Q1, 1986Q1–2008Q2 和 1986Q1–2008Q3 三段样本建立的模型如方程 (2) 所示:

$$\begin{aligned}
 D(LNPRICE)_t = & c_1 + c_2D(LNCONSUM)_t + c_3D(LNCONSUM)_t(-7) + \\
 & c_4D(LNPRO)_t(-15) + c_5D(LNREALGDP)_t(-2) + c_6D(LNUSSTOCK)_t + \\
 & c_7D(LNUSDINDEX)_t + c_8NONCOMMER\_NETR_t + \varepsilon_t
 \end{aligned} \quad (2)$$

基于样本 1986Q1–2008Q4 和 1986Q1–2009Q1 建立的模型如方程 (3) 所示:

$$\begin{aligned}
 D(LNPRICE)_t = & c_1 + c_2D(LNCONSUM)_t + c_3D(LNCONSUM)_t(-7) + \\
 & c_4D(LNPRO)_t + c_5D(LNREALGDP)_t(-1) + c_6D(LNUSSTOCK)_t + \\
 & c_7D(LNUSDINDEX)_t + c_8NONCOMMER\_NETR_t + \varepsilon_t
 \end{aligned} \quad (3)$$

基于样本 1986Q1–2009Q2 和 1986Q1–2009Q3 建立的模型如方程 (4) 所示:

$$\begin{aligned}
 D(LNPRICE)_t = & c_1 + c_2D(LNCONSUM)_t + c_3D(LNCONSUM)_t(-7) + \\
 & c_4D(LNPRO)_t + c_5D(LNREALGDP)_t + c_6D(LNUSSTOCK)_t + \\
 & c_7D(LNUSDINDEX)_t + c_8NONCOMMER\_NETR_t + \varepsilon_t
 \end{aligned} \quad (4)$$

模型分析结果如表 3 和表 4 所示.

表 2 时差相关分析结果

影响因素	样本期						
	1986Q1– 2008Q1	1986Q1– 2008Q2	1986Q1– 2008Q3	1986Q1– 2008Q4	1986Q1– 2009Q1	1986Q1– 2009Q2	1986Q1– 2009Q3
OECD 石油消费量	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9
OPEC 原油产量	-15	-15	-	-	+1	+1	+1
美国原油库存	-5	-12	-14	-5	-8	-12	-12
美国 GDP	-2	-2	-1	-1	0	0	0
美元指数	0	0	0	0	0	0	0
非商业净多头比率	-1	-1	-1	0	0	0	0

注: 负数表示该因素为油价的领先指标, 正数表示该因素为油价的滞后指标.

表 3 金融危机发生前模型分析结果

1986Q1-2008Q1		1986Q1-2008Q2		1986Q1-2008Q3	
变量	系数	变量	系数	变量	系数
<i>C</i>	-0.02	<i>C</i>	-0.02	<i>C</i>	-0.02
<i>D(LNCONSUM)</i>	-1.21*	<i>D(LNCONSUM)</i>	-1.32*	<i>D(LNCONSUM)</i>	-1.32*
<i>D(LNCONSUM)(-7)</i>	1.19*	<i>D(LNCONSUM)(-7)</i>	1.23*	<i>D(LNCONSUM)(-7)</i>	1.23*
<i>D(LNPRO)(-15)</i>	-0.76*	<i>D(LNPRO)(-15)</i>	-0.71*	<i>D(LNPRO)(-15)</i>	-0.71*
<i>D(LNUSSTOCK)</i>	-1.01	<i>D(LNUSSTOCK)</i>	-1.07**	<i>D(LNUSSTOCK)</i>	-1.07**
<i>D(LNREALGDP)(-2)</i>	5.18*	<i>D(LNREALGDP)(-2)</i>	5.04*	<i>D(LNREALGDP)(-2)</i>	5.02*
<i>D(LNUSDINDEX)</i>	-1.60*	<i>D(LNUSDINDEX)</i>	-1.65*	<i>D(LNUSDINDEX)</i>	-1.64*
<i>NONCOMMER_NETR</i>	0.17*	<i>NONCOMMER_NETR</i>	0.17*	<i>NONCOMMER_NETR</i>	0.17*
调整 R <sup>2</sup>	0.38	调整 R <sup>2</sup>	0.37	调整 R <sup>2</sup>	0.37
D.W. 统计量	2.32	D.W. 统计量	2.26	D.W. 统计量	2.30
LM 统计量的 <i>p</i> 值	0.1039	LM 统计量的 <i>p</i> 值	0.1169	LM 统计量的 <i>p</i> 值	0.1300
White 检验的 <i>p</i> 值	0.3378	White 检验的 <i>p</i> 值	0.4721	White 检验的 <i>p</i> 值	0.4390

注: \* 表示在 5% 的显著性水平下, \*\* 表示在 10% 的显著性水平下. 所有方程的残差均平稳.

表 4 金融危机发生后模型分析结果

1986Q1-2008Q4		1986Q1-2009Q1		1986Q1-2009Q2 和 1986Q1-2009Q3	
变量	系数	变量	系数	变量	系数
<i>C</i>	-0.03	<i>C</i>	-0.03	<i>C</i>	-0.02
<i>D(LNCONSUM)</i>	-1.69*	<i>D(LNCONSUM)</i>	-1.76*	<i>D(LNCONSUM)</i>	-1.76*
<i>D(LNCONSUM)(-7)</i>	1.12*	<i>D(LNCONSUM)(-7)</i>	1.19*	<i>D(LNCONSUM)(-7)</i>	1.21*
<i>D(LNPRO)(1)</i>	1.23*	<i>D(LNPRO)(1)</i>	1.18*	<i>D(LNPRO)(1)</i>	1.33*
<i>D(LNUSSTOCK)</i>	-1.96*	<i>D(LNUSSTOCK)</i>	-2.06*	<i>D(LNUSSTOCK)</i>	-2.18*
<i>D(LNREALGDP)(-1)</i>	4.29	<i>D(LNREALGDP)(-1)</i>	5.25**	<i>D(LNREALGDP)</i>	3.20
<i>D(LNUSDINDEX)</i>	-2.05*	<i>D(LNUSDINDEX)</i>	-2.05*	<i>D(LNUSDINDEX)</i>	-2.20*
<i>NONCOMMER_NETR</i>	0.13*	<i>NONCOMMER_NETR</i>	0.13*	<i>NONCOMMER_NETR</i>	0.14*
调整 R <sup>2</sup>	0.43	调整 R <sup>2</sup>	0.45	调整 R <sup>2</sup>	0.45
D.W. 统计量	1.91	D.W. 统计量	1.96	D.W. 统计量	1.91
LM 统计量的 <i>p</i> 值	0.7762	LM 统计量的 <i>p</i> 值	0.9244	LM 统计量的 <i>p</i> 值	0.9109
White 检验的 <i>p</i> 值	0.0000	White 检验的 <i>p</i> 值	0.0002	White 检验的 <i>p</i> 值	0.0081

注: \* 表示在 5% 的显著性水平下, \*\* 表示在 10% 的显著性水平下. 所有方程的残差均平稳.

从 D.W. 统计量来看, 除基于样本 1986Q1-2008Q2 和 1986Q1-2008Q3 的方程的随机误差项无序列相关性外, 其它各方程的 D.W. 统计量均显示无法确定随机误差项是否存在一阶序列相关, 经过 LM 检验 (滞后 1 阶), *p* 值显示各方程的随机误差项均无序列相关性. 另外, 从 White 检验的结果来看, 表 3 中各方程的随机误差项均无异方差性, 而表 4 中各方程的残差均存在异方差性, 因此使用 White 异方差一致协方差对参数估计量进行修正, 表 4 中各变量的系数均为修正后的结果. 由于本文使用的各自变量, 除非商业净多头比率外, 均为原变量的差分形式, 所以在一定程度上有效地消除了原变量间的多重共线性. 而且各方程的调整 R<sup>2</sup> 均小于 0.46, 表 3 和表 4 中有符号 (\* 和 \*\*) 标识的变量均在 10% 的显著性水平下通过了 *t* 检验, 因此说明各模型中自变量间的多重共线性不严重. 对各方程残差的检验结果显示, 残差序列均平稳. 经过以上的检验和处理, 各模型的设定正确, 参数的估计是线性、无偏和有效的, 所以在此基础上, 本文接下来将根据建模结果依次对各影响因素与油价间的相关关系进行分析.

总的来看, OECD 当期的石油消费增速同 WTI 油价增速呈反向关系, 原因在于 WTI 原油价格影响了当期的石油消费, 油价上涨会导致石油消费下降, 消费价格弹性在 2008 年前三季度大约为 0.76 (1/1.32), 之后弹性变小至 0.59 (1/1.70), 正如 Hamilton<sup>[8]</sup> 指出的, 短期油价波动的决定因素是收入而不是需求, 弹性的变小在一定程度上反映了金融危机爆发后, 人们预期收入减少, 即使油价下跌也不会显著增加石油消费的现象. 而滞后 7 阶 (约 1 年半前) 的 OECD 石油消费增速与 WTI 油价增速呈现正向关系, 这可能是预期效应

的体现. 当石油消费增速上升时, 人们会预期未来的消费增速也会保持现有水平, 进而预期未来油价将快速上涨, 基于这种预期, 投资者会看多油价, 从而导致未来油价收益率上升, 而这种效应的显现大约在一年半之后. 预期效应对油价的影响在金融危机前后均比较稳定, 大约为 1.2 左右, 说明当期的石油消费会对未来的油价产生影响是一个比较稳定的规律. 另外, 各模型中滞后 7 阶的石油消费增速的系数的倒数均大于当期石油消费的, 说明长期消费价格弹性要大于短期, 这与前人的研究结论一致.

OPEC 原油产量增速的滞后 15 阶 (约 4 年), 在 2008 年前三季度, 同 WTI 油价收益率呈现反向关系, 供给价格弹性约为 1.41 (1/0.71), 说明金融危机爆发前, 原油的长期供给富有弹性, 产量对油价的影响是一种长期的影响, 当期原油产量增速上升会导致 4 年后的油价收益率下降, 结果与 Adelman<sup>[22]</sup> 指出的 OPEC 的生产调整过程通常需要三年时间比较吻合. 2008 年第四季度及其之后, OPEC 原油产量增速的领先 1 阶同 WTI 油价收益率呈现正向关系, 供给价格弹性约为 0.81 (1/1.23), 这一变化的原因是, 金融危机爆发后, 原油价格暴跌, 为阻止油价进一步下滑, OPEC 召开多次会议商议减产, 表现为当期油价收益率的变化会影响下个季度 OPEC 的原油供给量, 但是短期的原油供给是缺乏弹性的, 即便在危机爆发后亦是如此. 另外, 由于滞后 7 阶的 OECD 石油消费增速和滞后 15 阶的 OPEC 原油产量增速, 其系数分别反映了危机发生前, 常态下原油的消费和生产对油价的影响大小, 由它们的系数我们可得, 一般情况下, 石油消费要大于石油产量对油价的影响, 这一结论与 Kilian<sup>[6]</sup> 的结论一致.

美国 GDP 增速是各因素中对油价波动影响最大的, 油价对美国 GDP 变化非常敏感, 从本文分析的七个季度来看, 这种规律在近两年的时间内均比较稳定. 对比金融危机前后变量形式的变化, 可以发现, 油价越来越受到近期美国 GDP 变化的影响, 从 2008 年前三季度受到约半年前的 GDP 增速变化的显著影响, 逐渐演变到 2008 年第四季度和 2009 年第一季度 (自第一次海湾战争以来油价下跌幅度最大的两个季度) 受到上一季度 GDP 增速变化的影响, 再演化到 2009 年二、三季度受到当期 GDP 增速变化的影响. 分析这一变化的原因, 危机爆发前, 美国 GDP 同石油消费对油价的影响相似, 是一种预期效应的体现, 随着危机的深化, 人们更加关注当前宏观经济的形势, 对近期宏观经济的解读会迅速体现在当期油价的变化中.

美国石油库存增速的变化会对当期油价波动产生负向影响, 金融危机爆发后, 油价对库存变化的敏感性变强, 由原来的库存平均增加 1% 导致当期油价下降约 1.07%, 过渡到库存平均增加 1% 将导致当期油价下降约 2.06%.

美元指数收益率对当期油价收益率有显著的负向影响, 且金融危机爆发后, 这种影响明显变大了, 在其他因素不变的情况下, 美元贬值 1% 导致以美元计价的原油价格由以前的上涨约 1.64%, 变化至上涨约 2.05%.

从度量投机因素的非商业净多头比率来看, 当期非商业净多头比率的上升对油价有显著的正向影响, 危机爆发后, 这种影响有所减弱, 从之前的非商业净多头比率平均增加 0.01, 导致油价收益率变为原收益率的 100.17%, 减至约 100.13%. 另外, 因为

$$D(\ln P) = \ln P_{t+1} - \ln P_t = \ln \frac{P_{t+1}}{P_t} \quad (5)$$

而且

$$C8 = \frac{d(D(\ln P))}{d(\text{Noncommer\_netr})} = \frac{d(\ln(\frac{P_{t+1}}{P_t})) / \ln(\frac{P_{t+1}}{P_t})}{d(\text{Noncommer\_netr})} = \frac{d(\ln(\frac{P_{t+1}}{P_t})) / d(\text{Noncommer\_netr})}{\ln(\frac{P_{t+1}}{P_t})} \quad (6)$$

所以

$$\frac{d(\ln(\frac{P_{t+1}}{P_t}))}{d(\text{Noncommer\_netr})} = \ln\left(\frac{P_{t+1}}{P_t}\right) \cdot C8 \quad (7)$$

其中,  $P$  为原油价格,  $\text{Noncommer\_netr}$  为非商业净多头比率,  $C8$  为变量  $\text{Noncommer\_netr}$  的系数,  $D(\ln P)$  实际上即为油价收益率. 我们可以看出, 非商业净多头比率对油价收益率的影响 (即方程 (7) 等号左边), 等于油价收益率与系数  $C8$  的乘积 (即方程 (7) 等号右边), 所以在其他条件不变的情况下, 投机因素在油价收益率高时对油价的影响要大于收益率低时的情况, 很好的解释了投机在油价快速上涨时所起的推波助澜的作用.

由以上的分析可以看出, 除由预期效应导致的当期石油消费对未来约一年半的油价有显著正向影响外, OECD 石油消费、OPEC 原油产量、美国石油库存、美国实际 GDP、美元指数和非商业净多头比率在金融危机前后对油价的影响或受油价的影响均有不同程度的变化. 并且从模型调整  $R^2$  的变化来看, 危机发生前

$R^2$  为 0.37, 之后模型拟合优度上升至 0.45, 说明金融危机爆发后, 国际原油价格有向基本面回归的趋势, 具体表现为以上各因素对油价波动的解释力度明显增强。

本文通过对油价影响因素的建模分析, 得到的关于石油消费和生产弹性的结论与前人的研究结论一致, 在一定程度上也肯定了本文构建的模型的有效性。就各因素对油价影响的时滞来讲, 当期石油消费会对大约一年半后 (7 个季度) 的油价有正向影响, 且在金融危机前后均比较稳定; 美国石油库存、美元指数以及非商业净多头比率对油价的影响则是在当期显现出来的。金融危机前后, 美国实际 GDP 均是各因素中对油价影响程度最大的。

正如前面提到的, 金融危机发生后, 各因素与油价间的关系均发生了不同程度的变化, 从总体来看, 金融危机爆发后, 国际原油价格有向基本面回归的趋势。金融危机造成预期收入减少, 使得石油的消费弹性变小, 危机发生后, 当前宏观经济和市场状况倍受关注, 使得油价越来越受到近期美国实际 GDP 增速的影响, 油价对库存变化的敏感性变大, 美元指数对油价的影响也有所增加。由于危机爆发后, 国际原油价格暴跌, 使得相关因素也受到影响, 如下季度的 OPEC 原油产量增速会受到当期油价收益率的显著正向影响, 另外, 由于投机对油价的影响在油价收益率高时要大于收益率低时, 危机爆发后, 度量投机因素的非商业净多头比率对油价的正向影响有所减弱。

## 5 结语

本文基于时差相关多变量模型, 对各因素与国际原油价格之间相互影响的程度、时差关系和内在机制进行了分析, 研究结果显示各因素与油价的相互作用并不都是在当期就完成了。本文还对金融危机爆发前后各因素与油价之间关系的变化进行了比较, 从金融危机所引起的宏观经济和原油市场变化出发, 揭示了各因素与油价间关系变化的原因。

本文提出的基于时差相关分析的多变量分析框架, 不但为变量滞后阶数的确定提供了依据, 而且方便了建模, 提高了模型构建的科学性, 从最后模型的结果及其经济意义来看, 本文提出的分析框架是可靠、直观且有效的。

## 参考文献

- [1] Kapetanios G, Tzavalis E. Modeling structural breaks in economic relationships using large shocks[J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2009, doi: 10.1016/j.jedc.2009.10.001.
- [2] Hammoudeh S, Li H. The impact of the Asian crisis on the behavior of US and international petroleum prices[J]. *Energy Economics*, 2004, 26(1): 135-160.
- [3] Adelman M A. *The Genie out of the Bottle: World Oil Since 1970*[M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 1995.
- [4] Hamilton J D. Oil as the macroeconomy since World War II[J]. *Journal of Political Economy*, 1983, 91(2): 228-248.
- [5] 张珣, 余乐安, 黎建强, 等. 重大突发事件对原油价格的影响 [J]. *系统工程理论与实践*, 2009, 29(3): 10-15.  
Zhang X, Yu L A, Lai K K, et al. Estimating the effects of extreme events to crude oil price[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2009, 29(3): 10-15.
- [6] Kilian L. Not all price shocks are alike: Disentangling demand and supply shocks in the previous term crude oil next term market[J]. *American Economic Review*, 2009, 99(3): 1053-1069.
- [7] Kesicki F. The third oil price surge — What's different this time?[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(3): 1596-1606.
- [8] Hamilton J D. Causes and consequences of the oil shock of 2007-08[R]. NBER Working Paper No. w15002, 2009.
- [9] Huntington H G. Short- and long-run adjustments in US petroleum consumption[J]. *Energy Economics*, 2010, 32(1): 63-72.
- [10] Krichene N. World crude oil and natural gas: A demand and supply model[J]. *Energy Economics*, 2002, 24(6): 557-576.
- [11] Kaufmann R K, Ullman B. Oil prices, speculation, and fundamentals: Interpreting causal relations among spot and futures prices[J]. *Energy Economics*, 2009, 31(4): 550-558.
- [12] Yang C W, Hwang M J, Huang B N. An analysis of factors affecting price volatility of the US oil market[J]. *Energy Economics*, 2002, 24(2): 107-119.
- [13] 杨建辉, 潘虹. 国际原油价格、人民币实际汇率与中国宏观经济研究 [J]. *系统工程理论与实践*, 2008, 28(1): 1-8.  
Yang J H, Pan H. Study on world oil price and real exchange rate with China's macro-economics[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2008, 28(1): 1-8.



- [14] 汪寿阳, 余乐安, 房勇, 等. 国际油价波动分析与预测 [M]. 长沙: 湖南大学出版社, 2008.  
Wang S Y, Yu L A, Fang Y, et al. Volatility Analysis and Forecast of International Crude Oil Price[M]. Changsha: Hunan University Press, 2008.
- [15] Cooper J C B. Price elasticity of demand for crude oil: Estimates for 23 countries[J]. OPEC Review, 2003, 27: 1-8.
- [16] 何亚男. 原油经济关系与原油价格行为研究 [D]. 中国科学院数学与系统科学研究院, 2009.  
He Y N. Study on world oil price and real exchange rate with China's macro-economics[D]. Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Sciences, 2009.
- [17] Ghouri S S. Assessment of the relationship between oil prices and US oil stocks[J]. Energy Policy, 2006, 34(17): 3327-3333.
- [18] IMF. World Economic Outlook — Housing and the Business Cycle[M]. Washington, DC: International Monetary Fund, 2008.
- [19] Parsons J E. Black gold & fool's gold: Speculation in the oil futures market[R]. CEEPR Working Paper No. 09-013, 2009.
- [20] EIA. International energy annual report of the energy information administration[R]. US Department of Energy, 2007.
- [21] 阎妍, 许伟, 部慧, 等. 基于 TEI@I 方法论的房价预测方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(7): 1-9.  
Yan Y, Xu W, Bu H, et al. Housing price forecasting method based on TEI@I methodology[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2007, 27(7): 1-9.
- [22] Adelman M A. World oil production and prices 1947-2000[J]. Quarterly Review of Economics and Finance, 2002, 42(2): 169-191.