

# 基于 GARCH 模型的 WTI 和 Brent 原油价格风险分析

沈沛龙, 邢通政

(山西财经大学 财政金融学院, 太原 030006)

**摘要:** 鉴于国际原油市场对我国经济的重大影响, 对美国 WTI 原油现货市场和欧洲 Brent 原油现货市场的油价波动做了基于 GARCH 模型的价格风险实证研究。结果表明, 三种扰动项分布的假设中 GED 分布在 9% 置信水平下的失败率偏小, 能够较好地刻画石油市场收益率分布的厚尾性, 正态分布也能够准确地度量国际原油市场价格风险, 但较 GED 分布容易导致风险的低估, 而  $t$  分布的测度过于保守, 仅适合于石油市场剧烈振荡的时期; WTI 市场收益率的条件异方差性比 Brent 市场更为显著, 考察期内平均和最大的 VaR 值大于 Brent 市场, 发生极端风险事件的可能性大于 Brent 市场, 而 Brent 市场在 9% 置信水平下的失败率显著高于 WTI 市场, 发生风险事件的频率高于 WTI 市场。

**关键词:** GARCH 模型; 国际油价; 价格波动; 价格风险; VaR

**中图分类号:** F830.9      **文献标志码:** A      **文章编号:** 100921971(2010)03-0088-06

进入 21 世纪, 我国石油需求对外依赖性不断加深, 到 2008 年, 依存度已高达 48%, 国际油价剧烈波动对我国经济运行产生了巨大的影响。受传统体制影响, 我国的石油定价机制以政府定价为主, 市场化改革尚未完成, 消费端油价比较稳定, 处于垄断地位的油气行业承担着国际油价波动的风险。在这种情况下, 我国如何进行石油价格风险管理, 促进石油企业长期稳健经营, 已成为油气行业一个迫切需要解决的问题。本文认为, 对国际原油市场进行充分的定量研究是有效地管理国际油价波动风险的前提, 而目前我国国内这方面的研究工作还比较欠缺。本文通过对美国 WTI 和欧洲 Brent 原油现货市场价格风险的实证研究, 为管理油价波动风险提供参考。

## 一、文献综述

国际油价波动的历史可以追溯到 20 世纪 70 年代的第四次中东战争, 此后石油生产国和消费国对石油定价权的争夺使得国际石油定价

体系趋于复杂。目前, 主要的定价方式是期货定价, 正是这种定价方式使得石油呈现出一定的金融属性, 油价波动成为常态。最近的十年间, 国际油价从 20 美元/桶飙升至最高时的 147 美元/桶, 之后迅速跌落至 40 美元/桶以下, 2009 年 6 月以后, 油价在 70 美元/桶至 80 美元/桶区间波动。

油价的剧烈波动激发了学者们的研究兴趣, 大部分学者从石油价格的波动和分布入手寻求石油价格风险的刻画方法。拉米雷斯等人以多维 Hurst 方法分析原油市场的长记忆性, 认为石油价格的波动是不同时间标度上复杂关系高度相互作用的结果, 使用 Zipf 方法分析国际原油价格的动力学行为后发现: 油价变化的根本原因是投机商和消费者的推动, 并且原油价格的分布规律很难用精确的数学模型刻画<sup>[1]</sup>。马斯卢克和史密斯使用 LM 单位根检验方法发现原油市场是弱有效的, 因此很难通过历史价格刻画未来的油价变化<sup>[2]</sup>。

但是, 许多经典计量模型仍能够得到一些有价值的结论, 自回归移动平均模型 (ARMA 模型)、自回归条件异方差模型 (ARCH 族模型)、

收稿日期: 2010-03-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (70873078)

作者简介: 沈沛龙 (1964-), 男, 山西襄汾人, 院长, 教授, 博士生导师, 从事金融工程与风险管理研究; 邢通政 (1983-), 男, 山西长治人, 硕士研究生, 从事金融工程与风险管理研究。

随机波动率模型 (SV 波动率模型) 等方法被广泛地用于油价波动率的估计。其中 ARCH 类模型因能集中反映油价数据的时间序列方差而被较多地采用: 平代克使用这一模型研究了美国 1990 年以来的原油市场, 发现美国石油价格波动的半衰期为 5~10 周<sup>[3]</sup>; 与之对应, 国内学者张跃军等对我国大庆原油价格建立了 GED-GARCH 模型, 认为我国国内石油价格波动存在显著的 GARCH 效应, 但波动的半衰期仅为 5 天, 远小于美国市场, 结论是我国原油市场并非完全市场化运作<sup>[4]</sup>; 冯春山、潘慧峰和张金水分别应用 ARCH 类模型研究了国际和国内的油价波动, 前者发现了阿拉伯轻油价格波动的杠杆效应和波动聚集性<sup>[5]</sup>, 后者主要分析了国内油价波动的杠杆效应, 并从不可再生资源的角度予以了解释<sup>[6]</sup>。张哲林等用多维 ARCH 类模型研究了 WTI Brent 和 Dubai 原油现货及衍生品市场波动的相关关系, 实证研究发现 GARCH 效应在原油市场之间并非独立存在的, 但连续条件相关关系并不存在<sup>[7]</sup>。这些文献表明, 目前学术界关于原油价格波动和原油市场间联系的研究比较充分, 但不足之处在于系统地分析原油市场之间差异的工作比较缺乏。

价格风险的管理方面, 摩罗计算了炼油企业的市场风险价值 VaR (Value at Risk, 风险价值), 分析了能源价格变化对能源企业市场风险的影响<sup>[8]</sup>。卡贝多和莫亚在历史模拟法、蒙特卡罗模拟法和方差) 协方差法下分别计算石油价格的 VaR 值, 实证表明, 基于 ARMA 预测模型的历史模拟法能够改进历史模拟法下的 VaR 估计值<sup>[9]</sup>。罗特尔研究了美国石油市场的长期动态套期保值比率的估计问题, 分别在单因子、双因子和三因子模型下校准期限结构模型, 在三因子模型中长期价格的引入兼顾了套期保值策略中短期期货合约更高流动性与更优保值效率的双重要求<sup>[10]</sup>。

本文对 WTI 和 Brent 市场建立 GARCH 模型, 在扰动项条件正态分布、t 分布、GED 分布的假设下实证研究了国际油价的波动风险, 并检验 GARCH 模型下的 VaR 方法度量国际石油价格风险的有效性。研究表明, GED 分布的假设是三种分布中最适合于度量国际原油市场价格波动风险的分布, 正态分布次之, 而 t 分布仅适合

于石油市场剧烈振荡的时期; WTI 市场发生极端风险事件的可能性大于 Brent 市场, 而 Brent 市场发生风险事件的频率高于 WTI 市场, 两个市场的平均的风险值比较接近。

## 二、理论模型

本部分解释了本文研究使用的计量模型的一般原理和概念。其中, VaR 值是通常的风险度量指标, 在本文的实证研究中用于石油价格风险测度。经典的 GARCH 模型用于计算油价波动率和 VaR 值, 而库皮克失败频率检验法能够检验 VaR 模型的有效性。

### 1. 风险度量指标)) VaR

VaR 是指在市场正常波动下, 某一金融资产或证券组合在一定的置信水平和未来特定的一段时间内的最大期望损失, 可表示为:

$$P(\$P > VaR) = 1 - c \quad (1)$$

其中 \$P 为投资组合在持有期 \$t\$ 内的损失, \$c\$ 为置信水平, VaR 为置信水平 \$c\$ 下处于风险中的价值。VaR 实质上是投资组合回报分布的一个百分位数。VaR 已经在油价波动风险的研究中得到了一定的应用, 本文借鉴前人的经验, 以这一工具度量 WTI 和 Brent 市场的价格风险。

### 2. GARCH 模型

GARCH 模型主要用于处理具有非正态性、非独立性、肥尾性和波动集群性等条件异方差特征的数据, 它有效地消除条件异方差现象。已有的研究表明, 国际油价波动数据是典型的条件异方差数据, 因此本文采用 GARCH 模型拟合。GARCH 模型由两个方程组成, 一个是条件均值方程, 另一个是条件方差方程。结合我们对实证数据的分析, 本文选用 GARCH (1, 1) 模型<sup>[11]</sup>, 其一般形式为:

$$y_t = x_t C + u_t, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$R_t^2 = X + Au_{t-1}^2 + BR_{t-1}^2 \quad (3)$$

公式 (2) 称为均值方程, \$y\_t\$ 是 \$t\$ 期的条件均值, \$x\_t\$ 是 \$1 \times (k+1)\$ 维外生变量向量, \$C\$ 是 \$(k+1) \times 1\$ 维系数向量; 公式 (3) 称为条件方差方程, \$X\$ 是常数项, \$u\_{t-1}^2\$ 是用均值方程的扰动项平方的滞后来度量从前期得到的波动性的信息, \$R\_{t-1}^2\$ 和 \$R\_t^2\$ 是 \$t-1\$ 期和 \$t\$ 期的条件方差。

由公式(3)所得油价的波动率可实现对 VaR 的估计,即

$$VaR_t = - a @R_{|t-1} P_{t-1} \tag{4}$$

其中  $R_{|t-1}$  为在  $t-1$  期的信息下资产收益率的条件标准差,  $P_{t-1}$  为  $t-1$  期的资产价格,如果仅仅考虑相对 VaR 值,  $P_{t-1}$  可以省略。

### 3 库皮克失败频率检验法

库皮克失败频率检验法能够检验 VaR 模型的有效性<sup>[12]</sup>。假定计算 VaR 的置信度为  $\pm$  考察天数为  $T$ , 如果某交易日的收益率实际损失超过 VaR 所设定的估计值, 就记 VaR 测度失败一次, 失败天数为  $N$ , 则失败频率记为  $p(N | T)$ 。令  $p^* = 1 - \pm$  零假设为  $p(N | T) = p^*$ , 这样对模型准确性的评估就转化为检验失败频率  $p$  是否显著不同于  $p^*$ 。假定 VaR 估计具有时间独立性, 失败出现次数视为独立的贝努力试验, 则  $T$  次实验中失败  $N$  次的概率为  $(TN)p^N (1-p)^{T-N}$ 。库皮克的零假设最适合的似然比率检验式为:

$$LR = \ln[(1 - \frac{N}{T})^{T-N} (\frac{N}{T})^N] - \ln[(1 - p^*)^{T-N} (p^*)^N] \tag{5}$$

统计量 LR 服从自由度为 1 的卡方分布, 此分布在 95% 置信区间的临界值为 3.84 在 99% 置信区间的临界值为 6.65, 只要在相应的置信区间上 LR 值小于临界值, 我们就可以接受模型。

## 三、实证研究

本部分对比研究了不同置信水平和扰动项分布假设下 GARCH 模型对 WTI 和 Brent 原油市场的风险刻画效果, 目的是寻求适用的原油市场风险刻画方法。针对 WTI 和 Brent 市场的比较分析, 我们发现并确定了同样成熟的国际石油市场间差异化的价格波动风险特征。

### 1 数据的选取

本文分别选取 2005 年 1 月 3 日 (Brent 市场为 1 月 4 日) 至 2009 年 12 月 31 日的 WTI 和 Brent 市场原油现货交易价格日数据为研究对象, WTI 市场考察 1257 个交易日, Brent 市场考察 1267 个交易日。数据来源于美国能源情报署网站<sup>1</sup>, 使用 Eviews5.0 软件对数据进行处理。

### 2 数据的检验

用指数收益率计算每个交易日的收益率, 用  $r$  表示:

$$r = \ln p_t - \ln p_{t-1} \tag{6}$$

对数据作条件异方差检验 (ARCH 效应)、正态性检验等, 结果如图 1) 4 所示。

图 1 和图 2 显示, 两个市场的收益率序列有波动聚集现象, 图 3 和图 4 的正态性检验表明了数据的尖峰厚尾性, 呈现非正态分布特征。

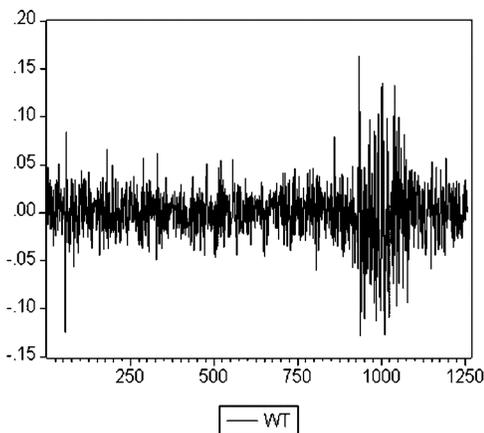


图 1 WTI 市场日收益率波动图

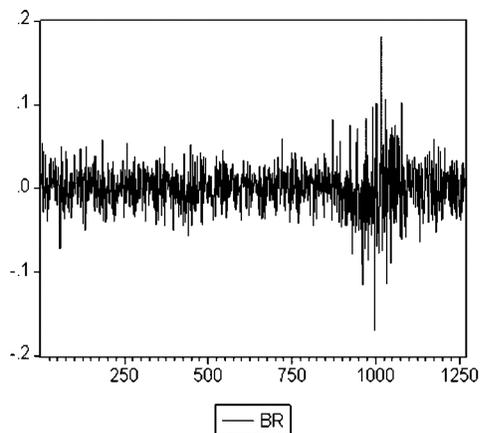


图 2 Brent 市场日收益率波动图

<sup>1</sup> [http://tonp.eia.doe.gov/dnav/pet/pri\\_wco.k.w.htm](http://tonp.eia.doe.gov/dnav/pet/pri_wco.k.w.htm)

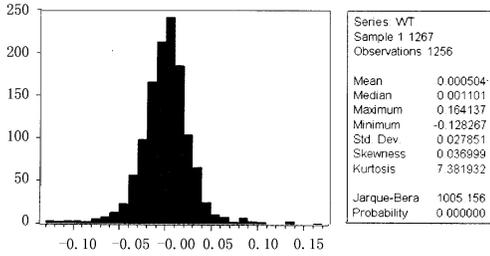


图 3 WTI 市场日收益率正态检验图

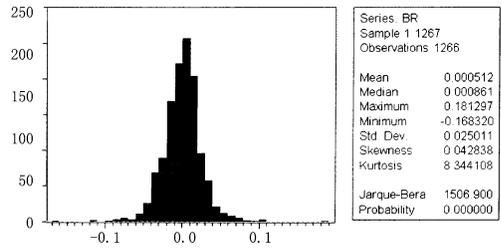


图 4 Brent 市场日收益率正态检验图

使用拉格朗日乘法进一步检验数据中可能存在的 ARCH 效应, 结果表明, 两组数据中均存在显著的 ARCH 效应。使用 ADF 检验法对数

据作平稳性检验, 结果表明, 两个数据序列都是十分平稳的。检验结果见表 1。因此, 本文以 GARCH 模型拟合。

表 1 收益率序列的 ARCH 效应检验和平稳性检验结果

检验项目	ARCH 效应检验 (滞后阶数 p=1)				ADF 检验	
	F- statistic	Prob	Obs* R- squared	P rob	t- Statistic	Prob.
WTI 市场	87.24	0.00	81.69	0.00	- 35.96	0.00
Brent 市场	24.31	0.00	23.87	0.00	- 35.54	0.00

### 3. GARCH 模型对原油市场拟合的结果和 VaR 的求解

动项分布假设下, 对数据进行 GARCH (1, 1) 模型拟合, 拟合效果如表 2 所示。

本文在正态分布、t 分布和 GED 分布三种扰

表 2 GARCH (1, 1) 模型拟合效果分析

分布假设	正态分布		t 分布		GED 分布	
	AIC 值	对数似然值	AIC 值	对数似然值	AIC 值	对数似然值
WTI 市场	- 4.65	2922.1	- 4.67	2938.7	- 4.66	2932.2
Brent 市场	- 4.75	3009.5	- 4.77	3021.5	- 4.76	3021.0

为了比较分析不同分布假设下模型的风险度量效果, 本文求解了 99% 和 95% 两种置信度

下的 VaR 值, 经公式 (2)) (4) 计算和公式 (5) 检验, 结果由表 3) 5 分别列出。

表 3 正态分布下的 VaR 计算实证结果

原油市场	置信水平	VaR 最大值	VaR 平均值	失败次数	失败率	LR 值
WTI 市场	99%	- 0.159	- 0.059	12	0.96%	0.03
	95%	- 0.112	- 0.042	60	4.78%	0.13
Brent 市场	99%	- 0.132	- 0.055	12	0.95%	0.04
	95%	- 0.093	- 0.039	65	5.13%	0.05

表 4 t 分布下的 VaR 计算实证结果

原油市场	置信水平	VaR 最大值	VaR 平均值	失败次数	失败率	LR 值
WTI 市场	99%	- 0.186	- 0.068	3	0.24%	10.60
	95%	- 0.124	- 0.045	41	3.26%	9.03
Brent 市场	99%	- 0.154	- 0.065	5	0.39%	6.08
	95%	- 0.100	- 0.043	46	3.63%	5.48

表 5 GED 分布下的 VaR 计算实证结果

原油市场	置信水平	VaR 最大值	VaR 平均值	失败次数	失败率	LR 值
WTI 市场	99%	- 0.168	- 0.062	10	0.80%	0.57
	95%	- 0.113	- 0.042	60	4.78%	0.13
Brent 市场	99%	- 0.139	- 0.058	10	0.79%	0.61
	95%	- 0.092	- 0.039	65	5.13%	0.05

结果表明,正态分布和 GED 分布的 LR 值都在合理范围内,这两种分布对 VaR 的估计都是较准确的。值得注意的是,正态分布较 GED 分布容易导致风险的低估,而 GED 分布在 99% 置信度下的失败率偏小,能够较好地刻画石油收益率分布的厚尾性,因而更能够满足价格风险管理的要求。t 分布下的 LR 值都偏大,只有 Brent 市场置信度为 99% 的 LR 值满足要求,说明其测度效果过于保守。综合来看,GED 分布的假设在三种方法中是最适合于度量国际原油市场的波动风险的,正态分布次之,而 t 分布仅适合于石油市场剧烈振荡的时期。

从 WTI 市场和 Brent 市场的对比来看,WTI 市场收益率的条件异方差性比 Brent 市场更为显著,考察期内的最大 VaR 值明显大于 Brent 市场,平均 VaR 值略大于 Brent 市场,因此发生极端风险事件的可能性和平均风险水平大于 Brent 市场。而 Brent 市场在 95% 置信水平下的失败率显著高于 WTI 市场,因此其发生风险事件的频率也将高于 WTI 市场,两个市场的平均的风险值比较接近。这反映了美国作为世界上最大的石油消费国,其石油市场受到扰动因素影响更为显著,但两个市场作为同样成熟的国际原油市场,油价波动的特点又有一定的相似性。

#### 四、结论和建议

本文以 GARCH (1, 1) 模型研究了 WTI 和 Brent 石油市场的价格波动风险,实证结果表明,扰动项条件 GED 分布的假设是刻画国际原油市场价格波动风险和进行价格风险管理的合理假设,条件正态分布的假设也能够比较准确地度量国际石油市场的价格风险,而 t 分布是一个过于保守的假设。我们知道,国际石油市场受到了极多因素的影响,一些学者认为它是一个典型的复

杂系统,研究它的运动机理、影响因素及预测等<sup>[13]</sup>,本文的结果则强调以通用模型分析国际油价波动风险,这对于日益国际化经营的我国油气行业探求一种实用的价格风险管理方法无疑有着重要意义。

本文对两个国际原油市场的对比研究表明,WTI 市场平均的风险值和发生极端风险事件可能性大于 Brent 市场,但 Brent 市场发生风险事件的频率却高于 WTI 市场。这表明,不同的国际原油市场的风险既有各自的特点又有类似的规律。我国的企业运用 VaR 方法管理自身面对的国际石油价格风险时,在 WTI 市场上应当注重弥补短暂的价格剧烈波动带来的损失而在 Brent 市场上需要侧重于管理油价连续变化所蕴藏的市场风险。

剧烈波动的国际油价给我国经济带来了巨大的损失与风险,考验着我国石油企业管理石油价格风险的能力。我国油气行业应当努力适应经济形势的变化,注重对宏观经济形势和油气行业层面的研究,以定性和定量相结合的办法预测国际油价及其波动风险的变化情况,并对国际原油市场建立风险模型,对国际石油市场价格风险进行量化和监测,这样形成一套价格风险管理的完整体系。在此基础上,我国企业应当采取有效的风险管理策略,积极利用国际市场,努力降低自身风险,提高获取收益的水平。

#### 参考文献:

[1] RAMIREZ A J etc al Multifractal Hurst Analysis of Crude Oil Prices[J]. Pisica A, 2002 (3): 651- 670  
 [2] MASLYUK S SMYTH R. Unit Root Properties of Crude Oil Spot and Futures Prices[ J]. Energy Policy 2008, 36 (7): 2591- 2600  
 [3] PNDYCK R S Volatility in Natural Gas and Oil Markets [ J]. The Journal of Energy and Development 2004, 30 (1): 1- 20  
 [4] 张跃军,范英,魏一鸣.基于 GED- GARCH 模型的中

- 国原油价格波动特征分析 [J]. 数理统计与管理, 2007, 26(3): 398- 406
- [5] 冯春山, 吴家春, 蒋馥. 国际石油市场的 ARCH 效应分析 [J]. 石油大学学报: 社会科学版, 2003, 19(2): 18- 20
- [6] 潘慧峰, 张金水. 基于 ARCH 类模型的国内油价波动分析 [J]. 统计研究, 2005, (4): 16- 20
- [7] CHANG C L, MCAL EER M, TANSUCHAT R. Modeling Conditional Correlations for Risk Diversification in Crude Oil Markets [EB/OL]. <http://www.ssm.com/abstract=1401331>, 2009- 05- 08
- [8] MAURO A. Price Risk Management in the Energy Industry: The Value at Risk Approach [EB/OL]. [http://www.ssm.com/SOB/papers.cfm?abstract\\_id=12020917](http://www.ssm.com/SOB/papers.cfm?abstract_id=12020917).
- [9] CABEDO J D, MOYA I. Co-integration and Error-correction Representation, Estimation and Testing [J]. *Econometrica* 2003, 55(3): 239- 253
- [10] LAUTIER D. Dynamic Hedging Strategies: an Application to the Crude Oil Market [EB/OL]. [http://www.ssrn.com/SOB/papers.cfm?abstract\\_id=1568019](http://www.ssrn.com/SOB/papers.cfm?abstract_id=1568019)
- [11] KUPIEC P. Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Management Models [J]. *Journal of Derivatives* 1995 (2): 73- 84
- [12] 高铁梅. 计量经济分析方法与建模 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 171- 200
- [13] PILIPOVIC D. Energy risk [M]. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc, 2007: 375- 254, 375- 454

## GARCH Model Based WTI and Brent Crude Oil Price Risk Analysis

SHEN Peilong XING Tongzheng

(School of Finance & Banking, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China)

**Abstract** For the great influence of world's crude oil market on China, this paper studies WTI and Europe Brent crude oil market empirically with GARCH model to estimate the market risk. The results show a lower failure rate at 99% of confidence level in the GED distribution compared with the other two distribution assumptions, so GED distribution can better describe the fat tails of crude oil. Normal distribution is also able to measure world crude oil market risk, although it may lead to underestimation. However, Student's *t*-distribution is too conservative and is only suitable for severely volatile period. In WTI market, conditional volatility is greater than that in Brent market, and so is the largest VaR in the study period, thus the extreme risk events more likely happen. On the contrary, in Brent market, the failure rate is much higher than that in WTI at 99% of confidence level, which means higher frequency in the occurrence of risk events.

**Key words** GARCH model; world oil price; price volatility; price risk; VaR

[责任编辑 张大勇]