

基于 PMRS 的期货加权油价多步预测方法^①

梁强^{1,2}, 范英¹, 魏一鸣¹

(1. 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 北京 100080;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100080)

摘要: 在模式识别系统(PMRS)的基础上,采用石油期货价格加权,提出了能够有效的预测短期石油现货价格的新方法.以自然预测模型(naïve forecast model)和PMRS作为评价基准,对美国西德克萨斯轻质原油(WTI)、普通汽油(regular gasoline)和燃料油(heating oil)的现货价格和期货价格进行了实证研究.结果表明,提出的基于PMRS的期货加权油价多步预测方法具有更为优越的短期预报性能.

关键词: 模式匹配; 油价; 期货; 现货; 多步预测

中图分类号: F224 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2008)06-0084-07

0 引言

商品的期货价格在一定程度上反映了人们对未来现货价格的预期,因此许多文献都致力于研究期货价格是否能准确地描述未来现货价格的变动情况,并据此对未来的现货价格进行预测.由于石油在当今世界经济中的极端重要性,异常的油价变动,譬如历史上的3次石油危机,都给各国乃至世界的经济带来了严重的影响.制定应付油价变动的政策,需要借助有效的长期和短期油价预测方法.为此,关于石油的期货和现货关系研究,以及石油期货能否为现货价格预测提供较为准确的参考,受到了人们前所未有的关注.

Quan^[1]和Moosa等^[2]指出石油期货对于现货价格的预测,并不好于自然预测模型,Gulen^[3]以及Peroni等^[4]的实证研究为上述观点提供了依据.Bopp等^[5,6]发现提前1个月的期货价格在现货价格预测能力上表现要好于自然预测模型,但是提前更长时间的期货价格则不然.Salah等^[7]采用Fair等^[8,9]的检验模型,对提前1、3、6、9、12

个月的期货预测能力进行了评价,结果只有提前1、12个月的期货预测要优于自然预测模型.Dominguez^[10],Green等^[11]和Crowder等^[12]的研究表明提前1个月的原油期货对未来现货价格的短期预测具有显著的指示作用且石油的现货价格具有条件异方差(GARCH)的波动特征.Claudio^[13]再次考察了提前1个月的原油期货对未来现货价格的短期预测指示作用,并用Barone-Adesi等^[14]提出的资产价格预测方法对Brent油价进行了短期预测.

油价的影响因素错综复杂,Epaminondas等^[15]和Bahram等^[16]的研究表明,油价变动呈现出高度的非线性甚至具有混沌性质,因此油价的预测问题尤其是多步预测就变得极其困难,仅仅依靠期货对其未来的行为进行表述是远远不够的,有必要结合其他预测模型,共同对油价进行分析和预测.近年来,神经网络、马尔可夫模型和模糊系统等许多新方法在金融领域的预测问题中得到了广泛应用,但Peters^[17]指出,大部分金融时间序列是一个长记忆过程,即未来的价格取决于过

① 收稿日期: 2005-11-01; 修订日期: 2008-05-07.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70371064; 70425001); 国家“十五”科技攻关资助项目(2004BA608B).

作者简介: 梁强(1980—),男,广东韶关人,博士生. Email: lionchance1980@163.com

去所有的而不单是某些历史价格, 这个特征使得只采用过去某些价格进行预测的短记忆系统预测方法表现出很大的局限性. 因此, 长记忆系统的预测可以采用时间序列的历史模式匹配方法以克服一般短记忆系统预测方法的不足. 分形市场假说也为模式匹配方法的可行性提供了有力的支持, Peters^[17]发现了市场的分形结构, 表明市场并不是完全随机变化的, 而是存在一些难以被神经网络和传统的统计学方法所捕获到的无固定周期的循环. 他指出市场并非不可预测, 但需要采用基于长记忆系统的方法, 才能产生较为准确的结果. Farmer等^[18]发现对于混沌时间序列, 局部近似, 即将时间序列分为若干个小的时间段, 再分别对它们进行分析的方法要优于全局近似. Leigh等^[19]结合遗传算法、神经网络和图形模式识别、Liu等^[20]采用图形模式识别和小波径向基函数神经网络对股票价格进行了预测. Farmer等^[18]采用最近邻方法、Motnikar等^[21]采用模式近似对时间序列预测方法进行了研究. 后来, Singh等^[22-25]又采用模式识别系统 (PMRS) 对金融时间序列进行了预测. Alvarez-Ramirez等^[26,27]、Robinson等^[28]、Bernabe等^[29]、Gil-Alana等^[30]关于油价及石油市场特征的研究表明, 油价时间序列是非线性的长记忆系统. 鉴于上述模式匹配方法在非线性的预测领域中的良好表现, 本文考虑将其与石油期货两者相结合, 达到改进预测效果的目的.

1 模式识别系统 (pattern modeling and recognition system, PMRS)

设时间序列为 $y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, n 为时间序列的长度. 称 $(y_i, y_{i+1}, \dots, y_{i+k-1})$ 为时间序列 y 中的一个子序列, 其中 $1 \leq i \leq i+k-1 \leq n$ 为 y 的一个状态 (state). 定义时间序列 y 的一个片断 (segment) δ 为 $\delta = (\delta_i, \delta_{i+1}, \dots, \delta_{i+k-1})$, 其中 k 为片断 δ 的维数 (size); $1 \leq i \leq i+k-1 \leq n-1$; $\delta_j = y_{j+1} - y_j$; $i \leq j \leq i+k-1$. 定义模式 (pattern) ρ 为 $\rho = (b_i, b_{i+1}, \dots, b_{i+k-1})$, 其中 k 为模式 ρ 的维数; $1 \leq i \leq i+k-1 \leq n-1$.

$$b_j = \begin{cases} 1, & y_{j+1} \geq y_j, i \leq j \leq i+k-1, b_j \text{ 称为标记} \\ 0, & y_{j+1} < y_j \end{cases}$$

(tag), $i+k-1$ 称为标记位置 (marker position).

两个模式 $\{b_p, b_{p+1}, \dots, b_{p+k}\}$ 和 $\{b_q, b_{q+1}, \dots, b_{q+k}\}$ 之间的偏差 (offset) 定义为

$$\nabla = \sum_{i=1}^k w_i (\delta_{p+i-1} - \delta_{q+i-1})$$

式中: $1 \leq p \leq p+k \leq n$; $1 \leq q \leq q+k \leq n$; w_i 为偏差的加权系数, $1 \leq i \leq k$. 设当前状态为 $s_c = \{y_{n-k+1}, y_{n-k+2}, \dots, y_n\}$, 时间序列 y 的历史数据中与当前状态 s_c 最为接近 (对应模式间的偏差最小) 的历史状态 $s_p = \{y_{j-k+1}, y_{j-k+2}, \dots, y_j\}$, 称其为 s_c 的最近邻 (nearest neighbor), 其中 k 为状态的维数.

PMRS 在时间序列的历史数据中寻找与当前模式最为接近的历史模式, 使得其对应的历史状态为当前状态的最近邻, 然后根据当前模式与历史模式对时间序列的未来值进行预测. PMRS 需要确定的参数模式维数 k 决定了模式的结构, 具有十分重要的意义, 直接影响模式匹配和预测结果的准确程度, 可以通过枚举法求得.

2 基于 PMRS 的期货加权油价多步预测方法

2.1 对 PMRS 的改进

仅仅采用 PMRS 对油价现货的时间序列进行预测, 可能会导致出现较大的偏差. 首先, 当今世界石油市场上, 期货交易占据了相当大的比重, 主要的石油进口和出口国几乎均采用期货购买的手段以回避风险. 因此, 未来的现货价格的变动很大程度上取决于期货价格的变化, 如果预测时在现货价格的基础上, 同时把期货价格也作为一定的参考依据, 那么将会更能全面地把握未来现货价格的变化走势. 再则, 期货价格是人们对未来现货价格预期的一种反映, 不容忽视预期在决定商品市场价格、直接影响后继市场走向以及价格变动上的作用. 综合上述两个因素, 为了进一步改进预测结果, 有必要将期货价格的指导作用和 PMRS 相结合. 若当前模式的期货价位要高于历史模式

的期货价位,则表示石油市场走势强劲,人们的预期较高,未来的现货价格也应该在原来不考虑期货价格时预测的基础上,相应地做正向调整;反之,当前模式的期货价位低于历史模式的期货价位时,则表示石油市场走势疲软,人们的预期不乐观,未来的现货价格应该在原来预测的基础上,相应地做负向调整。

2.2 建模过程

设石油现货价格时间序列为 $\{S_t\}$, 期货价格时间序列为 $\{F_t\}$, $1 \leq t \leq n$, n 为时间序列长度, 现货价格当前模式为

$$\rho'_S = (b_{n-k}^S, b_{n-k+1}^S, \dots, b_{n-1}^S)$$

期货价格当前模式为

$$\rho'_F = (b_{n-k}^F, b_{n-k+1}^F, \dots, b_{n-1}^F)$$

式中, b_i^S 和 b_i^F 分别为现货和期货价格模式的标记, 则根据 ρ'_S 和 ρ'_F 可以预测 $\{S_t\}$ 未来的第 1 个值 S_{n+1} (即第 1 步预测)。然后, 将 S_{n+1} 作为新的现货价格, 将 $(b_{n-k+1}^S, b_{n-k+2}^S, \dots, b_n^S)$ 作为新的现货价格当前模式, 而将 $(b_{n-k+1}^F, b_{n-k+2}^F, \dots, b_n^F)$ 作为新的期货价格当前模式, 再进行 $\{S_t\}$ 未来第 2 个值 S_{n+2} 的预测 (即第 2 步预测), 如此反复迭代, 最终产生 m 步预测的所有预测值 $S_{n+1}, S_{n+2}, \dots, S_{n+m}$ 。在进行第 k 步预测时 ($2 < k \leq m$), 需要知道 $S_{n+1}, \dots, S_{n+k-1}$ 以及 $F_{n+1}, \dots, F_{n+k-1}$ 的值, 其中 $S_{n+1}, \dots, S_{n+k-1}$ 可直接由预测值得到, 而对于 $F_{n+1}, \dots, F_{n+k-1}$, 可以采用 PMRS 方法单独对期货价格时间序列进行预测得到。

如 2.1 节所述, 为了改进 PMRS 方法, 需要同时结合当前模式、历史模式的现货和期货价格, 对 PMRS 产生的预测结果进行调整, 这里采用期货加权的方式进行。设现货价格当前模式为

$$\rho'_S = (b_{n-k}^S, b_{n-k+1}^S, \dots, b_{n-1}^S)$$

最匹配的历史模式为

$$\rho''_S = (b_{j-k}^S, b_{j-k+1}^S, \dots, b_{j-1}^S)$$

期货价格当前模式为

$$\rho'_F = (b_{n-k}^F, b_{n-k+1}^F, \dots, b_{n-1}^F)$$

与 ρ''_S 相对应的期货价格历史模式为

$$\rho''_F = (b_{j-k}^F, b_{j-k+1}^F, \dots, b_{j-1}^F)$$

则在预测时应该参考当前和历史上的期货价格对原先的结果进行一定的加权调整, 设

$$\beta_S = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{\delta_{n-i}^S}{\delta_{j-i}^S}, \beta_F = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{\delta_{n-i}^F}{\delta_{j-i}^F}$$

调整后的预测结果为:

1) 若 $b_j^S = 1$, 则作高的预测

$$S_{n+1} = S_n + [\omega\beta_S + (1 - \omega)\beta_F]\delta_j^S \quad (1)$$

2) 若 $b_j^S = 0$, 则作低的预测

$$S_{n+1} = S_n - [\omega\beta_S + (1 - \omega)\beta_F]\delta_j^S \quad (2)$$

式中, $1 - \omega$ 表示期货价格在现货价格预测中占的权重, 反映了石油期货价格对现货价格决定作用的程度大小。PMRS 方法中, β_S 表示现货价格中当前模式较历史模式价位改变的程度, 未来的价格是在历史价格上, 基于这个改变进行调整后预测得到的。新方法引进了表示期权价格中当前模式较历史模式价位改变的程度的参数 β_F , 结合 β_S 共同对现货的价格进行了调整, 最后产生的预测不仅具有 PMRS 方法的优点, 还反映了期货价格对现货价格的影响作用, 使得结果更为准确。

基于 PMRS 的期货加权油价多步预测方法的建模过程如图 1 所示, 模式维数 k 的选取采用枚举法, 设 $k_{\max} \geq 2, k_{\max} \in Z$, 则 $\forall k, 2 \leq k \leq k_{\max}$, 建立模式维数为 k 的模型并计算预测效果, 最后选择效果最好的 k 值作为模型中的模式维数来产生预测。设多步预测时的预测值为 $\hat{y}_i, n+1 \leq i \leq n+m, m$ 为多步预测的步数, 建模过程中采用以下的误差标准评价预测效果:

1) 正向偏差 (e_+) 设预测值中所有正向变化 ($\hat{y}_{i+1} > \hat{y}_i$) 的总数为 μ'_+ , 实际值中所有正向变化 ($y_{i+1} > y_i$) 的总数为 μ_+ , 则有

$$e_+ = \frac{|\mu'_+ - \mu_+|}{\mu'_+ + \mu_+} \quad (3)$$

e_+ 反映了预测值与实际值在正向变化上的差异, 越小越好。

2) 负向偏差 (e_-) 设预测值中所有负向变化 ($\hat{y}_{i+1} < \hat{y}_i$) 的总数为 μ'_- , 实际值中所有负向变化 ($y_{i+1} < y_i$) 的总数为 μ_- , 则有

$$e_- = \frac{|\mu'_- - \mu_-|}{\mu'_- + \mu_-} \quad (4)$$

e_- 反映了预测值与实际值在负向变化上的差异, 越小越好。

3) 平均偏差比 (e_r)

$$e_r = \frac{1}{m} \sum_{i=n+1}^{n+m} \frac{\hat{y}_i}{y_i} \quad (5)$$

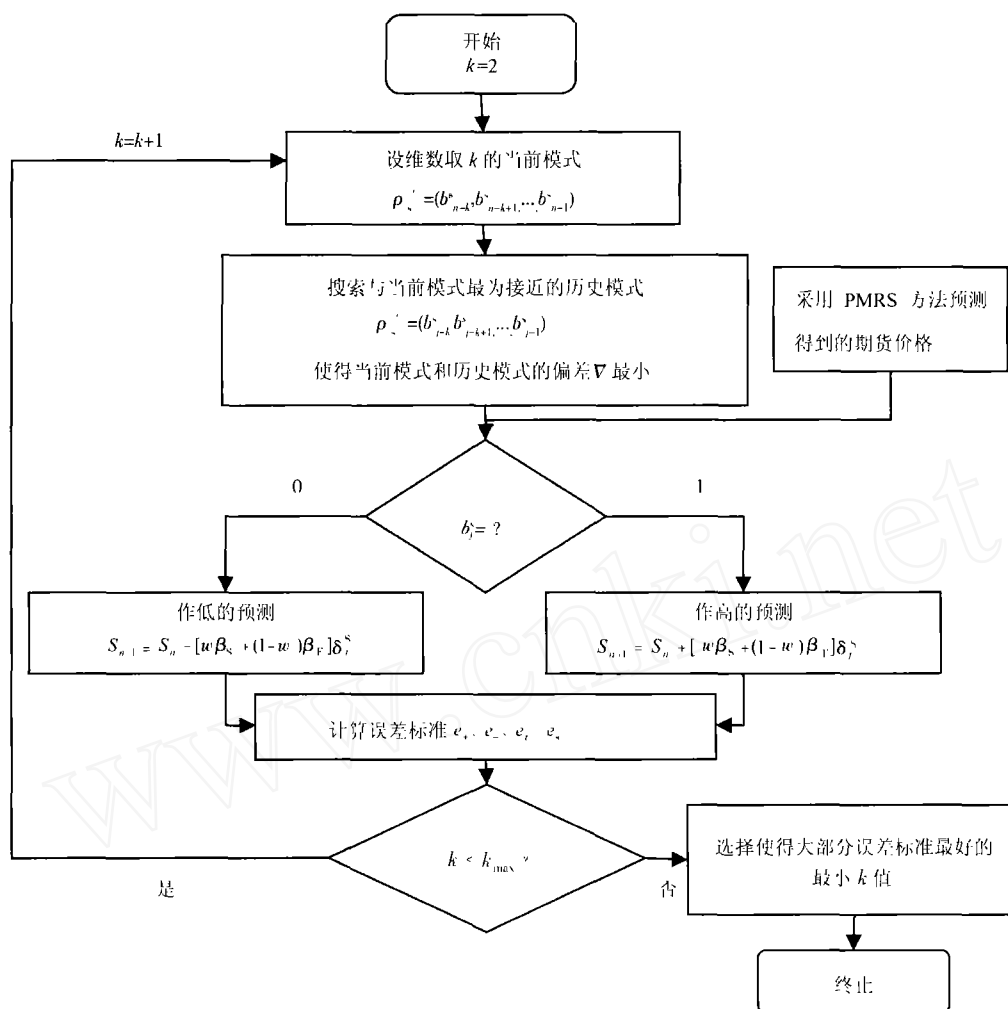


图 1 基于 PMRS 的期货加权油价多步预测方法的建模过程

Fig. 1 Modeling of futures-weighted oil price multi-step prediction method based on PMRS

e_r 反映了预测值与实际值的相似程度,越接近 1 越好.

4) 同步偏差(e_s) 设 x 表示实际值和预测值中所有同向变化的个数,即满足条件 $\ddot{y}_{i+1} > \ddot{y}_i$ 且 $y_{i+1} > y_i$, 或 $\ddot{y}_{i+1} < \ddot{y}_i$ 且 $y_{i+1} < y_i$ 则有

$$e_s = 1 - \frac{x}{m} \quad (6)$$

e_s 反映了预测值与实际值变化方向上的差异,越小越好.

3 实证研究

3.1 实验数据

实验数据采用美国西德克萨斯州原油 (WTI)、普通汽油 (regular gasoline) 和燃料油 (heating oil) 的现货日价格数据和提前 1 个月的

期货日价格数据 (来源: 美国能源部网站 <http://tonto.eia.doe.gov>). 每组数据都分为 3 个部分: 第 1 部分为建模数据,用来计算模型的参数. 第 2 部分为测试数据,用不同的模型参数对测试数据进行预测并计算误差标准,以选择最好的模型参数. 第 3 部分为检验数据,采用最好的模型参数对检验数据进行预测,根据结果的评价标准最终判定模型的预测效果. 数据的具体描述如表 1 所示:

3.2 预测结果评价标准

本文采用根均方误差 (RMSE) 和百分比平均相对误差 (MAPE) 作为最终衡量预测结果好坏的评价指标, RMSE 反映了预测油价与实际油价的平均误差, 而 MAPE 反映了它们的相对误差, RMSE 和 MAPE 越小, 则表示预测油价越接近实际油价, 效果越好. 在实验中对各组数据进行的均

表1 实验数据的具体描述

Table 1 Detailed description of empirical data

数据		油价		
		WTI	普通汽油	燃料油
建模数据	起始时间	1986年1月2日	1994年11月1日	1986年6月2日
	终止时间	2004年7月26日	2004年7月22日	2004年7月22日
	数据长度	4767	2432	4566
测试数据	起始时间	2004年7月27日	2004年7月23日	2004年7月23日
	终止时间	2004年12月10日	2004年12月14日	2004年12月14日
	数据长度	100	100	100
检验数据	起始时间	2004年12月14日	2004年12月15日	2004年12月15日
	终止时间	2005年5月3日	2005年5月10日	2005年5月10日
	数据长度	100	100	100

是未来1个月(22个数据点)的价格预测,由于检验数据有100个数据点,因此实质上相当于共进行了79次预测,将这79次预测平均的误差标准作为最终的判定指标,这样就在较大的一个样本空间内考虑了预测的效果,更具有科学性.同时,还采用了自然预测模型(naïve forecast model)和PMRS作为评价基准,将不同模型的预测效果作了比较分析.自然预测模型认为时间序列的最后一个值就是其未来值最好的期望,设时间序列为 $\{y_t\}$, $1 \leq t \leq n$, n 为时间序列的长度,则有预测值

$$y_{n+k} = y_n, k \in N, \quad (7)$$

3.3 实验结果

实验中考虑了期货价格在现货价格的预测中比重分别占10%、20%、30%、40%和50%时的情况,即2.2中的权重 ω 相应地取为0.9、0.8、0.7、0.6和0.5,PMRS的模式维数最大值 $k_{\max} = 25$.采用PMRS预测现货价格的模型参数计算结果如表2;采用PMRS预测期货价格的模型参数计算结果如表3;基于PMRS的期货加权油价多步预测方法的模型参数计算结果如表4.

最终WTI原油现货价格各模型的预测结果如表5;由表5可以看出,对于WTI油价,PMRSF的MAPE和RMSE比另外两种模型都要好,预测效果是最好的.最终普通汽油现货价格各模型的预测结果如表6.由表6可以看出,对于普通汽油,PMRSF的MAPE和RMSE小于另外两种模型,说明预测效果也更好.最终燃料油现货价格各模型的预测结果如表7.

表2 预测现货价格的PMRS模型参数

Table 2 PMRS parameters for spot price prediction

参数	油价		
	WTI	普通汽油	燃料油
模式维数 k	3	2	2

表3 预测期货价格的PMRS模型参数

Table 3 PMRS parameters for futures price prediction

参数	油价		
	WTI	普通汽油	燃料油
模式维数 k	3	20	20

表4 基于PMRS的期货加权油价多步预测方法的模型参数

Table 4 Parameters of futures-weighted oil price multi-step prediction method based on PMRS

参数	油价		
	WTI	普通汽油	燃料油
最佳权重 ω	0.9	0.5	0.9
模式维数 k	2	22	24

表5 不同模型的预测结果比较(WTI)

Table 5 Comparison of forecasting results of different models (WTI)

评价标准	模型		
	NF	PMRS	PMRSF
MAPE(%)	5.6567	6.0477	5.6326
RMSE	3.3158	3.5688	3.2806

注: NF表示自然预测模型,PMRSF表示基于PMRS的期货加权油价多步预测方法.

表6 不同模型的预测结果比较(普通汽油)

Table 6 Comparison of forecasting results of different models (regular gasoline)

评价标准	模型		
	NF	PMRS	PMRSF
MAPE(%)	6.643 5	6.602 1	6.545 7
RMSE	10.4	10.315	10.178

表7 不同模型的预测结果比较(燃料油)

Table 7 Comparison of forecasting results of different models (heating oil)

评价标准	模型		
	NF	PMRS	PMRSF
MAPE(%)	6.506 5	6.912 8	6.337 1
RMSE	10.774	11.407	10.557

由表7可以看出,对于燃料油,PMRSF的MAPE和RMSE同样远胜于另外两种模型,表明预测效果要比它们好得多。

综上所述,对于WTI原油、普通汽油和燃料油,PMRSF比自然预测模型和PMRS具有更好的预测效果,实验结果充分表明了基于PMRS的期货加权油价多步预测方法在石油现货短期价格预测上的优越性。

参考文献:

- [1] Quan J. Two-step testing procedure for price discovery role of futures prices[J]. The Journal of Futures Markets, 1992, 12(2): 139—149.
- [2] Moosa I A, Loughani N E. Unbiased and time varying risk premia in the crude oil futures market[J]. Energy Economics, 1994, 16(2): 99—105.
- [3] Gulen S G. Efficiency in the crude oil futures market[J]. Journal of Energy Finance and Development, 1998, 3(1): 13—21.
- [4] Peroni E, McNown R. Noninformative and informative tests of efficiency in three energy markets[J]. The Journal of Futures Markets, 1998, 18(8): 939—964.
- [5] Bopp A E, Sitzer S. Are petroleum futures prices good predictors of cash value? [J]. The Journal of Futures Markets, 1987, 7(6): 705—719.
- [6] Bopp A E, Lady G M. A comparison of petroleum futures versus spot prices as predictors of prices in the future[J]. Energy Economics, 1991, 13(4): 274—282.
- [7] Salah A, Hamid B. On the predictive accuracy of crude oil futures prices[J]. Energy Policy, 2004, 32(12): 1389—1393.
- [8] Fair R C, Shiller R J. The informational content of ex ante forecasts[J]. Review of Economics and Statistics, 1989, 71(2): 325—331.
- [9] Fair R C, Shiller R J. Comparing information in forecasts from econometric models[J]. American Economic Review, 1990, 71(3): 375—389.
- [10] Dominguez K M. The volatility and efficiency of crude oil futures contracts[A]. ch.2. In: Dominguez K M, Strong J S, Weiner R J(Eds.). Oil and Money: Coping with Price Risk Through Financial Markets[C]. Harvard International Energy Studies, 1989. 48—97.

4 结束语

本文采用石油期货价格加权,基于模式识别系统提出了一种能够有效的预测短期石油现货价格的新方法,并以自然预测模型和模式识别系统作为评价基准,采用多个评价指标,对美国西德克萨斯州原油、普通汽油和燃料油现货价格和期货价格进行了实证研究.通过对比发现,本文提出的基于PMRS的期货加权油价多步预测方法产生的预测结果总体上要优于自然预测模型和模式识别系统,表明了新方法具有更优秀的短期预报性能。

本文还充分说明了在世界大部分国家主要通过国际石油期货的方式采购石油以规避风险的今天,期货地位显著上升,甚至很大程度上决定了未来的现货价格,因此石油期货价格可以较为准确地反映未来现货价格的变化方向,对未来现货价格的预测具有重要的指导意义.进一步的工作是可以结合优化模型,对最佳权重的确定加以细化,使之能更为精确的表现期货对于未来现货价格的预测作用。

- [11] Green S L, Mork K A. Towards efficiency in the crude oil market[J]. *Appl. Econometrics*, 1991, 6(1): 45—66.
- [12] Crowder W J, Hamed A. A cointegration test for oil futures market efficiency[J]. *Future Mark*, 1994, 13(8): 933—941.
- [13] Claudio M. A semiparametric approach to short-term oil price forecasting[J]. *Energy Economics*, 2001, 23(3): 325—338.
- [14] Barone-Adesi G, Bourgoin F, Giannopoulos K. Don't look back[J]. *Risk*, 1998, 8(August): 100—103.
- [15] Epaminondas P, Vassilia N. Are oil markets chaotic? A non-linear dynamic analysis[J]. *Energy Economics*, 2000, 22(5): 549—568.
- [16] Bahram A, Arjun C, Kanwalroop K D, *et al.* Chaos in oil prices? Evidence from futures markets[J]. *Energy Economics*, 2001, 23(4): 405—425.
- [17] Peters E. *Fractal Market Hypothesis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics*[M]. New York: Wiley, 1994.
- [18] Farmer J D, Sidorowich J J. Predicting chaotic dynamics[A]. In: JAS Kelso, Mandell A J, Shlesinger M F, eds, *Dynamic Patterns in Complex Systems*[C]. World Scientific, Singapore, 1988. 265—292.
- [19] Leigh W, Odisho E, Paz N, *et al.* Progress Report: Improving The Stock Price Forecasting Performance of The Bull Flag Heuristic with Genetic Algorithms and Neural Networks[C]. IEA/AIE 2000, LNAI 1821, Berlin: Springer, 2000. 617—622.
- [20] Liu J N K, Kwong R W M, Bo F. Chart Patterns Recognition and Forecast Using Wavelet and Radial Basis Function Network[C]. KES 2004, LNAI 3214, Berlin: Springer, 2004. 564—571.
- [21] Motnikar B S, Pisanski T, Cepar D. Time-series forecasting by pattern imitation[J]. *OR Spektrum*, 1996, 18(1): 43—49.
- [22] Singh S. Noise impact on time-series forecasting using an intelligent pattern matching technique[J]. *Pattern Recognition*, 1999, 32(8): 1389—1398.
- [23] Singh S. A long memory pattern modeling and recognition system for financial time-series forecasting[J]. *Pattern Analysis & Applications*, 1999, 2(3): 264—273.
- [24] Singh S. Multiple forecasting using local approximation[J]. *Pattern Recognition*, 2001, 34: 443—455.
- [25] Singh S, Fieldsend J. *Pattern Matching and Neural Networks Based Hybrid Forecasting System*[C]. ICAPR, 2001, LNCS 2013: 72—82.
- [26] Alvarez-Ramirez J, Cisneros M, Ibarra-Valdez C, *et al.* Multifractal hurst analysis of crude oil prices[J]. *Physica A*, 2002, 313(3-4): 651—670.
- [27] Alvarez-Ramirez J, Soriano A, Cisneros M, *et al.* Symmetry / anti-symmetry phase transitions in crude oil markets[J]. *Physica A*, 2003, 322(May): 583—596.
- [28] Robinson P M, Yajima Y. Determination of cointegrating rank in fractional systems[J]. *Journal of Econometrics*, 2002, 106(2): 217—241.
- [29] Bernabe A, Martina E, Alvarez-Ramirez J, *et al.* A multi-model approach for describing crude oil price dynamics[J]. *Physica A*, 2004, 338(3-4): 567—584.
- [30] Gil-Alana L A. A fractionally integrated model with a mean shift for the US and the UK real oil prices[J]. *Economic Modelling*, 2001, 18(4): 643—658.

Futures-weighted oil price multi-step prediction approach based on PMRS

LIANG Qiang^{1, 2}, FAN Ying¹, WEI Yi-ming¹

1. Center for Energy & Environmental Policy, Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

Abstract: In this paper, a futures-weighted short-term oil price prediction approach based on PMRS is proposed. Empirical study on the spot and futures price of WTI, regular gasoline and heating oil is conducted. The comparison between the new approach and the naïve forecast model as well as the PMRS model indicates that the futures-weighted oil price multi-step prediction approach based on PMRS performs much better for short-term oil price prediction.

Key words: pattern matching; crude oil price; futures; spot; multi-step prediction