

国际石油价格长期趋势预测系统的研制与应用

何森雨¹, 杨瑞广², 梁晓捷¹, 赵鲁涛¹, 梁巧梅¹

(1.北京理工大学 管理与经济学院 能源与环境政策研究中心, 北京 100081;

2.中国科学院 科技政策与管理科学研究所, 北京 100190)

摘要:国际石油价格的剧烈波动将对经济乃至整个社会产生巨大的影响。如何准确预测国际油价趋势已成为一个非常重要的课题。基于小波多尺度分析长期趋势多步预测模型,设计并开发了国际石油价格长期趋势预测系统(LOFS)。该系统的应用证明:LOFS系统在一定程度上可以预测未来国际油价的变化趋势,但预测的关键是选取合适的参数(小波波形、峰谷选取严格度、波动检验量常数)。基于计算实验的思想,提出了一套确定参数的方法,并据此预测了2013年Brent原油价格的走势。

关键词: 油价预测系统; 动态服务器页面(Asp.Net); 模型—视图—控制器(MVC); 计算实验

中图分类号: F416.22

文献标识码: A

文章编号: 1009-3370(2013)03-0013-08

石油是国家生存和发展不可或缺的战略资源,对保障国家经济和社会发展有着不可估量的作用。国际油价的剧烈波动将对经济乃至整个社会产生巨大的影响。因此,随着近年来国际油价的一路高涨,越来越多的学者投入到国际石油价格的研究中。其中,有不少研究是针对油价时间序列进行的^[1-5],即将石油价格看作是一个经济时间序列,以数量化的方法建立模型来研究这个价格序列波动并进行预测。

常见的时间序列预测方法有回归分析、指数平滑、自回归滑动平均模型(ARMA)、广义自回归条件异方差模型(GARCH)、神经网络、灰度模型等。这些方法的短期预测效果比较理想,被广泛应用于各领域,但不适合长期趋势预测。

此外,Epaminondas(2000)^[6]和Adrangi(2001)^[7]指出石油价格时间序列的波动具有混沌性,是非线性的。Alvarez-Ramirez(2002)^[8]指出石油价格时间序列是一个具有长期记忆效应的系统。Bernabe(2004)^[9]指出石油价格时间序列是一个非线性的长记忆系统。

因此,鉴于石油价格时间序列的非线性和长记忆性,而小波分析又是非线性科学中强有力的工具,梁强(2008)将小波分析方法引入到国际油价的长期趋势预测中,利用小波多尺度分析的功能,提出小波多尺度分析长期趋势多步预测模型(MAW),并应用该模型对Brent油价进行了长达1年的多步

预报。结果表明,该模型的预测能力是其他几种常见时间序列预测方法所不能比拟的,该方法具有一定的优越性。所以,本研究使用该模型作为系统设计与研制的理论基础。

同时,梁强也指出MAW模型对小波波形、峰谷选取严格度、波动检验量常数等参数有一定的要求,只有合适的参数设置才能使预测的油价趋势符合实际情况。然而,MAW模型的参数组合高达2 000多种,人工预测显得十分不切合实际。因此,研制相应的软件来实现自动筛选参数组合,进行油价趋势预测,就显得极为重要。

此外,油价数据是动态的,实时更新的,将每日产生的新数据更新到预测模型中,能修正模型的有关参数,提高模型拟合度,从而提高模型预测的准确性。而油价预测过程往往是可重复的,可以通过研制相应的计算机软件来减少工作量。因此,很多研究工作者都尝试着利用信息技术建立油价预测系统。

早在1989年,陈余生^[10]就建立了一套用于油价预测的专家分析系统。张杰(1991)^[11]也提出了一个石油价格预测专家系统的设计方法。Wang S Y(2004)^[12]开发了一种混合人工智能系统用于原油价格预测,该系统集成了人工神经网络(ANN)、基于规则的专家系统(RES)和基于Web的文本挖掘技术(WTM)。近年来,张文(2011)^[13]构建了一个以优选模型为基础的季度油价预测系统,Khashman(2011)^[14]提出了

收稿日期: 2013-04-02

项目基金: 国家自然科学基金资助项目(71001007); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20091101110044)

作者简介: 何森雨(1989—),男,博士研究生,E-mail:woodish@vip.qq.com

一个用于原油价格的系统,该系统是基于支持向量机(SVM)理论而构建。

除了专门的油价预测系统外,还有很多大型的能源预测预警信息系统,而油价预测通常作为其中一个子系统。国际上比较知名能源系统是美国能源部开发的国家建模系统(National Energy Modeling System, NEMS)^[15], 其中的石油天然气供应模块中,有部分油价预测的内容。

本研究基于小波多尺度分析长期趋势多步预测模型(MAW),设计并研制了国际石油价格长期趋势多步预测系统(Long-term and Multi-stage Oil Price Forecasting System, LOFS)。

一、基于小波多尺度分析的长期趋势预测原理

MAW模型的基本步骤如下:(1)对油价时间序列进行小波分解;(2)选取合适的包含了长期预测趋势的近似和细节参与预测;(3)对参与预测的小波分解的近似和细节时间序列,采用余弦波逼近来反映油价的长期波动规律;(4)将各个近似和细节的预测结果整合在一起,得到油价的长期多步预测。

具体来说,MAW模型的实现过程如图1所示。图1中,模块A是各层次的小波分解;模块B是波峰波谷位置的确定;模块C是平均周期和平均振幅的计算;模块D是参与预测的近似和细节的选择;

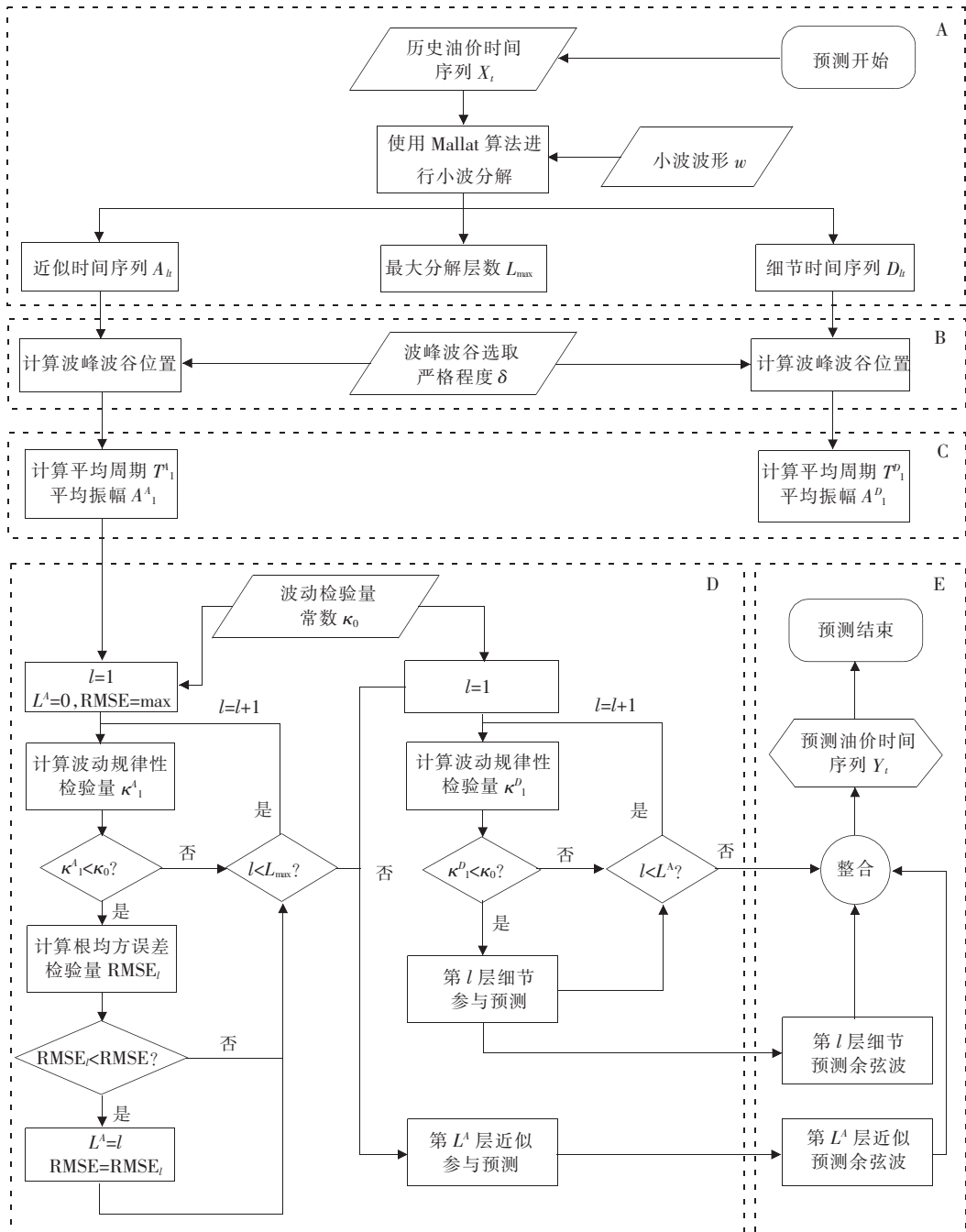


图1 MAW模型实现过程

模块E是拟合预测余弦波和整合预测结果。

二、系统设计原理

(一) 总体设计

本研究将整个国际石油价格长期趋势预测过程分为数据收集、参数设定和趋势预测三大阶段进行,要求整个系统:首先,能够对计算所需的各种石油品种的期货价格和现货价格等基本数据进行收集、管理和不断更新;其次,在使用过程中,要能根据用户设置的历史数据开始时间和结束时间等参数,自动获取历史油价数据;再次,要允许用户在系统提供的小波分析参数中选择合适的参数,如小波分解的波形等;最后,在用户完成所有设置后,能根据相应的数据和参数自动地计算石油价格长期趋势,并提供多种途径的结果展示;此外,系统还需提供预测结果验证功能,用户可以查看系统预测的长期趋势(历史预测结果)和历史油价数据的匹配程度,以使用户在进行新的预测时修正参数,提高预测精度。

同时,考虑到系统使用的便捷性和系统维护的方便性,LOFS系统使用B/S模式开发,并以基于ASP.NET MVC的3层架构形式进行开发。系统结构如图2所示。

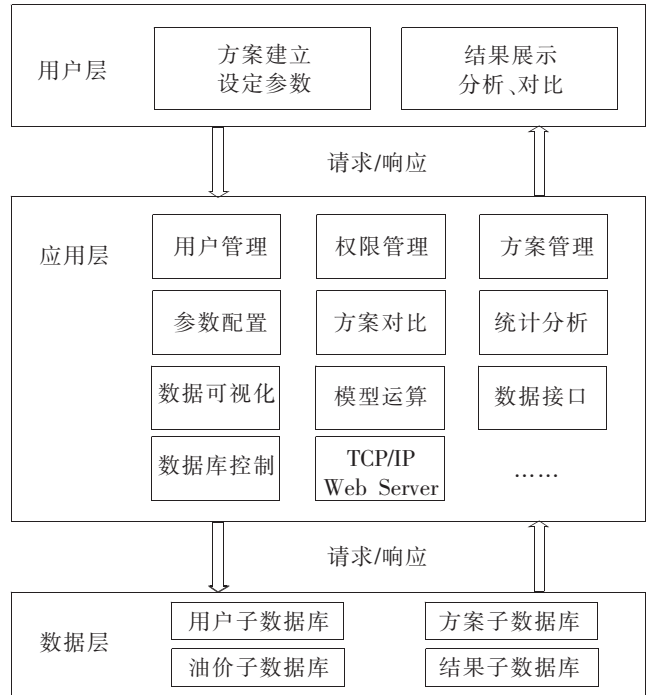


图2 系统3层架构说明图

(二) 系统组成构成

根据系统设计的要求,LOFS系统由5个部分组成,如图3所示。

1. 用户接口:提供图形化的用户界面,使用户能方便地输入参数及查询结果。

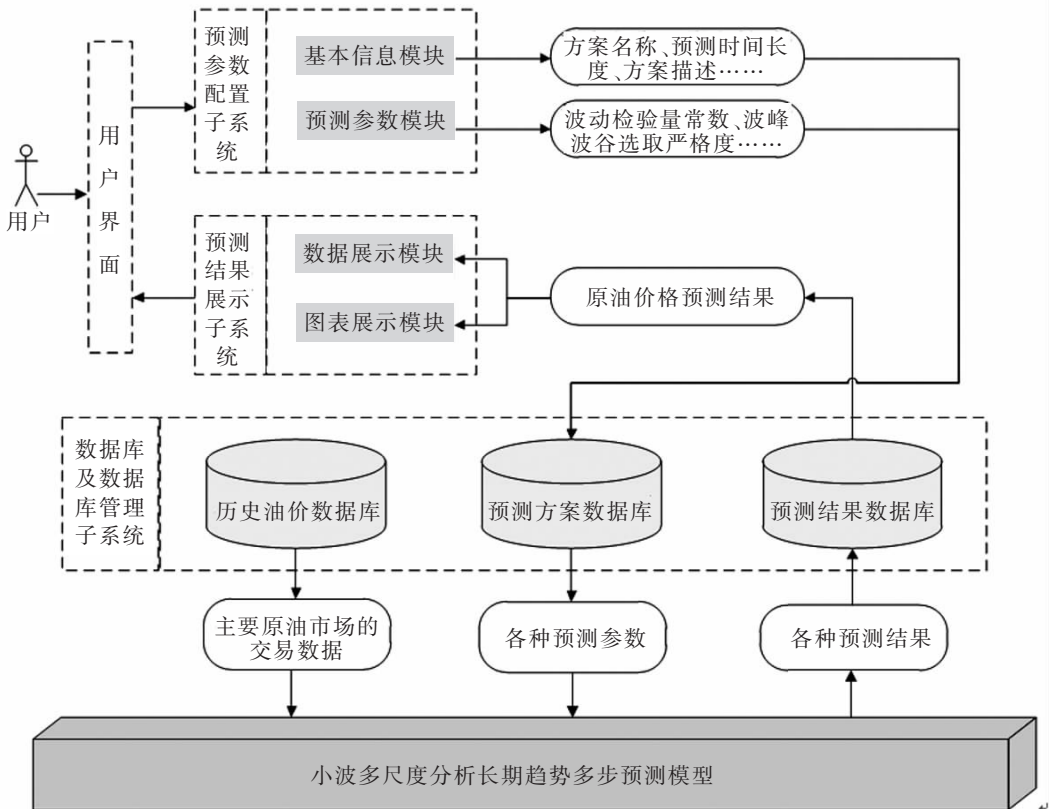


图3 系统总体结构图

2. 预测参数配置子系统:用于获取用户对预测参数的各种设置,如用于拟合的历史数据的开始时间、结束时间和用于小波分析的小波波形、波动检验量常数、波峰波谷选取严格度等。

3. 小波多尺度分析长期趋势多步预测子系统:根据用户的有关参数设置,从数据库中获取有关的油价历史数据,使用 MAW 模型进行多步预测,得到预测结果。

4. 预测结果展示子系统:用于向用户反馈预测结果,以多种图表形式进行丰富的展现,并给予一些简单的统计量,如最大值、最小值、平均值、标准差等。

5. 数据库及其管理子系统:对主要交易市场的油价数据、预测参数、预测方案和各种预测结果进行存储、查询、添加、删除等维护和管理工作。

(三)系统功能

本系统能够利用 MAW 模型,预测未来长达 1 年的油价长期走势,为政府、企业等单位制定石油相关的长期战略提供参考。同时,本系统还提供小波分析参数设置和预测结果验证功能,能为那些使用小波分析研究时间序列的学者提供一定的借鉴。

三、数据库及其管理

(一)数据库的组成

根据系统功能,LOFS 系统主要分为四个存储子系统:用户信息子数据库,历史油价子数据库,预测方案子数据库和预测结果子数据库,如图 4 所示。

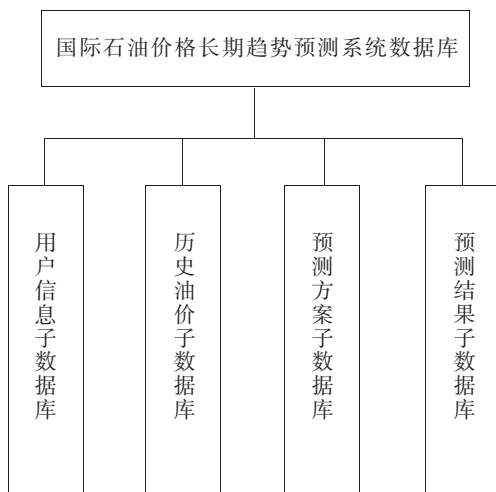


图 4 系统数据库结构图

用户信息子数据库是对系统中的用户进行管理,包括用户的基本资料 and 用户权限。从而达到管理用户和分配用户权限的目的。

历史油价子数据库主要存放国际原油交易市场的日均价格,包括期货价格和现货价格;涵盖了 7 个主要市场,如美国的 WTI 市场、欧洲的 Brent 市场等;包括了几个主要的交易品种,如原油、传统汽油、无铅汽油等。石油价格数据来源于美国能源信息安全署(EIA)^[6]。该子数据库是系统运行的数据基础。

预测方案子数据库是对系统中的方案进行管理与维护,包括方案的基本信息以及方案的参数配置等。本系统以方案为导向,每一步的操作都是针对方案进行的。所以,该子数据库贯穿了整个系统。

预测结果子数据库是与用户进行交互最多的子数据库,其存放的数据主要是通过 MAW 模型运算后得到的计算结果。与该子数据库对应的主要是系统的结果展示部分。

4 个子数据库之间是相互独立的,但又存在千丝万缕的联系。4 个子数据库之间的相互独立保证了数据的完整性、可用性和高效性。4 个子数据库之间的相互联系保证了系统的正确性、可靠性和稳定性。

(二)数据库的管理

LOFS 系统用户按角色和权限分为普通用户、研究人员、系统管理员三类。普通用户只可对自己设定的计算结果进行比较和查看。研究人员除了可以使用普通用户的权限外,还可以浏览指定用户的相关计算结果,并可以导出相应数据。系统管理员主要对系统的用户进行管理,并对基本参数进行添加和修改。此外,为了保持数据的时效性和准确性,管理员必须每天对历史油价数据进行更新。

四、系统实现

本研究采用面向对象的 ASP.NET MVC 工具,遵循用户友好的原则开发了相关的软件。

系统包含 5 种功能:查询预测方案、新建预测方案、预测结果展示、预测方案对比和预测结果验证。系统的逻辑框图如图 5 所示。

在“查询预测方案”界面,用户可以对以前进行过的预测方案进行查看、编辑、删除以及对比操作。在“新建预测方案”界面,用户需要选择拟进行预测的石油品种,并输入或选择预测时间长度、峰谷选取严格度、波动检验量常数、小波波形等参数;同时,为了方便用户设置有关参数,系统将给出用户选择的石油品种的历史走势图,如图 6 所示。

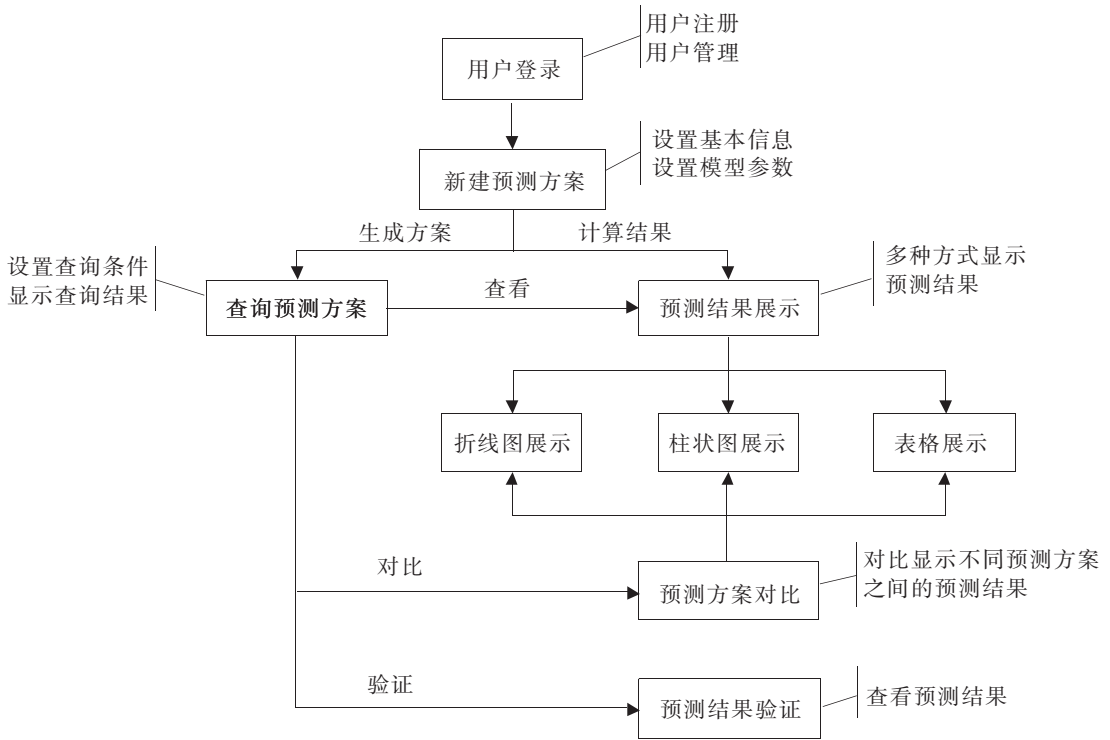


图5 系统逻辑框图

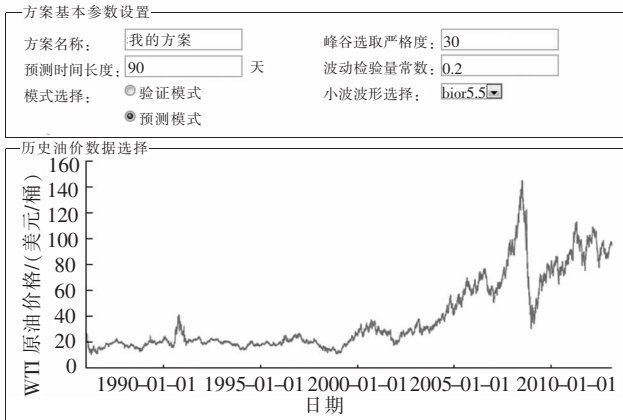


图6 参数设置界面

“预测结果展示”页面包含3个模块：参数显示、统计信息、结果展示。参数显示模块用于显示建立方案的详细参数，用户可以在此复核自己所设置的参数；统计信息模块用于显示预测结果中的一些统计信息，如最大值、最小值、平均值、标准差等；结果展示模块用折线图、柱状图、表格等形式将预测结果显示出来。

“预测结果对比”页面结构同“预测结果展示”页面类似。不同的是，在“预测结果对比”页面中，参数显示模块以列表的形式给出参与对比的所有方案的详细参数，用户可以据此一目了然地看到不同方案之间的差别；统计信息模块也以列表的形式显示各方案之间的一些统计信息，便于用户从总体上进行对比；而结果展示模块则将多个对比方案的预

测结果展示在一个图表上，便于给用户一个直观的比较。

“预测结果验证”主要界面如图7所示。用户可以据此观察系统的预测结果和油价真实数据之间的差距，估计使用当前参数进行预测的准确性和可靠性，以便修正参数，提高下次预测的精度。

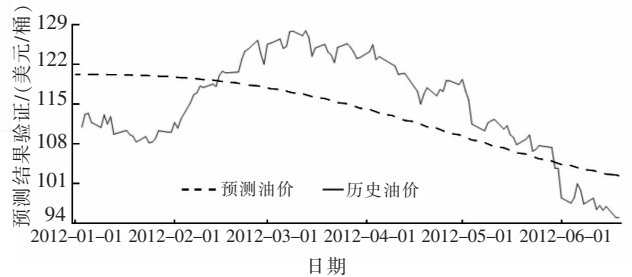


图7 预测结果验证界面(部分)

五、系统应用

(一) 实证研究

由于梁强(2008)在建立MAW模型时，指出小波波形、峰谷选取严格度、波动检验量常数等参数对油价预测有重要的影响。因此，如何确定这些参数成为了LOFS系统能否准确预测未来国际油价走势的关键。

本研究使用根均方误差(RMSE)来评价系统的预测效果。RMSE对于需要评价的预测结果来说，越小越好。设 y_i 为实际值， \hat{y}_i 为预测值，则RMSE可以

用公式(1)来计算

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (1)$$

考虑到历史油价的波动对未来的油价走势有一定的影响,本研究提出如下的确定参数的方法:首先,选取一组小波波形、峰谷选取严格度、波动检验量常数,使用MAW模型得到预测余弦波。其次,使用该余弦波预测未来一段时间内(称“预测期”)的油价,并向历史方向“预测”一段时间内(称“检验期”)的油价。再次,使用“检验期”的油价和历史油价真值计算RMSE值, RMSE值越小,则认为该组参数设置拟合效果越好,预测结果越符合当前的油价走势。最后,遍历所有参数组合,选取RMSE值较小的参数组

合来作为预测参数组合,并将其“预测期”的油价作为未来的油价趋势。为了验证本方法的可行性和探讨“检验期”的长度,本研究进行了如下的计算实验:

本研究通过LOFS系统,以1987-05-20至2011-12-31的Brent原油价格作为历史油价时间序列,使用不同参数组合(参数取值范围如表1所示),不同的“检验期”长度,预测了2012年上半年的油价走势,并分别计算了每种参数组合下“检验期”和“预测期”的RMSE值。系统共进行了2400次预测,其中643次预测因为参数组合不合理,使得MAW模型没有选取到符合参数设置的近似波形或细节波形,从而不能进行余弦波拟合,得到预测结果。在剩下的1757次有效预测中, RMSE的范围从7.52到116.98,变化幅度较大,这验证了小波波

表1 预测参数取值范围

参数名称	取值范围	个数
小波波形	coif3-coif5, bior3.3-bior5.5, db5-db30, sym5-sym30	60
波峰波谷选取严格程度	7(周), 15(半月), 30(月), 90(季), 180(半年)	5
波动检验量常数	0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9	8

形等参数对预测结果是有重要影响的。

表2给出了每种“检验期”长度下,拟合效果最好的10组参数组合对应的RMSE值和其“预测期”的RMSE值。由于表格大小的限制,表2中略去了相应的参数值。从表2中,可以看到“检验期”的RMSE值较小时,“预测期”的RMSE值也较小,这说明前文提出的方法是有效的。同时,也可以看到,检验期较短时,预测效果较好;尤其是当检验期为1年时,预

测效果(图8)比较理想,与最优预测效果(7.52)比较接近,可以认为预测是有效的。图8显示了“检验期”为1年时,最优的5组预测结果和历史油价真值之间的比较。图8中,灰色过渡区左侧是“检验期”,可以看到这几组预测和历史趋势是非常吻合的;右侧是“预测期”,可以看到预测的趋势是和实际情况一致的,从总体上说都是下降的趋势。这也再一次验证了前文提出的方法是有效的。

表2 不同检验期长度的RMSE值对比(前10组)

检验期长度	1年		2年		3年		5年		10年	
检验期范围	2011-01-01至 2011-12-31		2010-01-01至 2011-12-31		2009-01-01至 2011-12-31		2007-01-01至 2011-12-31		2002-01-01至 2011-12-31	
	检验期	预测期	检验期	预测期	检验期	预测期	检验期	预测期	检验期	预测期
	4.87	10.80	10.59	20.53	14.38	30.59	18.45	37.43	26.63	59.57
	4.88	12.01	10.68	20.78	14.45	33.88	18.90	33.88	26.69	59.83
	4.88	12.66	10.90	15.21	16.13	35.24	19.10	30.59	26.79	60.44
	4.96	15.12	11.33	20.27	16.26	28.90	19.99	28.90	26.82	60.67
RMSE	4.97	16.07	11.43	18.24	16.26	28.52	20.00	28.52	26.90	61.16
	5.01	15.15	11.52	22.78	16.27	28.37	20.09	28.37	27.09	56.52
	5.01	16.42	11.72	17.48	16.33	35.45	20.16	24.18	27.12	52.31
	5.01	15.62	11.72	17.11	16.50	37.43	20.16	27.92	27.13	56.15
	5.01	14.65	11.75	21.62	16.55	31.29	20.20	31.80	27.13	54.30
	5.02	14.87	11.81	21.00	16.56	28.14	20.34	31.29	27.18	52.55

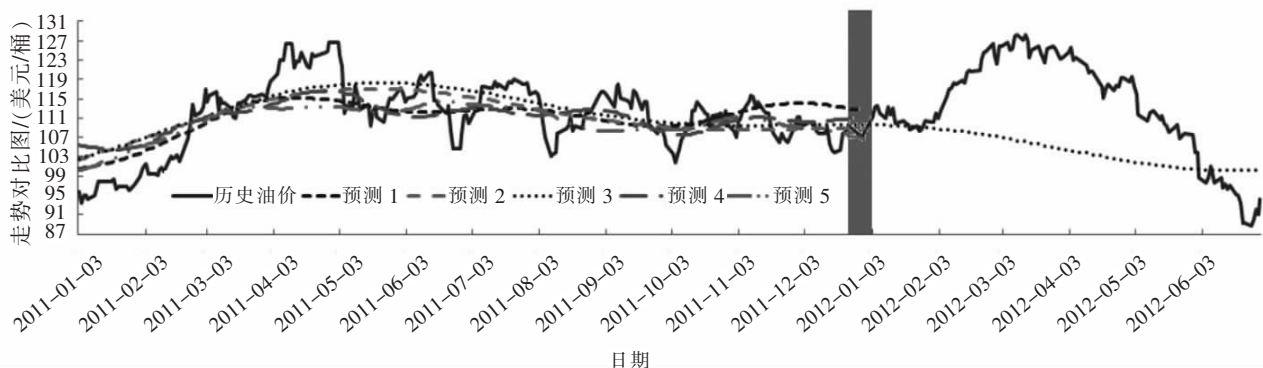


图8 历史走势和预测走势对比图

(二) 油价预测

本研究通过 LOFS 系统, 以 1987-05-20 至 2013-02-20 的 Brent 原油价格作为历史油价时间序列, 对 2013 年的 Brent 原油价格趋势进行了预测: 首先, 以 2013-01-03 至 2013-02-20 作为“检验期”, 得到了最优的参数组合: 小波波形为 sym9, 波峰波谷选取严格程度为 15, 波动检验量常数为 0.7。然后, 使用这组参数进行预测, 得到 2013 年的预测趋势(图 9), 可以看到 2013 年的波动规律和 2012 年的基本一致: 3 月到 6 月总体走势看跌, 7 月到 8 月上涨, 9 月到 11 月再次看跌, 12 月再度上涨。最后, 根据预测结果, 可以得到 2013 年 Brent 原油均价预计为 111.77 美元/桶, 与张跃军等(2013)^[17]预测结果一致。



图9 2013年Brent原油价格趋势预测

六、结语

本研究基于小波多尺度分析长期趋势多步预测模型(MAW), 设计并研制了石油价格长期趋势多步预测系统(LOFS)。该系统的应用证明, LOFS 系统在一定程度上可以预测未来国际油价的变化趋势, 但需要选取合适的参数(小波波形、峰谷选取严格程度、波动检验量常数)。本研究提出了一套获取参数的方法, 并用计算实验的思想进行了验证:

首先, 选取一组小波波形、峰谷选取严格程度、波动检验量常数, 使用 MAW 模型得到预测余弦波。其次, 使用该余弦波预测 1 年长度的“检验期”的油价。再次, 使用该油价和历史油价真值计算 RMSE 值。最后, 遍历所有参数组合, 选取 RMSE 值较小的参数组合来作为预测参数组合, 并将其“预测期”的油价作为未来的油价趋势。

为了本工作的深化和完善, 今后还需要做进一步的改进, 未来的主要工作为将 LOFS 系统与已开发的中国能源与环境政策分析模型(CEEPA)实现硬连接, 从而有助于定量评估国际油价波动对中国的社会经济影响。

参考文献:

- [1] Fan Ying, Liang Qiang, Wei Yi-Ming. A generalized pattern matching approach for multi-step prediction of crude oil price[J]. Energy Economics, 2008, 30: 889-904.
- [2] Fan Ying, Zhang Yue-Jun, Tsai Hsien-Tang, Wei Yi-Ming. Estimating “value at risk” of crude oil price and its spillover effect using GED approach[J]. Energy Economics, 2008, 30(6): 3156-3171.
- [3] 梁强. 石油价格预测方法及应用研究[D]. 北京: 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 2008.
- [4] 魏一鸣, 范英, 韩智勇, 吴刚. 中国能源报告(2006): 战略与政策研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [5] 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研究[J]. 数理统计与管理, 2007, 26(3): 398-406.
- [6] Epaminondas P, Vassilia N. Are oil markets chaotic? a non-linear dynamic analysis[J]. Energy Economics, 2000, 22(5): 549-568.
- [7] Adrangi B, Chatrath A, Dhanda K K, Raffiee K. Chaotic oil prices? evidence from futures markets[J]. Energy Economics, 2001, 23: 405-425.

- [8] Alvarez-Ramirez J, Cisneros M, Ibarra-Valdez C, Soriano A. Multifractal hurst analysis of crude oil prices [J]. *Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications*, 2002, 313(3-4): 651-670.
- [9] Bernabe A, Martina E, Alvarez-Ramirez J, Ibarra-Valdez C. A multi-model approach for describing crude oil price dynamics[J]. *Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications*, 2004, 338(3-4): 567-584.
- [10] 陈余生, 施兆福. 国际市场油价预测系统[J]. *石油大学学报: 社会科学版*, 1989, 3: 41-47, 73.
- [11] 张杰. 石油价格预测专家系统 OPFES 的设计与实现[J]. *信息与控制*, 1991, 3: 7-13.
- [12] Wang S Y, Lean Y, Lai K K. A novel hybrid AI system framework for crude oil price forecasting[C]. Germany: Springer-Verlag, 2004: 233-242.
- [13] 张文, 部慧, 汪寿阳. 基于优选模型的季度国际油价预测系统构建[J]. *系统工程学报*, 2011, 26(1): 9-16, 30.
- [14] Khashman A, Nwulu N I. Intelligent prediction of crude oil price using support vector machines [C]. America: IEEE Computer Society, 2011: 165-169.
- [15] Steven A G, Andy S K, Peter W. The national energy modeling system: a large-scale energy-economic equilibrium model[J]. *Operations Research*, 2001, 49(1): 14-25.
- [16] EIA. Spot prices for crude oil and petroleum products [EB/OL]. [2013-02-19][2013-02-20]. http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm.
- [17] 张跃军, 王婧, 王姿懿, 张璐, 王小越. 2013年国际原油价格分析与趋势预测[J]. *北京理工大学学报: 社会科学版*, 2013, 15(1): 1-4.

Development and Application of Long-term and Multi-stage Oil Price Forecasting System

HE Senyu¹, YANG Ruiguang², LIANG Xiaojie¹, ZHAO Lutao¹, LIANG Qiaomei¹

(1.Center for Energy and Environmental Policy Research, School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China)

Abstract: The intense volatility of the oil price may have great effects not only on the economy but also on the whole society. It has become a very important task to forecast the trend of oil price accurately. This paper designs and develops Long-term and Multi-stage Oil Price Forecasting System (LOFS) based on MAW model. The application of LOFS proves that LOFS can forecast the trend of oil price in the future in a certain degree, but the key of the forecast is the choice of appropriate parameters (e.g. wave type). This paper proposes a method to determine these parameters based on computational experiments and accordingly forecasts the trend of Brent crude oil price in 2013.

Key words: oil price forecast system; active server pages (Asp.Net); model-view-controller (MVC); computational experiments

[责任编辑:孟青]