

基于 ARMA 模型的国际原油交易价格的预测研究

周 鑫 (湖北商贸学院, 湖北 武汉 430050)

摘要: 石油是任何一个国家生存和发展不可缺少的战略资源, 是保障国家经济和社会发展的重要命脉。由于石油不可再生却用途广泛, 在当今世界上很多战争很多都是因石油的争抢造成的。石油是全世界消耗最大的能源之一, 需求一直在不断增加, 但价格波动巨大, 给各国石油战略储备造成困扰。因此对未来石油价格的研究和预测能够更好的应对油价泡沫和保障能源供应。本文试图通过构建平稳时间序列模型对国际原油交易价格进行拟合, 并对未来价格做进一步预测。结果显示 ARMA (6, 0) 模型对 WTI 交易价格拟合效果较好, 能为分析和预测国际原油交易价格的波动提供参考。最后, 从扩充石油供给渠道、加快绿色能源的发展、制定灵活的财政货币政策、完善金融市场、在国际层面争取更多人民币定价权等方面给出相关建议来应对石油价格波动带来的经济不确定性。

关键词: ARMA; 原油价格; 预测

1 引言

原油是指未处理加工的石油, 是不可再生的资源, 它推动着现代社会经济发展的基础能源, 是工业社会进步的重要动力燃料。截至到 2019 年底左右, 全世界石油存储量排名前十的国家如表 1 所示, 从地区层面看, 以中东地区石油储量占比最高, 其次为南美洲, 最后是亚太地区。世界经济对原油的依赖性受到原油储量和产量的限制, 使得原油价格对需求关系变化较为敏感, 从储量、生产、运输、炼油、销售每一个环节都可能造成价格产生较大的波动。由于我国现在处于疫情后经济快速复苏和发展阶段, 未来对原油的进口可能还会有较大的需求, 原油交易价格的波动对我国经济运行的成本造成影响, 尤其是对工业、制造业等领域。因此为了更好的应对未来原油价格的波动, 就必须对预期价格有所研究和预测, 以应对未来能源价格的上涨导致的企业成本增加, 引导投资者和企业管理者规避风险。

表 1 石油存储量前十排行榜

排名	国家	地区	石油存储量(亿桶)
1	委内瑞拉	南美洲	3038
2	沙特阿拉伯	亚洲, 中东	2976
3	加拿大	北美洲	1697
4	伊朗	亚洲, 中东	1556
5	伊拉克	亚洲, 中东	1450
6	俄罗斯	欧洲, 横跨欧亚	1072
7	科威特	亚洲, 中东	1015
8	阿联酋	亚洲, 中东	978
9	美国	北美洲	689
10	利比亚	非洲, 北非	484

数据来源《BP 世界能源统计年鉴 2019》

2 国际原油交易价格影响因素理论分析

目前国内外学者已经对国际原油价格的变化因素做出了比较全面的分析。如徐进等 (2022) 从内部因素和外部因素总结了影响原油价格的主要原因。内因主要包括供求关系、原油存量以及技术水平。外部因素则包括国际金融市场、全球经济形势、地缘政治风险等。高丽等 (2022) 认为原油市场的供需关系、原油期货价格、股票市场以及美元汇率对原油价格造成较大的波动。Coleman (2012) 则认为油价会受到短期投机行为的影响。冯保国 (2018) 则认为影响国际原油价格的直接因素是美元价值, 其次是市场供求关系, 国际突发事件则是随机影响因素。刘冬 (2012) 则认为石油输出国组织对国际原油价格可能会造成短期价格的波动, 但不会改变长期走势。从以上文献研究成果不难看出, 原油既是重要的生产资料同时也具备金融属性的金融产品, 更是当今国际局势的晴雨表, 仅考虑一方面都无法准确对原油价格变化做出解释。

厘清影响原油价格波动的因素后, 国际原油价格的预测同样也被各界人士和研究学者们广泛关注, 在现有研究中, 对某单一变量进行预测的方法较为丰富, 林宇等 (2023) 从数据分解、强化学习集成策略以及误差修正技术三方面构建了价格预测模型 (PVMD-QSBT-ECS) 对原油交易价格进行建模和预测, 经检验模型效果较好。冯海珊等 (2022) 基于 DBN 深度学习模型对原油期货价格进行预测。弋小晶 (2021)、魏蓉蓉等 (2011) 和周宇 (2017) 通过构建非平稳时间序列模型 ARIMA 对石油价格进行拟合和预测, 实证结果表明模型效果较好。黄文玲等 (2018) 运用

ARIMA 对生猪价格做预测，结果显示预测误差较小。因此本文尝试使用该模型根据近 40 年来的国际原油交易价格的历史数据进行建模。

3 模型构建

3.1 变量的选取和数据来源

在国际能源市场中，美国西得克萨斯轻质原油（WTI）被大多数投资者视为能源市场的基准价，该价格具有较高的透明度。因此本文选择 WTI 原油交易价格作为本文研究的目标变量进行建模，时间选取日期为 1986 年 1 月 2 日 -2022 年 8 月 31 日，共计 9282 个交易日数据。本文数据来源于美国能源信息署。

3.2 描述性统计分析

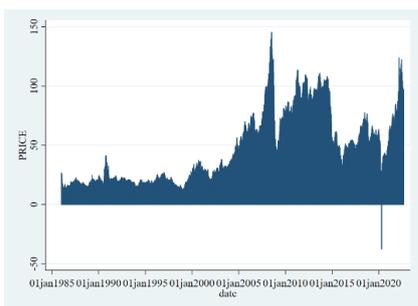


图 1 1986 年 1 月至 2022 年 9 月 WIT 交易价格波动线图

图 1 绘制了 1986 年至 2022 年的原油交易价格线图，可以看出在 20 世纪末之前，能源交易价格普遍不超过 25 美元/桶，直到 21 世纪初开始上涨，在 2008 年间达到该阶段顶峰，甚至超过 100 美元/桶，并在 2008 年 7 月 3 日达到近 30 年价格的最高点 145.31 美元/桶，出现了第三次石油危机。2008 年下半年随着美国次贷危机的爆发对全球经济造成巨大冲击，原油期货价格出现明显暴跌趋势，在 2008 年 12 月 23 日，WTI 原油价格腰斩再腰斩，跌至近几年的最低价格 30.28 美元/桶。2011 年前后，由于中东局势发生变化，WTI 原油价格再次出现大幅度上涨，超过 100 美元/桶。一直到 2014 年下半年国际油价又出现明显的回升。2015 年前后，又由于国际市场供求关系的影响，世界石油的供应量严重超过总需求量，价格再次出现暴跌。2020 年初由于新冠肺炎疫情的爆发导致很多国家和地区的工业生产和交通出行等出现停滞，也使得原油及其终端产品出现严重的需求过剩，而期货合约到期必须要交割，考虑到运输和储存成本，出现原油价格罕见出现负值。但随着新冠疫苗的出现、全球货币大放水，经济复苏的到来，不久后原油价格出现明显回升，一度接近 2008 年的最高点。可以看出，直至目前为止，国际油价相对仍处于高位，然而未来很

长一段时间可能都将维持高位，除非发生全球性大衰退。

3.3 平稳性检验

在对时间序列数据进行建模之前，首先要对变量做平稳性检验。从表 2 的变量平稳性检验结果 ADF 单位根检验可以看出，无论是否带常数项或者趋势项，ADF 统计量的值都大于在 1% 显著性水平下的临界值，因此变量显著平稳，适合用自回归移动平均模型，又称 ARMA（Autoregressive-Moving Average）模型对变量进行拟合。ARMA 模型是时间序列数据建模的重要方法之一，常用的有 AR 模型、MA 模型以及 ARMA 模型三种基本形式。

表 2 ADF 平稳性检验结果

变量	检验形式 (C, T, L)	ADF 统计量	临界值			结果
			1%	5%	10%	
PRICE	(0, 0, 0)	-0.466247	-2.565211	-1.940858	-1.616677	平稳
PRICE	(C, 0, 0)	-1.720556	-3.430879	-2.861658	-2.566874	平稳
PRICE	(C, T, 0)	-2.863380	-3.959024	-3.410287	-3.126891	平稳

注：检验形式中的 C、T 分别代表常数项和趋势项，L 代表滞后阶数。

3.4 模型的构建

ARMA (p, q) 模型的一般表达式如下：

$$\begin{cases} X_t = c + \alpha_1 X_{t-1} + \dots + \alpha_p X_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \\ \varepsilon_t \sim WN(0, \sigma^2), \forall s < t, E(X_s \cdot \varepsilon_t) = 0 \end{cases}$$

其中， $\alpha_1, \dots, \alpha_p$ 为自回归系数， $\theta_1, \dots, \theta_q$ 为移动平均系数。根据 WIT 交易价格的数据画出变量的自相关图，如图 2 所示。不难看出，变量序列的自相关系数呈现明显拖尾特征，而偏自相关系数呈现的是截尾特征，因此可以考虑使用 ARMA (0, q) 模型对变量进行建模。

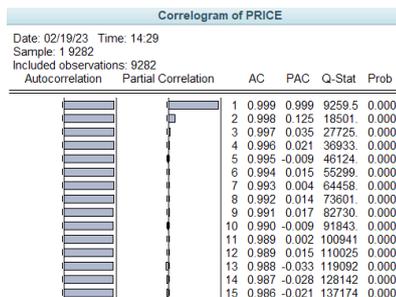


图 2 WIT 交易价格的序列相关图

通过对模型滞后阶数进行调试后发现，当 AR 模型的滞后阶数定为 6 的时候，AIC 的值相对最小，于是构建 AR (6) 模型，结果如图 3 所示。此时，模型的残差序列基本满足白噪声序列，且 Q-Statistic 对应的 P 值几乎都大于 0.05，如图 4 所示，可以认为残差序列已经是纯随机序列了，因此认为建立的 AR (6)

模型是有效。模型表达形式如下所示：

$$Price_t = 48.534 + 0.846Price_{t-1} + 0.095Price_{t-2} + 0.037Price_{t-3} + 0.029Price_{t-4} - 0.029Price_{t-5} + 0.021Price_{t-6} + \varepsilon_t$$

Dependent Variable: PRICE
Method: ARIMA Maximum Likelihood (BFGS)
Date: 02/19/23 Time: 14:26
Sample: 1 9282
Included observations: 9282
Convergence achieved after 7 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	48.53350	20.87527	2.324928	0.0201
AR(1)	0.846096	0.001300	650.7452	0.0000
AR(2)	0.095070	0.003820	24.88820	0.0000
AR(3)	0.037311	0.005463	6.829850	0.0000
AR(4)	0.028682	0.006530	4.392162	0.0000
AR(5)	-0.029257	0.005247	-5.575565	0.0000
AR(6)	0.021176	0.005042	4.199596	0.0000
SIGMASQ	2.086207	0.003377	617.7696	0.0000

R-squared 0.997601 Mean dependent var 45.78867
Adjusted R-squared 0.997599 S.D. dependent var 29.49139
S.E. of regression 1.444994 Akaike info criterion 3.575607
Sum squared resid 19364.18 Schwarz criterion 3.581757
Log likelihood -16586.39 Hannan-Quinn crter. 3.577696
F-statistic 550950.0 Durbin-Watson stat 1.999720
Prob(F-statistic) 0.000000

图 3 AR(6) 模型回归结果

Correlogram of RESID

Date: 02/19/23 Time: 12:27
Sample: 1 9282
Included observations: 9282

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	-0.000	-0.000	6.E-05	0.994	
2	-0.000	-0.000	0.0003	1.000	
3	-0.000	-0.000	0.0013	1.000	
4	0.000	0.000	0.0014	1.000	
5	-0.001	-0.001	0.0218	1.000	
6	-0.006	-0.006	0.3302	0.999	
7	-0.010	-0.010	1.2212	0.990	
8	-0.016	-0.016	3.5864	0.892	
9	0.014	0.014	5.3255	0.805	
10	0.002	0.002	5.3487	0.867	
11	-0.006	-0.006	5.7124	0.892	
12	0.035	0.035	17.016	0.149	
13	0.024	0.024	22.378	0.050	
14	0.019	0.018	25.592	0.029	
15	0.028	0.028	32.690	0.005	

图 4 模型残差序列相关图

3.5 预测

根据上述建立的 AR(6) 模型对 2022 年 9 月 1 日的 WIT 交易价格进行预测，计算出当期预测值为 92.138，预测方差为 30.17393，而实际值为 86.61，误差为 5.47 左右，给定显著性水平为 5% 的情况下，根据预测方差计算出预测置信区间为 (81.372, 102.904)，如表 2 所示。可以看出用 AR(6) 预测的未来一期 WIT 的交易价格刚好落在预测的置信区间中，如图 5 所示，说明模型的拟合程度较好，预测精度较高。

表 2 预测结果

预测日期	预测值	实际值	预测值方差	置信区间
2022 年 9 月 1 日	92.138	86.61	30.17393	(81.372, 102.904)

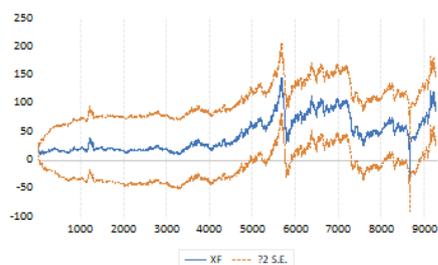


图 5 预测效果图

4 结论和建议

本文利用时间序列分析中平稳时间序列模型 ARMA

(p, q) 对国际原油交易价格进行拟合并预测，结果显示该模型拟合效果较好，当期国际原油交易价格与近 6 期的交易价格相关程度较高。但误差范围还有进一步压缩的空间，后期有待进一步的调试。

为应对国际原油市场的剧烈波动，我国可以从供需层面、政策层面和国际层面做出防范，以减少原油价格的波动对我国国民经济运行产生的风险，保证经济增长继续保持高质量发展。①构建多样化、分散化的石油进口渠道。加强与传统石油出口国的贸易合作，深化与南美、中东和非洲的合作机制，保证中国石油供给来源的稳定性，构建石油国家化的经营体系；②减少对传统能源的依赖。在“双碳”目标下，构建国内绿色产业体系，在工业上拓展和推广清洁能源和可再生能源，实现经济绿色发展；③运用财政货币政策保障能源产业的发展。当国际油价发生大幅波动时，政府应该适度灵活调整财政政策，以稳定物价为主，降低因油价上涨对经济造成的危害。或通过减税、增加财政支出的方式引导和鼓励新能源领域的投资、开发和利用；④争取人民币石油贸易结算的定价权。在新冠疫情抗疫时期，中国防控成果全世界有目共睹，在这三年时间里，我国全球商品的出口总额占比增至 15%，我国可以积极推动人民币结算体系，争取更多贸易结算话语权；⑤加强石油期货市场的风险管理。为石油生产者和消费主体提供风险规避、套期保值等相关渠道，对冲国际市场上石油价格波动造成的风险。

- 参考文献：
- [1] 刘姿邑. 国际油价波动对中国经济影响的实证分析[J]. 中国化工贸易, 2022(21):10-12.
 - [2] 林宇, 余元圆, 张希等. 基于误差修正与深度强化学习的原油期货价格预测研究[J]. 系统工程理论与实践, 2023,43(01):206-221.
 - [3] 冯保国. 国际原油价格实证分析[J]. 国际石油经济, 2018,26(01):60-71.
 - [4] 刘冬. 欧佩克石油政策的演变及其对国际油价的影响[J]. 西亚非洲, 2012(06):37-60.
 - [5] 冯海珊, 等. 基于 DBN 模型的 WTI 原油期货价格区间预测[J]. 中国管理信息化, 2022,25(10):171-173.
 - [6] 弋小晶. 基于 ARIMA 模型国际石油价格的分析与预测[J]. 中小企业管理与科技(中旬刊), 2021, No. a656(08):158-159.
 - [7] 周宇. ARIMA 模型在石油价格预测分析中的应用[J]. 北方经贸, 2017(08):23-24.