

# 基于区间时序模型的船舶价格指数预测

徐圆圆<sup>1</sup>, 郭红月<sup>1\*</sup>, 王利东<sup>2</sup>

(1.大连海事大学综合交通运输协同创新中心, 辽宁 大连 116026; 2.大连海事大学理学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:**将远期运费协议(forward freight agreements, FFA)作为外生变量,研究其对船舶价格指数的具体影响。借助中点和极差方法,分别建立区间型自回归模型和考虑区间型时间序列上、下限协整关系的区间型误差修正模型及带有外生变量 FFA 的区间型误差修正模型。将构建的模型用于对新造干散货船价格指数、二手干散货船价格指数进行的区间预测,在平均绝对误差(MAE)、均方根误差(RMSE)指标上,模型中加入协整项和 FFA 后预测精度更高。

**关键词:**区间型时间序列;船舶价格指数;远期运费协议

**中图分类号:**F551 **文献标志码:**A

**引用格式:**徐圆圆,郭红月,王利东.基于区间时序模型的船舶价格指数预测[J].山东大学学报(理学版),2024,59(1):115-123.

## Interval time series models-based vessel price index forecasting

XU Yuanyuan<sup>1</sup>, GUO Hongyue<sup>1\*</sup>, WANG Lidong<sup>2</sup>

(1. Collaborative Innovation Center for Transport Studies, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning, China; 2. School of Science, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning, China)

**Abstract:** This study considers the forward freight agreement (FFA) as an exogenous variable to analyze its specific impact on the vessel price index. With the center and range method, an interval autoregression model, an interval error correction model considering the co-integration between the upper and lower bounds of the interval time series, and interval error correction model with an additional incorporation of the exogenous variable FFA are established, respectively. The constructed models are employed to perform the interval prediction of the bulk carrier newship price index and bulk carrier secondhand price index. Based on the criteria MAE and RMSE, the prediction accuracy is higher after adding the co-integration term and FFA into the models.

**Key words:** interval time series; vessel price index; forward freight agreements

## 0 引言

船舶价格是航运市场的重要组成部分,在反映船舶自身技术特征的同时,也能够反映航运市场的行情。当投资者购买船舶时,船舶价格体现了船舶自身的使用价值,保险公司根据船舶价格对船舶损坏进行赔付,银行控制船舶贷款的风险与船舶价格密切相关。可见,分析船舶价格对于投资者、保险公司和银行等制定决策至关重要。此外,由于航运市场的复杂性及其他多方面因素的影响,因此船舶价格具有很强的波动性。为了进行合理决策,最大限度地降低风险,航运市场参与者需要对船舶价格实时把握,了解船舶价格的变化情况。

收稿日期:2022-08-02; 网络出版时间:2023-09-12 09:21:31

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/37.1389.N.20230911.1034.002

基金项目:国家自然科学基金资助项目(62006033);大连市高层次人才创新支持计划资助项目(2021RQ061);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(3132022279)

第一作者简介:徐圆圆(1997—),女,硕士研究生,研究方向为航运金融。E-mail:yyxu\_dmu@163.com

\*通信作者简介:郭红月(1989—),女,副教授,博士,研究方向为人工智能。E-mail:hyguo@dmlu.edu.cn

对于船舶价格的变化规律和波动特征的研究,主要基于点值型数据构造模型进行分析。陈继红等<sup>[1]</sup>基于协整检验建立向量误差修正模型,进行脉冲响应和方差分解分析,研究租金、造船成本和汇率等多个因素对新造超大型油轮价格波动的影响。Her 等<sup>[2]</sup>利用灰色模型对不同样本容量的巴拿马型二手散货船价格进行预测。Tgeodore 等<sup>[3]</sup>针对不同船型,运用支持向量回归(SVR)模型对船舶价格进行预测。此外,另有研究运用机器学习<sup>[4]</sup>、神经网络<sup>[5]</sup>以及混合模型<sup>[6]</sup>提升对船舶价格预测的准确性。以上模型运用点值型数据构建,分析船舶价格的变化规律,能够反映船舶价格的均值水平,但未包含波动范围等信息,利用区间型数据可以弥补这一不足。

区间型数据是将变量取值包含在区间范围内,通过区间上、下限的形式刻画变量。与点值型数据相比,区间型数据不仅能反映变量的最小值和最大值,还能反映变量取值的变化和不确定性,可提供更为丰富的信息<sup>[7-8]</sup>。Moore<sup>[9]</sup>提出运用区间形式来表示变量取值;Lima 等<sup>[10]</sup>研究了基于不同区间点值属性的建模方法;Billard 等<sup>[11]</sup>利用中点方法(CM),即基于区间中点建立点值型计量模型,然后将所得模型参数应用于区间上、下限,从而得到相应的预测区间;Billard 等<sup>[12]</sup>提出了最小、最大方法,基于区间上、下限建立回归模型,从而进行区间预测;Neto 等<sup>[13-14]</sup>提出了中点与极差方法(CRM),对区间中点和极差建立回归模型;Han 等<sup>[15]</sup>提出基于区间型样本总体建立区间自回归模型(ACI)。关于区间时序模型的实证分析,Yang 等<sup>[16]</sup>引入区间虚拟变量,并与点值虚拟变量相结合,研究经济危机对于原油价格的影响;杨威等<sup>[17]</sup>基于区间时序模型对美国股票市场和中国股票市场进行预测,研究发现区间时序模型比经典的点值模型如自回归(AR)模型、向量自回归(VAR)模型更具有预测优势。陈炜等<sup>[18]</sup>提出了对区间值时间序列进行预测的误差修正与分解方法,在股票市场数据的实证分析中,得到的预测精度优于传统方法。考虑到区间型时间序列模型的优势,本文利用其对船舶价格进行建模预测研究。

在航运市场中,干散货船舶占全球运力的 42.77%,FFA 作为干散货市场运费的金融衍生品,是一种有效的运价风险管理工具,可以有效地降低运费市场的风险。此外,FFA 作为船舶预期收入,也是影响船舶价格的一个重要因素。闵德权等<sup>[19]</sup>通过研究 FFA 市场与新造船市场的波动溢出效应,指出 FFA 市场会引起新造船市场的价格波动;新造船市场虽然也能反作用于 FFA 市场,但 FFA 市场引起的波动更加显著。杨芊等<sup>[20]</sup>指出 FFA 市场和二手船市场间也存在波动溢出效应,二手船的成交价格会受到 FFA 成交价格的影响。本文将 FFA 作为外生变量纳入到区间时序模型中,分析 FFA 对于干散货船舶价格的影响,提升模型预测的准确性。

本文首先基于新造干散货船价格指数、二手干散货船价格指数周度数据构建相应的月度区间型时间序列,包含价格最小值、最大值、均值和波动范围等方面信息;其次,利用中点与极差法对区间型船舶价格指数建立模型,包括区间自回归模型和考虑区间型时间序列上、下限协整关系的误差修正模型及引入外生变量 FFA 的误差修正模型,并对预测结果进行对比分析。

## 1 区间时序模型及参数估计

### 1.1 点值时序模型

经典的点值型时间序列模型为自回归模型,给定平稳时间序列  $\{Y_t, t=1, 2, \dots, T\}$ , AR( $p$ ) 模型定义如下:

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i Y_{t-i} + u_t, \quad (1)$$

其中  $\beta_i (i=0, 1, \dots, p)$  为模型待估参数,  $p$  为模型滞后阶数,  $u_t$  为随机误差项。

给定平稳时间序列  $\{X_t, t=1, 2, \dots, T\}$ 、 $\{Y_t, t=1, 2, \dots, T\}$ , 可以建立向量自回归模型。对于非平稳时间序列的情况, Johansen 在 VAR 模型基础上提出了误差修正模型<sup>[1]</sup>。对存在协整关系的变量,以变量之间的协整关系构成误差修正项引入预测模型。

### 1.2 区间时序模型

给定变量  $Y$ , 若包含的元素满足  $\{Y | Y^L \leq Y \leq Y^U, Y^L, Y^U \in \mathbf{R}\}$ , 其中  $Y^L$ 、 $Y^U$  为变量  $Y$  的最小值和最大值,

则称 $[Y^L, Y^U]$ 为区间型变量。区间型变量 $[Y^L, Y^U]$ 在时刻 $t$ 的观测值所构成的序列称为区间型时间序列,记作 $\{[Y_t^L, Y_t^U], t=1, 2, \dots, T\}$ ,其中 $\{Y_t^L, t=1, 2, \dots, T\}$ 和 $\{Y_t^U, t=1, 2, \dots, T\}$ 分别是下限序列和上限序列。

基于中点和极差法对区间型时间序列建立模型,是对区间过程的中点序列和极差序列分别建立自回归模型:

$$\begin{aligned} YC_t &= \beta_0^c + \sum_{i=1}^p \beta_i^c YC_{t-i} + u_t^c, \\ YR_t &= \beta_0^r + \sum_{i=1}^p \beta_i^r YR_{t-i} + u_t^r, \end{aligned} \tag{2}$$

其中 $\beta_i^c, \beta_i^r (i=0, 1, \dots, p)$ 分别为中点序列方程和极差序列方程的待估系数; $u_t^c$ 和 $u_t^r$ 为相应的随机误差项; $\{YC_t, t=1, 2, \dots, T\}, \{YR_t, t=1, 2, \dots, T\}$ 为区间型时间序列 $\{[Y_t^L, Y_t^U], t=1, 2, \dots, T\}$ 的中点序列和极差序列,即:

$$\begin{aligned} YC_t &= (Y_t^U + Y_t^L) / 2, \\ YR_t &= (Y_t^U - Y_t^L) / 2. \end{aligned} \tag{3}$$

如果中点序列和极差序列是非平稳序列,则差分后运用模型(2)建立自回归模型。进一步地,当下限序列 $\{Y_t^L, t=1, 2, \dots, T\}$ 和上限序列 $\{Y_t^U, t=1, 2, \dots, T\}$ 非平稳且存在协整关系时,将上下限之间协整关系引入中点序列和极差序列的误差修正模型(ECM):

$$\begin{aligned} \Delta YC_t &= \beta_0^c + \sum_{i=1}^p \beta_i^c \Delta YC_{t-i} + \gamma^c ECM_{t-1} + u_t^c, \\ \Delta YR_t &= \beta_0^r + \sum_{i=1}^p \beta_i^r \Delta YR_{t-i} + \gamma^r ECM_{t-1} + u_t^r, \end{aligned} \tag{4}$$

其中 $\Delta YC_t$ 和 $\Delta YR_t$ 分别是中点序列和极差序列的差分序列, $\beta_i^c, \beta_i^r (i=0, 1, \dots, p), u_t^c$ 和 $u_t^r$ 的含义同模型(2), $\gamma^c$ 和 $\gamma^r$ 为各自方程中误差修正项的待估系数,误差修正项 $ECM_{t-1}$ 是上下限间回归方程 $Y_t^U = \beta Y_t^L + u_t$ 中的残差项。

在协整模型基础上,引入区间型外生变量 $[X_t^L, X_t^U]$ ,构造带有外生变量的区间型误差修正模型(ECM-X)。此时,中点序列方程和极差序列方程为:

$$\begin{aligned} \Delta YC_t &= \beta_0^c + \sum_{i=1}^p \beta_i^c \Delta YC_{t-i} + \sum_{j=1}^s \delta_j^c X_{t-j} + \gamma_1^c ECM_{t-1} + u_t^c, \\ \Delta YR_t &= \beta_0^r + \sum_{i=1}^p \beta_i^r \Delta YR_{t-i} + \sum_{j=1}^s \delta_j^r X_{t-j} + \gamma_1^r ECM_{t-1} + u_t^r, \end{aligned} \tag{5}$$

其中 $\Delta YC_t, \Delta YR_t, \beta_i^c, \beta_i^r (i=0, 1, \dots, p), u_t^c, u_t^r, \gamma^c, \gamma^r$ 和 $ECM_{t-1}$ 的含义同模型(4), $XC_t$ 和 $XR_t$ 是区间型外生变量在 $t$ 时刻的中点和极差, $\delta_j^c$ 和 $\delta_j^r (j=1, 2, \dots, s)$ 为相应的待估系数,即:

$$\begin{aligned} XC_t &= (X_t^U + X_t^L) / 2, \\ XR_t &= (X_t^U - X_t^L) / 2. \end{aligned} \tag{6}$$

如果 $\{XC_t, t=1, 2, \dots, T\}, \{XR_t, t=1, 2, \dots, T\}$ 是非平稳序列,则对其进行差分后引入模型(5)。

## 2 实证分析

### 2.1 数据来源与预处理

本文以新造干散货船价格指数(bulk carrier newship price index)和二手干散货船价格指数(bulk carrier secondhand price index)为研究对象,数据来源于Clarksons(<https://www.clarksons.com/>)。上述价格指数为周度数据,分别将每个月内每周指数价格的最小值、最大值作为价格区间的下限 $Y_t^L$ 和上限 $Y_t^U$ ,基于周度数据构造月度区间值时间序列 $[Y_t^L, Y_t^U]$ ,得到的部分结果如表1所示,区间值时间序列如图1所示。新造干散货船价格指数的样本区间是2000年1月—2021年12月,二手干散货船价格指数的样本区间是2010年7

月—2021年12月。本文以2019年12月为分割点,分别将新造干散货船、二手干散货船价格指数划分为训练集和测试集。

表1 区间型干散货船价格指数示例  
Table 1 Examples on interval-valued prices of bulk carrier index

月份	新造干散货船		月份	二手干散货船	
	$Y_t^L$	$Y_t^U$		$Y_t^L$	$Y_t^U$
2000-01	107.43	107.87	2010-07	214.67	215.25
2000-02	108.10	108.60	2010-08	214.77	214.77
2000-03	108.73	108.85	2010-09	216.31	218.94
2000-04	108.80	109.42	2010-10	216.18	219.08
...	...	...	...	...	...

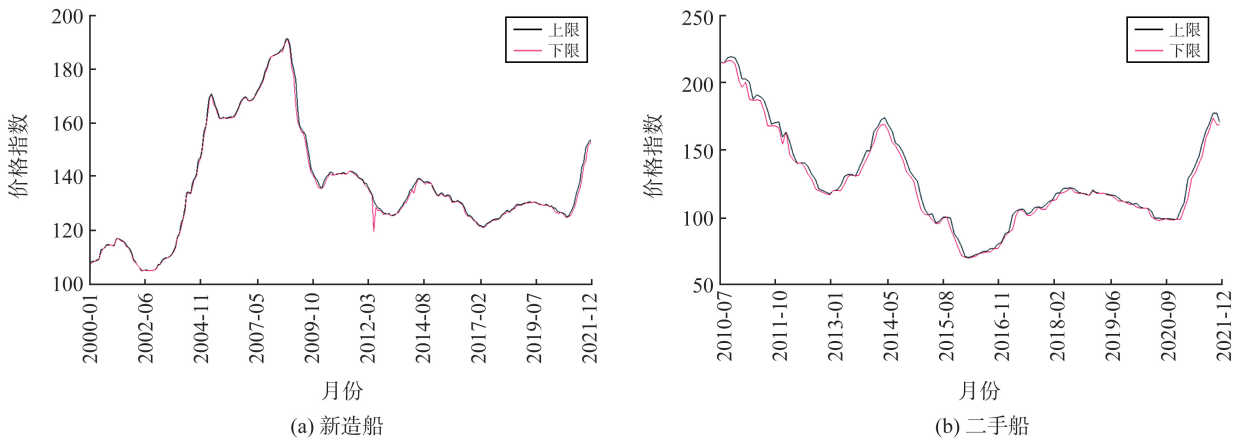


图1 干散货船区间价格时间序列图  
Fig.1 Interval-valued prices of bulk carrier

基于新造干散货船、二手干散货船价格指数的区间值时间序列计算得到中点序列  $\{YC_t, t=1, 2, \dots, T\}$  和极差序列  $\{YR_t, t=1, 2, \dots, T\}$ , 得到的2组序列均不平稳。差分后的中点序列和极差序列如图2和图3所示, 可见二手干散货船价格指数的波动范围远大于新造干散货船。

表2给出了新造干散货船和二手干散货船区间价格指数的下限、上限、中值和极差序列的基本统计分析。对于新造干散货船价格指数:(1) 区间值价格指数序列的下限、上限和中值变量在标准差、偏度和JB统计量方面特征较为相似;(2) 区间值价格指数序列的极差序列的峰度特征与其他变量有很大不同;(3) 除了区间值价格序列的极差差分变量外,其他变量的JB统计量值都较大,尤其是区间价格价差变量,表明这些区间点值属性变量不服从正态分布。对于二手干散货船价格指数,区间价格中值差分变量和极差差分变量的JB统计量值与其他变量不同。

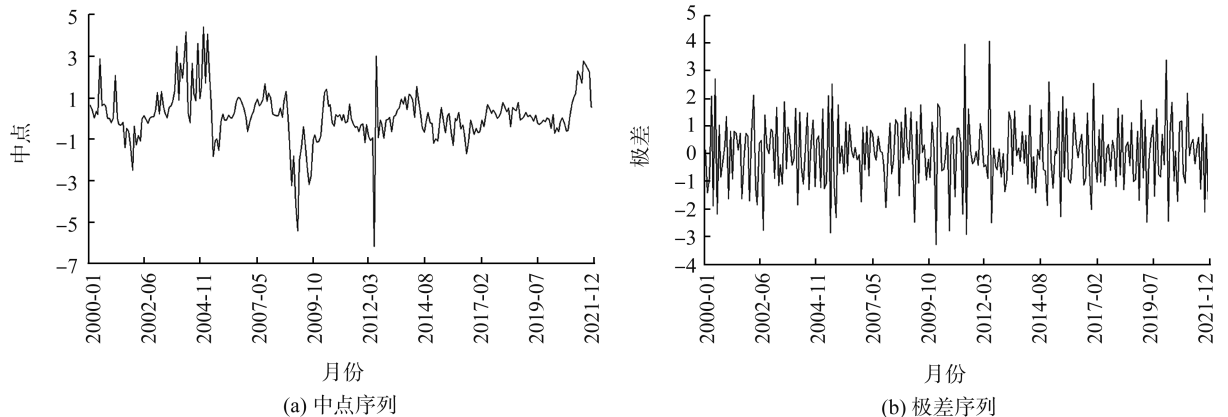


图2 新造干散货船价格指数差分后的中点序列(a)和极差序列(b)  
Fig.2 Bulk carrier newship price index difference of (a) center series and (b) range series

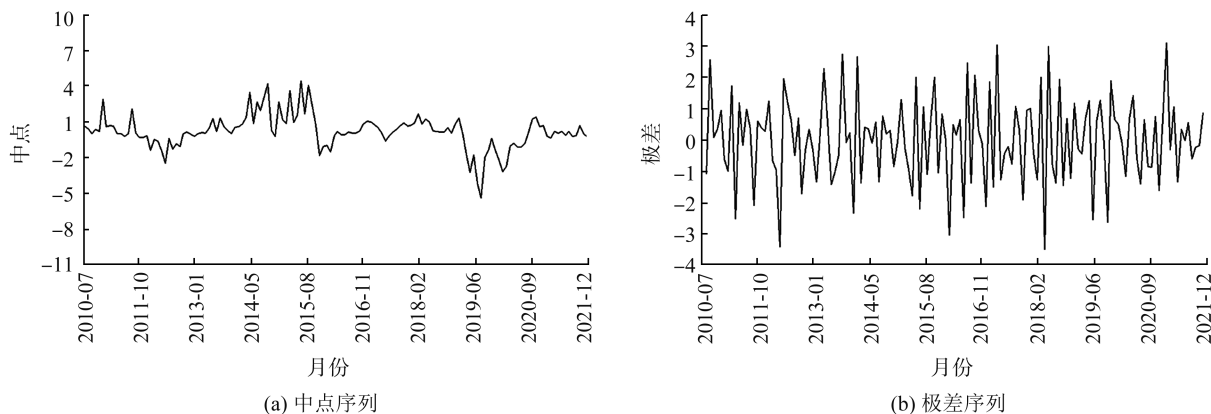


图 3 二手干散货船价格指数差分后的中点序列 (a) 和极差序列 (b)  
Fig.3 Bulk Carrier Secondhand Price Index difference of (a) center series and (b) range series

表 2 干散货船区间价格指数变量的基本统计分析  
Table 2 Descriptive statistics for interval prices of bulk barrier

船类	变量	均值	中值	最大值	最小值	标准差	偏度	峰度	JB 统计量	P 值
新造船	$Y_t^L$	136.55	130.94	191.21	105.23	20.71	0.80	0.03	28.68	0.00
	$Y_t^U$	137.19	131.40	191.58	105.36	20.90	0.78	-0.02	26.97	0.00
	$YC_t$	136.87	131.19	191.40	105.35	20.80	0.79	0.00	27.80	0.00
	$YR_t$	0.33	0.19	5.73	0.01	0.57	5.71	43.26	22 374.49	0.00
	$\Delta \ln YC_t$	0.14	0.08	4.42	-6.13	1.25	-0.36	4.91	276.86	0.00
	$\Delta \ln YR_t$	0.00	0.00	4.05	-3.29	1.26	0.10	0.07	0.53	0.76
二手船	$Y_t^L$	126.18	118.35	216.31	70.64	34.93	0.75	0.05	13.10	0.00
	$Y_t^U$	129.15	119.15	219.08	71.15	35.89	0.71	-0.09	12.03	0.00
	$YC_t$	127.67	118.66	217.63	70.90	35.38	0.73	-0.02	12.54	0.00
	$YR_t$	1.68	1.25	9.02	0.05	1.64	1.60	2.94	112.55	0.00
	$\Delta \ln YC_t$	-0.18	-0.26	10.91	-10.03	3.54	0.03	0.48	1.66	0.44
	$\Delta \ln YR_t$	0.02	0.10	3.10	-3.49	1.37	-0.08	-0.17	0.25	0.88

注:  $Y_t^L$ 、 $Y_t^U$ 、 $YC_t$  和  $YR_t$  分别表示干散货船区间价格指数的下限、上限、中值和极差,  $\Delta \ln YC_t$ 、 $\Delta \ln YR_t$  是  $YC_t$ 、 $YR_t$  的一阶差分。

对区间值干散货船价格指数序列上下限的平稳性检验结果如表 3 所示。在 0.05 显著性水平下, 新造干散货船区间型价格指数序列上下限  $\ln Y_t^U$  和  $\ln Y_t^L$  均为一阶单整序列, 同样二手干散货船区间型价格指数序列上下限也皆为一阶单整序列。进一步, 运用 Engle-Granger 检验方法对区间型价格序列的上下限进行协整检验, 检验结果表明, 新造干散货船区间型价格指数、二手干散货船区间型价格指数序列上下限之间均存在协整关系。

表 3 区间价格指数的协整检验结果  
Table 3 Results of the co-integration test on interval-valued price series

船类	变量	lag	ADF	P 值	结论	船类	变量	lag	ADF	P 值	结论
新造船	$\ln Y_t^U$	0	1.76	0.980	不平稳	二手船	$\ln Y_t^U$	0	-0.63	0.46	不平稳
		1	0.77	0.865	不平稳			1	-0.48	0.51	不平稳
	$\ln Y_t^L$	0	1.48	0.964	不平稳		$\ln Y_t^L$	0	-0.63	0.45	不平稳
		1	1.05	0.921	不平稳			1	-0.41	0.53	不平稳
	$\Delta \ln Y_t^U$	0	-7.70	$\leq 0.01$	平稳		$\Delta \ln Y_t^U$	0	-6.85	$\leq 0.01$	平稳
		1	-5.30	$\leq 0.01$	平稳			1	-4.34	$\leq 0.01$	平稳
$\ln Y_t^L$	0	-11.78	$\leq 0.01$	平稳	$\ln Y_t^L$	0	-6.63	$\leq 0.01$	平稳		
	1	-6.53	$\leq 0.01$	平稳		1	-4.63	$\leq 0.01$	平稳		
$u_t$	0	-12.54	$\leq 0.01$	平稳	$u_t$	0	-8.99	$\leq 0.01$	平稳		
	1	-8.53	$\leq 0.01$	平稳		1	-6.39	$\leq 0.01$	平稳		

注:  $u_t$  表示对数上下限的回归方程残差序列, lag 表示滞后阶数。

### 2.2 预测模型

对新造干散货船价格指数序列、二手干散货船价格指数序列,运用中点与极差方法分别建立自回归模型。基于 AIC (akaike information criterion)、BIC (bayesian information criterion) 等准则确定模型的阶数,使得 AIC、BIC 数值最小的模型阶数为  $p=1$  阶。进一步,将干散货船价格指数序列上下限之间的误差修正项引入预测模型中,运用 AIC、BIC 信息准则确定模型阶数,构建了  $p=1$  阶的区间误差修正模型。

在误差修正模型中引入外生变量时,本文选用的 FFA 是来自 Clarksons 数据库的巴拿马型。如图 4 所示,将巴拿马型 FFA 的价格序列转换为区间型时间序列,记为  $[X_t^l, X_t^u]$ ,其中  $X_t^l$  和  $X_t^u$  为当月内各周远期运费协议价格指数的最小值和最大值。进一步,计算得到中点序列  $XC_t$  和极差序列  $XR_t$  (如图 5 所示),并对中点序列  $XC_t$  和极差序列  $XR_t$  进行平稳性检验。检验结果表明两者均为非平稳时间序列,所以分别进行差分后引入误差修正模型。在引入外生变量后,由 AIC、BIC 信息准则确定的模型阶数为  $p=1$  阶。

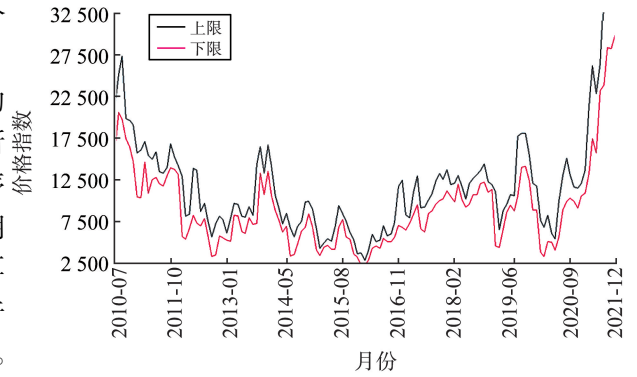


图 4 FFA 区间价格时间序列  
Fig.4 Interval-valued prices of FFA

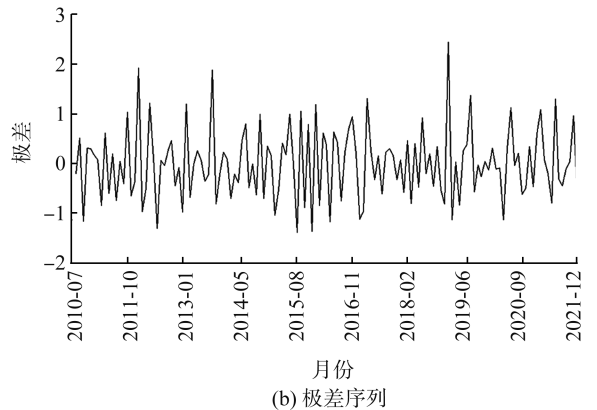
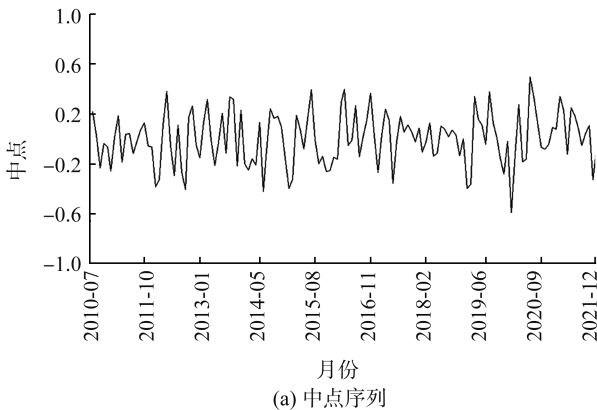


图 5 FFA 价格的中点序列(a)和极差序列(b)  
Fig.5 The FFA price (a) center series and (b) range series

模型结果如表 4 和表 5 所示。对于新造干散货船价格指数序列,误差修正项和 FFA 对价格水平影响显著,误差修正项对价格波动影响显著。对于二手干散货船价格指数序列,FFA 对于价格水平影响显著,误差修正项对价格波动影响显著。这种差异可能是由新造船和二手船各自的船舶性能、适应航运市场能力、价格波动程度不同等造成的,新造船是航运市场主要的运力供给来源,造价高昂且建造周期长,同新造船相比,二手船资本成本低,价格波动更为剧烈,能够迅速适应市场。

表 4 新造船价格指数区间时序模型估计结果

Table 4 Interval-valued time series models estimation results of bulk carrier newship price index

方程	变量	AR		ECM		ECM-X	
		系数	P 值	系数	P 值	系数	P 值
中点方程	$\beta_0^c$	0.032 8	0.313 8	0.033 7	0.307 8	0.034 1	0.304 5
	$\beta_1^c$	0.549 1***	0.000 0	0.541 8***	0.000 0	0.533 8***	0.000 0
	$\gamma^c$			-0.194 0***	0.013 4	-0.215 8***	0.007 1
	$\delta_1^c$					0.649 8*	0.024 6
极差方程	$\beta_0^r$	-0.014 7	0.416 8	-0.014 9	0.413 4	-0.014 9	0.413 6
	$\beta_1^r$	-0.510 6***	0.000 0	-0.578 8***	0.000 0	-0.578 8***	0.000 0
	$\gamma^r$			-0.343 2***	0.000 2	-0.343 1***	0.000 1
	$\delta_1^r$					-0.000 4	0.498 4

注: $\beta_0^c$ 、 $\beta_1^c$ 、 $\gamma^c$  和  $\delta_1^c$  为中点方程常数项、滞后项、误差修正项及 FFA 项的待估系数; $\beta_0^r$ 、 $\beta_1^r$ 、 $\gamma^r$  和  $\delta_1^r$  为极差方程各项对应的待估系数。\*\*\*、\* 分别表示 0.01、0.10 的显著性水平。

表 5 二手船价格指数区间时序模型估计结果  
Table 5 Interval-valued time series models estimation results of bulk carrier secondhand price index

方程	变量	AR		ECM		ECM-X	
		系数	P 值	系数	P 值	系数	P 值
中点方程	$\beta_0^c$	-0.234 2	0.181 1	-0.217 5	0.198 7	-0.216 4	0.186 7
	$\beta_1^c$	0.613 6***	0.000 6	0.643 1***	0.000 1	0.607 6***	0.000 1
	$\gamma^c$			0.128 6	0.132 2	0.159 1	0.073 2
	$\delta_1^c$					4.472 8***	0.000 1
极差方程	$\beta_0^r$	0.028 9	0.405 2	0.032 3	0.386 9	0.032 8	0.385 6
	$\beta_1^r$	-0.461 4***	0.000 1	-0.659 7***	0.000 0	-0.660 3***	0.000 0
	$\gamma^r$			-0.238 8***	0.000 1	-0.238 9***	0.000 1
	$\delta_1^r$					0.099 6	0.259 4

注: $\beta_0^c$ 、 $\beta_1^c$ 、 $\gamma^c$  和  $\delta_1^c$  为中点方程常数项、滞后项、误差修正项及 FFA 项的待估系数; $\beta_0^r$ 、 $\beta_1^r$ 、 $\gamma^r$  和  $\delta_1^r$  为极差方程各项对应的待估系数。\*\*\*、\* 分别表示 0.01、0.10 的显著性水平。

2.3 预测结果对比分析

基于中点和极差的预测值计算得到上下限的预测值  $\hat{Y}_t^L$  和  $\hat{Y}_t^U$ , 选取区间上下限的平均绝对误差  $MAE^L$ 、 $MAE^U$  和均方根误差  $RMSE^L$ 、 $RMSE^U$  作为评价指标<sup>[21]</sup>, 具体定义如下:

$$MAE^L = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |Y_t^L - \hat{Y}_t^L|,$$

$$MAE^U = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |Y_t^U - \hat{Y}_t^U|,$$

$$RMSE^L = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (Y_t^L - \hat{Y}_t^L)^2},$$

$$RMSE^U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (Y_t^U - \hat{Y}_t^U)^2},$$

其中,  $N$  是样本数量,  $MAE^L$ 、 $MAE^U$ 、 $RMSE^L$  及  $RMSE^U$  的数值越小, 对应模型的预测精度越高。

关于新造干散货船价格指数序列, 分别比较了个模型在训练集和测试集的预测效果。如表 6 中结果所示, 区间型误差修正模型以及带有 FFA 的区间型误差修正模型的  $MAE^L$ 、 $MAE^U$ 、 $RMSE^L$  及  $RMSE^U$  的数值均小于自回归模型的结果, 且带有外生变量 FFA 的区间型误差修正模型的评价指标数值最小。对比实验结果表明, 在引入误差修正项及外生变量 FFA 后, 模型的预测结果更为准确。

表 6 新造干散货船不同模型预测结果比较  
Table 6 Comparison results on the data of bulk carrier newship price index

评价指标	训练集			测试集		
	AR	ECM	ECM-X	AR	ECM	ECM-X
$MAE^L$	0.906 9	0.901 7	0.897 2	0.770 2	0.762 6	0.720 6
$MAE^U$	0.831 1	0.810 0	0.802 7	0.909 9	1.164 2	1.157 6
$RMSE^L$	1.701 8	1.694 5	1.666 8	0.981 1	0.948 0	0.939 7
$RMSE^U$	1.360 3	1.317 6	1.303 5	1.303 7	1.554 1	1.541 0

二手干散货船的预测结果如表 7 所示。对于训练数据, 区间型误差修正模型及带有 FFA 项的区间型误差修正模型的  $MAE^L$  和  $MAE^U$  数值均小于区间型自回归模型, 且带有外生变量 FFA 的区间型误差修正模型的  $RMSE^L$  和  $RMSE^U$  数值最小。对于测试数据, 综合各项评价指标, 区间型误差修正模型、带有 FFA 的区间型误差修正模型的预测表现较好。综上所述, 引入区间上、下限协整项的误差修正模型、带有外生变量 FFA 的区间型误差修正模型能够提升船舶价格指数的预测精度。

表 7 二手干散货船不同模型预测结果比较  
Table 7 Comparison results on the data of Bulk Carrier Secondhand Price Index

评价指标	训练集			测试集		
	AR	ECM	ECM-X	AR	ECM	ECM-X
$MAE^L$	2.343 6	2.120 1	2.165 8	2.896 4	2.800 2	2.766 6
$MAE^U$	2.997 3	3.102 3	2.640 8	2.452 1	2.398 8	2.355 6
$RMSE^L$	3.373 1	2.898 8	2.907 7	4.403 2	4.417 4	4.270 2
$RMSE^U$	4.199 5	4.385 4	3.836 2	3.540 3	3.569 0	3.371 9

### 3 总结

本文采用中点和极差方法对区间型时间序列建模并预测新造干散货船和二手干散货船价格指数,相比于经典的点值型时间序列,利用区间型时间序列预测船舶价格指数,不仅能反映船舶价格的均值水平还能反映其波动范围。通过对新船和二手船价格指数预测结果进行对比分析,得到如下结论:

(1)引入误差修正项可以很好地解释新造船价格的当期波动情况,这种波动既包括均值水平波动又包括价格范围波动;同时外生变量 FFA 对新造船价格指数的均值水平有积极影响。相比之下,误差修正项对二手船价格指数的波动范围有较好的短期修正效果;同时外生变量 FFA 对二手船价格指数的均值水平也有显著的积极影响。由此可见,无论是新造船还是二手船,FFA 对其价格均有积极的影响效果。

(2)通过 MAE 和 RMSE 等指标对区间性时序模型的预测结果进行比较,发现无论是新造船还是二手船,加入误差修正项及 FFA 的模型预测效果更好,与误差修正项和外生变量 FFA 对于船舶价格指数影响显著一致。

本文主要研究了船舶预期收入对船舶价格指数的影响,实际中的全球经济、国际贸易、运费价格、燃油价格、行业政策等多方面因素均会对船舶价格指数产生影响。在对船舶价格指数进行预测时,如何对影响因素进行更为全面的分析,借助于多元时间序列分析方法,推广应用区间型多元时间序列模型,以提升区间型时序模型对船舶价格指数的预测精度值得进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 陈继红,刘雯.基于协整和 VEC 模型的 VLCC 新造船价格波动性[J]. 数学的实践与认识,2016,46(24):69-78.  
CHEN Jihong, LIU Wen. Fluctuation of the price of newbuilding VLCC ships based on cointegration and VEC model[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2016, 46(24):69-78.
- [2] HER M T, CHUNG C C. Ship price predictions of panamax second-hand bulk carriers using grey models[J]. Journal of Marine Science and Technology, 2019, 27(3):229-234.
- [3] TGEODORE S, MICHAEL T. Support vector machine algorithms;an application to ship price forecasting[J]. Computational Economics, 2021, 57:55-87.
- [4] SYRIOPOULOS T, TSATSARONIS M, KARAMANOS I. Support vector machine algorithms;an application to ship price forecasting[J]. Computational Economics, 2021, 57:55-87.
- [5] GAO R, LIU J H, BAI X W, et al. Annual dilated convolution neural network for newbuilding ship prices forecasting[J]. Neural Computing and Applications, 2022, 34:11853-11863.
- [6] GAO R B, LIU J H, DU L, et al. Shipping market forecasting by forecast combination mechanism[J]. Maritime Policy and Management, 2022, 49(8):1059-1074.
- [7] WANG X, ZHANG Z, LI S. Set-valued and interval-valued stationary time series[J]. Journal of Multivariate Analysis, 2016, 145:208-223.
- [8] SUN Y Y, HAN A, HONG Y M, et al. Threshold autoregressive models for interval valued time series data[J]. Journal of Econometrics, 2018, 206(2):414-446.
- [9] MOORE R E. Interval analysis[D]. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1966.
- [10] LIMA N, DE CARVALHO F A. An exponential-type kernel robust regression model for interval-valued variables[J]. Information Sciences, 2018, 2018(454/455):419-442.
- [11] BILLARD L, DIDAY E. Regression analysis for interval-valued data & data analysis, classification and related methods[C]// Proceedings of the Seventh Conference of the International Federation of Classification Societies. Belgium: Springer, 2000: 369-374.
- [12] BILLARD L, DIDAY E. From the statistics of data to the statistics of knowledge: symbolic data analysis[J]. Journal of the American Statistical Association, 2003, 98(462):470-487.
- [13] NETO L E A, CARVALHO F A T. Center and range method for fitting a linear regression model to symbolic interval data [J]. Computational Statistics and Data Analysis, 2008, 52(3):1500-1515.
- [14] NETO L E A, CARVALHO F A T. Constrained linear regression models for symbolic interval-valued variables[J]. Computational Statistics and Data Analysis, 2010, 54(2):333-347.

- [15] HAN A, HONG Y M, WANG S Y, et al. A vector autoregressive moving average model for interval-valued time series data [J]. *Advances in Econometrics*, 2016, 36:417-460.
- [16] YANG W, HAN A, WANG S Y. Analysis of crisis impact on crude oil prices: a new approach with interval time series modelling[J]. *Quantitative Finance*, 2016, 16(12):1917-1928.
- [17] 杨威,韩艾,汪寿阳.基于区间型数据的金融时间序列预测研究[J]. *系统工程学报*,2016,31(6):817-831.  
YANG Wei, HAN Ai, WANG Shouyang. Research on financial time Series prediction based on interval data[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2016, 31(6):817-831.
- [18] 陈炜,徐慧琳,汪寿阳,等.基于误差修正与分解的区间值股价时间序列预测研究[J]. *系统工程理论与实践*,2023,43(2):383-397.  
CHEN Wei, XU Huilin, WANG Shouyang, et al. Error correction and decomposition method for forecast of interval-valued stock price time series[J]. *Systems Engineering-Theory and Practice*, 2023, 43(2):383-397.
- [19] 闵德权,张鑫,崔琪.远期运费协议与新造船市场的波动溢出效应研究[J]. *中国水运*, 2019, 19(12):37-39.  
MIN Dequan, ZHANG Xin, CUI Qi. A study on volatility spillover effects of forward freight agreements and new shipbuilding market[J]. *China Water Transport*, 2019, 19(12):37-39.
- [20] 杨芊,林国龙,丁一. FFA 市场与二手船市场的波动溢出效应[J]. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*, 2015, 39(5):1001-1004.  
YANG Qian, LIN Guolong, DING Yi. Volatility spillover effects between forward freight market and second-hand ship market [J]. *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering)*, 2015, 39(5):1001-1004.
- [21] 陶志富,刘金培,朱家明,等.区间值时间序列预测效果测度研究[J]. *模糊系统与数学*,2018,32(4):135-144.  
TAO Zhifu, LIU Jinpei, ZHU Jiaming, et al. Study on measurement of interval-value time series prediction effect[J]. *Fuzzy Systems and Mathematics*, 2018, 32(4):135-144.

(编辑:于善清)

(上接第114页)

- [20] 张桂涛,王广钦,赵欣语,等.碳配额交易体系下闭环供应链网络的生产与碳交易策略研究[J]. *中国管理科学*, 2021, 29(1):97-108.  
ZHANG Guitao, WANG Guangqin, ZHAO Xinyu, et al. Production and carbon trading strategy of closed-loop supply chain network under cap-and-trade system[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2021, 29(1):97-108.
- [21] 杨翱.不同碳配额分配方式的中国经济波动效应研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2022, 39(6):81-99.  
YANG Ao. Study on China's economic fluctuation under different carbon quota allocation methods[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2022, 39(6):81-99.
- [22] 巫瑞,夏西强,曾庆丽.碳配额分配方式对碳减排影响对比分析[J]. *工业技术经济*,2023,42(2):37-47.  
WU Rui, XIA Xiqiang, ZENG Qingli. Comparative analysis of the effect of carbon quota allocation on carbon emission reduction[J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2023, 42(2):37-47.
- [23] NAGURNEY A, DONG J, ZHANG Ding. A supply chain network equilibrium model[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2002, 38(5):281-303.
- [24] YANG Lu, ZHANG Jun, SHI Xiutian. Can blockchain help food supply chains with platform operations during the COVID-19 outbreak? [J]. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2021, 49:101093.
- [25] NIU Baozhuang, MU Zihao, CAO Bin, et al. Should multinational firms implement blockchain to provide quality verification? [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2021, 145:102121.
- [26] NAGURNEY A, ZHAO L. Variational inequalities and networks in the formulation and computation of market equilibria and disequilibria: the case of direct demand functions[J]. *Transportation Science (INFORMS)*, 1993, 27(1):4-15.

(编辑:祁业卿)