

# 中国出口集装箱主要航线运价指数波动研究

王维莉\*, 尹斯恬, 王逸文

(上海海事大学 物流研究中心, 上海 201306)

**摘要:** 随着航运市场的不断发展, 中国出口集装箱运价指数 (CCFI) 作为衡量全球集装箱航运市场状况的重要指标, 对其波动特征的研究有助于航运市场参与者更好地把握市场动态, 制定有效的市场策略。针对 CCFI 波动受到多方面因素影响的问题, 本文聚焦 CCFI 的构成, 选取 5 条具有代表性的主要航线, 首先采用粒子群自适应优化的改进完全自适应噪声集合经验模态分解 (ICEEMDAN) 算法对各航线运价指数进行分解; 其次, 结合方差贡献率将分量重构为高频和低频部分。最后, 利用 BEKK GARCH 模型对选定航线的原始序列及分解重构后的 3 组序列做波动效应分析, 获得不同航线市场间的波动关系。研究表明, 重大事件冲击对 CCFI 波动影响深远, 而短期市场行为和突发事件影响程度较小、持续时间短且频率高, 所有航线运价指数的趋势项之间均存在双向溢出效应, 且这种效应相互传导。

**关键词:** 水路交通经济; 波动特征; 改进的自适应噪声完全集合经验模态分解; 中国出口集装箱运价指数; 波动溢出效应

中图分类号: F550.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-4653.2026.02.009

## Study on fluctuation rules of CCFI main routes based on empirical mode decomposition

Wang Weili\*, Yin Sitian, Wang Yiwen

(Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** With the continuous development of the shipping market, the China Containerized Freight Index (CCFI) serves as an important indicator for measuring the state of the global container shipping market, and research on its fluctuation characteristics is conducted to help market participants better grasp market dynamics and formulate effective market strategies. To address the issue that CCFI fluctuations are influenced by multiple factors, this paper focused on the composition of the CCFI, selected five major representative routes. First, decomposed the freight index of each route using the Improved Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise (ICEEMDAN) algorithm optimized by particle swarm adaptation. Second, reconstructed the components into high-frequency and low-frequency parts based on the variance contribution rate. Finally, the BEKK-GARCH model was used to analyze the volatility effects of the original series and the three groups of reconstructed series for the selected routes, and the volatility relationships between different route markets were obtained. The research results show that the impact of major events on CCFI fluctuations is profound, while the impact of short-term market behaviors and sudden events is smaller in magnitude, shorter in duration and higher in frequency; bidirectional spillover effects exist among the trend terms of the freight indices of all routes, and these effects are transmitted to one another.

**Key words:** waterway transportation economy; volatility characteristics; ICEEMDAN; CCFI; volatility spillover effect

收稿日期: 2025-04-10

基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFC2302800) 资助

作者简介: 王维莉 (1987—), 女, 博士, 副教授, 研究方向为物流工程与管理等。\* 通信作者: wllwang@shmtu.edu.cn

引用格式: 王维莉, 尹斯恬, 王逸文. 中国出口集装箱主要航线运价指数波动研究 [J]. 中国航海, 2026, 49(2): 78-86.

Wang W L, Yin S T, Wang Y W. Study on fluctuation rules of CCFI main routes based on empirical mode decomposition [J]. Navigation of China, 2026, 49(2): 78-86. (in Chinese)

中国出口集装箱运价指数(China Containerized Freight Index, CCFI)作为衡量我国集装箱运价变动情况的客观指标,在很大程度上反映了全球运输市场的变化趋势。该指数的编制综合考量了中国出口集装箱运往世界各地航线的繁忙程度、货运量、运输需求等因素,选择了包括美西、欧洲等在内的12条代表性航线作为样本。这些航线的权重分配依据各自航线的运费水平和箱量数据确定,并依据拉式公式进行计算而得。由于构成CCFI的12条航线所覆盖的国家和地区各不相同,运价指数的波动受到多重复杂因素的影响。因此,从各分支航线的视角进行深入分析,有助于更全面地了解集装箱航运市场的动态。掌握CCFI的波动规律,不仅有助于航运市场参与者更好地把握市场动态,也为政府部门对我国集装箱航运市场宏观调控提供了重要的决策参考依据。

现有关于航运运价指数的研究大多聚焦于干散货运价指数(Baltic Dry Index, BDI)和油轮运价指数(Baltic Exchange Dirty Tanker Index, BDTI)<sup>[1-5]</sup>, CCFI的研究相对较少。Cai等<sup>[6]</sup>将航运市场视为一个复杂系统,并基于网络特征建立了加权路由模型,提出了一种新的考虑权重分布特性的动态航运指标计算方法。除编制研究外,CCFI的相关研究主要围绕影响因素分析、波动特性及运价预测等方面展开<sup>[7-9]</sup>。汤霞等<sup>[10]</sup>借助符号动力学和经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EMD)的方法,研究CCFI的波动规律,发现集装箱运价波动表现群簇性、周期性、持续性和渐进性的特点,呈现较为规则的正弦波动模式,并存在4年大周期和1年小周期的波动规律。曹睿<sup>[11]</sup>利用差分整合移动平均自回归模型(Autoregressive Integrated Moving Average model, ARIMA)分析CCFI未来的走势。Tu等<sup>[12]</sup>收集了可能影响整体航运市场的六个因素,结合深度神经网络、CatBoost回归模型和鲁棒回归构建分析和预测框架对CCFI开展研究。李琳<sup>[13]</sup>利用集合经验模态分解分析了不同频率下CCFI与宏观影响因素的关系以及新冠疫情防控前后的变化。从分支航线的视角来看,相关研究较为稀缺。郑宇坤等<sup>[14]</sup>构建向量自回归(Vector Autoregression, VAR)模型,以研究中国出口集装箱市场中美东航线运价与中美贸易差额之间的相关性。

综上所述,CCFI的波动特性非常复杂。一方面,多数研究所选用的模型对时间序列数据的要求较高,往往需要在指数平稳化处理后才能应用,这一过程可能会损失原始序列的某些特性。同时,传统

的EMD等方法分解效果难以衡量,且存在模态混叠和残余噪声等问题<sup>[15-17]</sup>。另一方面,当前对CCFI的研究多集中在综合运价指数的整体波动特性分析,而对分支航线视角的研究则相对不足。然而,构成CCFI的航线数量、重要程度和航线之间的关系并非相互独立,一成不变的。当某条航线的贸易量、繁忙程度发生变化或受到重大事件冲击时,固定的权重使得CCFI无法准确反映这种变化对全球集装箱航运市场的影响。因此,有必要加强对分支航线运价波动特性及联动效应的深入探讨<sup>[18-20]</sup>,以更全面地理解CCFI的复杂性和动态性。

受到部分航线历史数据缺失以及时间和篇幅限制,本文依据计算CCFI时各分支航线的权重大小,选取对整体指数具有决定性影响的5条主要航线(占总体权重的70%),包括欧洲航线、美西航线、美东航线、地中海航线和东南亚航线。通过ICEEMDAN算法和BEKK-GARCH模型研究CCFI集装箱航运市场各组成部分的波动特性及子市场间的溢出效应。本研究的结果以期能为航运市场参与者提供有益的洞见,帮助他们更好地把握市场动态,从而制定有效的市场策略。

## 1 模型构建

### 1.1 ICEEMDAN

EMD是由HUANG等人在1998年提出的一种将信号分解成特征模态,主要应用于信号去噪领域的算法。ICEEMDAN则是基于EMD改进的一种新颖的自适应模态分解方法,该方法通过引入高斯白噪声进行分解,有效缓解了EMD模态混叠和残余噪声问题,得到纯净的固有模态函数,提高信号分解的稳定性和准确性,其具体步骤如下。

令航线运价指数为 $x$ ,ICEEMDAN算法分解步骤如下。

1) 在原始信号 $x$ 中加入高斯白噪声 $\omega_i$ ,此时待分解信号 $x_i$ 为

$$x_i = x + \beta_0 \mathbf{E}_1(\omega_i) \quad (1)$$

式(1)中: $\beta_0$ 为白噪声系数, $\mathbf{E}_1(\omega_i)$ 为分解后的第一个分量。

2) 通过EMD计算局部均值,获得第一阶段残差 $r_1$ 后将原始信号 $x$ 减去首个残差 $r_1$ 获得第一个模态分量 $U_1$ ,即

$$r_1 = \mathbf{M}(x_i) \quad (2)$$

$$U_1 = x - r_1 \quad (3)$$

3) 向 $r_1$ 添加白噪声得到 $r_1 + \beta_1 \mathbf{E}_2(\omega_i)$ , $\beta_1$ 为第一次分解加入的白噪声系数,计算第二阶段残差

的局部均值,得到第二阶段残差  $r_2$  和分量  $U_2$  为

$$r_2 = \mathbf{M}(r_1 + \beta_1 \mathbf{E}_2(\omega_i)) \quad (4)$$

$$U_2 = r_1 - r_2 \quad (5)$$

4) 以此类推,获得第  $k$  个残差时,在第  $k-1$  个残差中加入噪声,则第  $k$  阶段的残差  $r_k$  和分量  $U_k$  分别为

$$r_k = \mathbf{M}(r_{k-1} + \beta_{k-1} \mathbf{E}_k(\omega_i)) \quad (6)$$

$$U_k = r_{k-1} - r_k \quad (7)$$

5) 重复上述步骤直至满足停止条件,迭代终止。

由于 ICEEMDAN 算法的分解效果受到白噪声幅值权重和噪声添加次数的影响,因此采用粒子群算法(Particle swarm optimization, PSO)对这两个参数进行优化,设置种群规模和参数优化范围,利用 ICEEMDAN 分解信号,将包络熵作为适应度函数,当适应度值越小时,说明信号的分解效果越理想,以此确定最优参数组合,获得最佳  $U$  分量。

## 1.2 BEKK-GARCH 模型

本文采用 BEKK-GARCH(1,1) 模型来检验 CCFI 及其航运子市场间的波动溢出效应,其基本模型如下。

$$Y_t = \partial \mathbf{X}_t + \boldsymbol{\varepsilon}_t, \quad \boldsymbol{\varepsilon}_t | I_{t-1} \sim N(0, \mathbf{H}_t) \quad (8)$$

式(8)中,  $\mathbf{X}_t$  为解释变量;  $\partial$  为待估系数;  $\boldsymbol{\varepsilon}_t$  为服从正态分布的残差向量;  $I_{t-1}$  为  $t-1$  期的信息集。

式(9)  $\mathbf{H}_t$  表示条件协方差矩阵,使用 *Vech* 将协方差矩阵  $\mathbf{H}_t$  向量化,则

$$h_t = \text{Vech}(\mathbf{H}_t) \quad (9)$$

由此, GARCH(1,1) 模型可以记作

$$h_t = \mathbf{C} + \sum_{k=1}^K [(\mathbf{A}_k \otimes \mathbf{A}_k) \text{Vech}(\mathbf{H}_{t-1})] + \sum_{k=1}^K [(\mathbf{B}_k \otimes \mathbf{B}_k)_T \text{Vech}(\boldsymbol{\varepsilon}_{t-i} \boldsymbol{\varepsilon}_{t-i}^T)] \quad (10)$$

式(10)中,  $\mathbf{C}$  是一个常数项向量,  $\mathbf{A}_k, \mathbf{B}_k$  是系数矩阵,  $\text{Vech}(\mathbf{H}_{t-1})$  是上一期的协方差矩阵的向量化,  $\text{Vech}(\boldsymbol{\varepsilon}_{t-i} \boldsymbol{\varepsilon}_{t-i}^T)$  是上一期差外积的向量化。

本文使用 BEKK 形式的方差方程为

$$\mathbf{H}_t = \mathbf{C}\mathbf{C}' + \mathbf{A}\boldsymbol{\varepsilon}_{t-1}\boldsymbol{\varepsilon}'_{t-1}\mathbf{A}' + \mathbf{B}\mathbf{H}_{t-1}\mathbf{B}' \quad (11)$$

式(11)中,  $\mathbf{A}$  是 ARCH 效应系数矩阵,  $\mathbf{B}$  是 GARCH 效应系数矩阵,  $\mathbf{C}$  是下三角常数矩阵。

## 2 实证分析

### 2.1 数据选取

CCFI 当前由 12 条分支航线依据各自不同的权重综合计算得出。本文聚焦于其中权重占比较高的 5 条航线,以深入探讨这些航线和相关区域间运价差异的根源以及航运市场的动态变化。选取

Clarkson 统计的 2008 年 1 月至 2024 年 1 月共计 193 期月度数据作为分析对象。选取的运价指数走势图如图 1 所示。

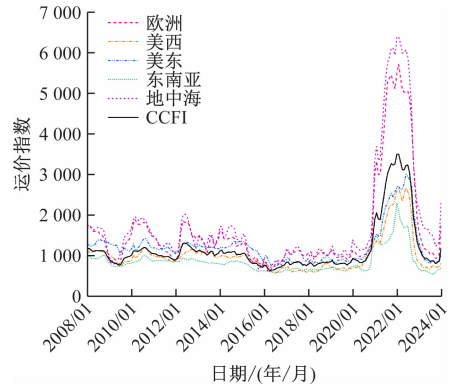
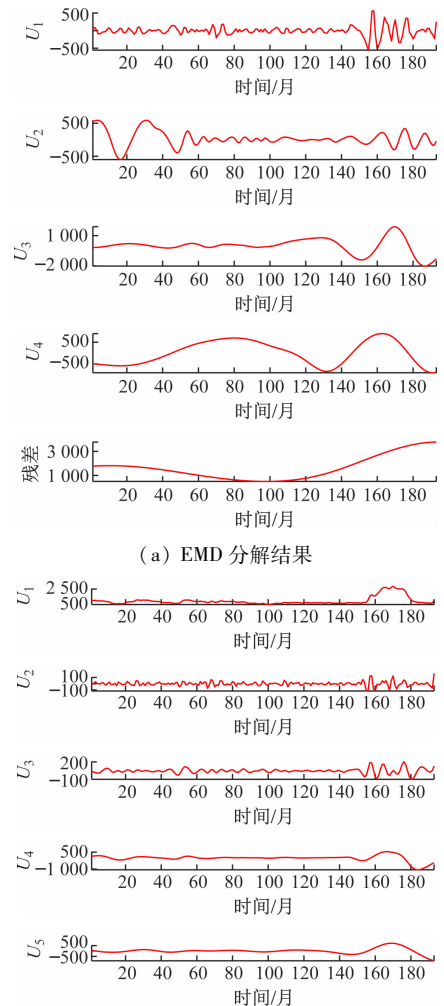


图1 CCFI 和主要航线运价指数走势图

Fig.1 CCFI and main route freight index chart

### 2.2 分解方法对比

为了验证本文选取的 ICEEMDAN 算法有效性,将 ICEEMDAN 方法与传统 EMD 和 EEMD 进行对比,在综合航线代表性和波动幅度两个因素后,选取欧洲航线作为对比方法的研究对象,三种分解方法的分解结果如图 2 所示。



(a) EMD 分解结果

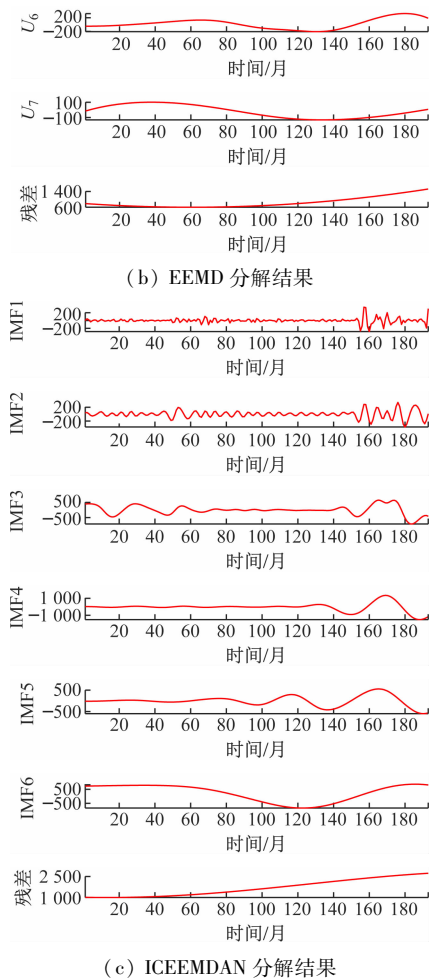


图2 3种方法分解结果对比

Fig.2 Comparison of the three decomposition results

从分解结果可以看出,传统的EMD算法存在较

表1 三种分解结果IMF分量相关性对比

Tab.1 Correlation comparison of IMF components among the three decomposition results

分解方法	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$	$U_7$	$U_8$
EMD	0.103	0.156	0.479	0.381	0.555	—	—	—
EEMD	0.979	0.090	0.308	0.451	0.265	0.175	0.067	0.012
ICEEMDAN	0.093	0.111	0.609	0.627	0.604	0.308	0.401	—

### 2.3 指数分解与重构

ICEEMDAN的最大迭代次数设置为100,利用PSO优化ICEEMDAN的两个关键参数,设置幅值权重的优化范围为 $[0.15, 0.6]$ ,噪声添加次数优化范

为严重的模态混叠;EEMD通过添加白噪声平滑信号来减少模态混叠的问题,但分解出的IMF分量( $U_1$ )幅值很大,这说明EEMD错误地将低频趋势作为高频成分分解至 $U_1$ 中,以新冠疫情防控时期为例,欧洲运价指数受到这一全球事件及多种因素冲击,2020年1月运价上涨至2022年2月达到峰值,EEMD方法分解出的高频分量仅体现大体趋势,未能很好表征突发事件对运价指数波动的影响;而本文选取的ICEEMDAN方法在有效缓解模态混叠的基础上,更进一步提升对航线市场突发事件的表征能力,通过对分解出的IMF分量做相关性检验进一步量化分解结果。

本文以0.5为界,相关系数小于0.5为弱相关,相关系数大于或等于0.5为显著相关,分解最后一个IMF分量为趋势项。由表1可知,EMD方法中 $U_5$ 大于0.5,表明 $U_5$ 与原始信号高度相关,其余分量均呈现弱相关,进一步说明EMD方法存在模态混叠问题导致前面分量可能含有噪声。EEMD方法分解出的 $U_1$ 与原始信号高度相关,后续的IMF分量相关性逐渐降低,这可能意味着 $U_1$ 捕捉了大部分信号,后续则更多包含噪声和细节部分。ICEEMDAN方法分解出的 $U_3 \sim U_5$ 相关系数均较高,这意味着ICEEMDAN在分解时能更有效地将不同成分分离,平衡不同层级信号,分解更加细致。综合上述讨论,我们选择ICEEMDAN方法对主要航线运价指数进行分析。

围为 $[50, 600]$ ,将最大迭代数设置为20,种群规模定义为10,以最小包络熵作为适应度函数,基于PSO算法优化得到的不同航线。ICEEMDAN算法的最优参数组合如表2所示。

表2 ICEEMDAN最优参数组合

Tab.2 ICEEMDAN Optimum parameter combination

最优参数组合	欧洲	美东	美西	地中海	东南亚	CCFI
白噪声幅值权重	0.15	0.15	0.6	0.15	0.15	0.15
噪声添加次数	600	50	484	50	94	50

将针对不同航线经过 PSO 优化后得到的参数代入 ICEEMDAN 算法中,获得若干个 IMF 分量,计算这些分量的方差贡献率,即不同分量方差对原始

序列方差之比,根据计算结果对分解出的 IMF 分量进行高低频的判别,计算结果见表 3。

表 3 CCFI 主要航线 IMF 分量方差贡献率

Tab. 3 IMF component variance contribution rate of CCFI main routes

单位:%

IMF 分量	欧洲	美东	美西	地中海	东南亚	CCFI
$U_1$	0.348	0.302	0.255	0.365	1.485	0.244
$U_2$	0.759	1.105	0.900	0.701	6.891	0.676
$U_3$	8.605	12.726	3.484	6.527	11.243	20.623
$U_4$	16.077	16.118	37.345	17.280	14.761	9.472
$U_5$	4.198	1.851	7.877	3.049	2.426	1.038
$U_6$	27.594	3.951	9.057	32.583	24.463	33.506
$U_7$	—	13.723	—	—	—	—

结合分量的具体数据和特征,将方差贡献率第一次显著增长的 IMF 分量作为分界点,重构出高频和低频部分,见图 3 和图 4,分解所得的余项即为运价指数的长期趋势。

#### 1) 高频分量:航运市场的短期影响

将 CCFI 及选取的 5 条航线经分解重构后的高频分量作为研究对象,分量走势如图 3 所示。

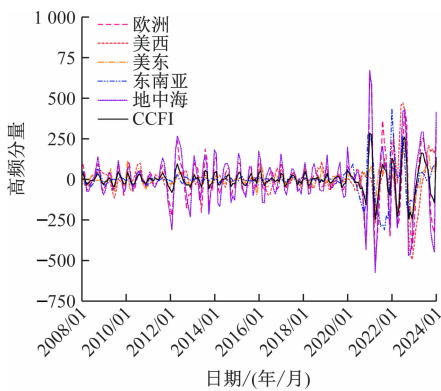


图 3 CCFI 和主要航线高频分量走势

Fig. 3 High-frequency components diagram of CCFI and major routes

影响中国出口集装箱航运市场运价指数波动的主要因素包括航运市场投机行为、原油价格波动、突发天气状况等短期或突发性事件。这些因素对原始序列的波动影响通常具有持续时间短、影响程度有限和发生频率高的特点。而高频分量则主要映射了这些因素的影响效应,代表了集装箱航运市场的正常波动。

如图 3 所示,高频部分围绕零均值呈现上下波动的态势,表明运价指数受短期事件影响的均衡性。

通过对比图中 6 条曲线可以看出,航线运价指数高频分量的波动方向基本一致。另外,受到全球性重大事件影响时,波动幅度也随之增大,这反映了航运市场的动态变化过程。

#### 2) 低频分量:航运市场重大事件影响

将经分解重构后的 CCFI 及选定的 5 条航线的低频部分作为研究对象,分量走势如图 4 所示。

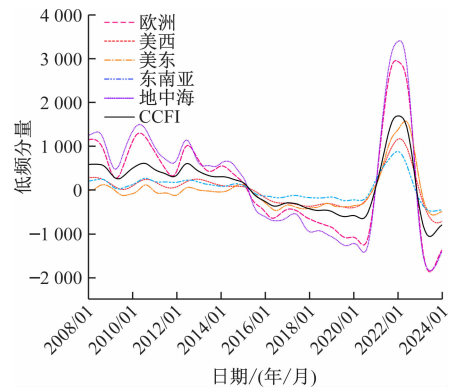


图 4 CCFI 和主要航线低频分量走势

Fig. 4 Low-frequency components diagram of CCFI and major routes

由于提取的低频分量不包括趋势项,因此该部分主要反映了运价指数的中长期波动特性。其主要驱动因素包括宏观经济环境变化等集装箱航运市场上的重大事件,这些事件通常具有发生频率低、持续时间长的特点。

总体来看,低频分量相较于高频分量具有更低的频率和更好的规律性。在图 4 中,去除高频波动后,低频分量更加平滑,且在零均值上下波动的幅度更大,这进一步证实了低频分量受重大事件影响的显著性及其较长的持续周期。横向对比来看,尽管

选取的航线都受到重大事件的影响,且影响趋势一致,但影响程度各有不同。2014年以后,由于航运企业对经济发展过于乐观,投资冲动,船舶订单成倍增长,同时航运市场需求低迷,运力严重过剩引发恶性竞争,导致 CCFI 长期处于低位,供需失衡集中爆发,且很多国家采取的货币政策越发宽松,刺激更多企业投放运力。因此,深入分析低频分量的变化特征对于评估航运市场上重大事件对运价指数的影响程度和持续时间具有重要意义。

### 3) 趋势项:航运市场的潜在趋势

CCFI 及选取的 5 条航线经分解所得余项如图 5 所示。

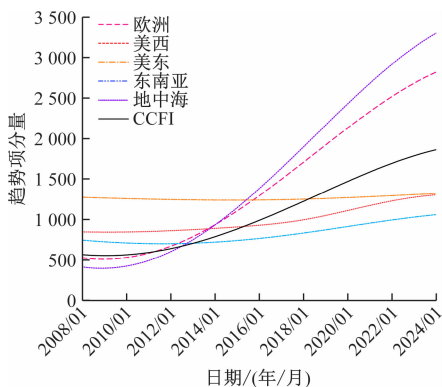


图 5 CCFI 和主要航线趋势项走势

Fig. 5 Trend diagram of CCFI and major routes

趋势项反映了原始序列中的长期趋势,是航线运价指数波动过程中的主要组成部分。分解得到的趋势项部分准确地捕捉到了航线运价指数的长期运行趋势。进一步分析显示,趋势项部分主要受世界经济形势的影响。

从图 5 可以看出,选定的航线整体呈现稳定上升趋势,其中,欧洲和地中海航线运价指数涨幅最大,其他三个子航线涨幅同 CCFI 综合运价指数相近。2012 年以后,全球经济复苏,尤其是欧元区在经历一段时间的经济低迷后开始恢复增长,集装箱运输需求上升,运价上涨。

## 3 波动溢出效应

本文采用 BEKK-GARCH 模型,对 CCFI 主要航线市场运价指数的原始序列、高频、低频及趋势项波动部分进行波动溢出效应分析,借此分析出口集装箱不同航线市场间的关系。

考虑到当前国际形势动荡,航运市场中可能存在更多非对称效应和极端事件(如新冠病毒感染疫情防控、地缘政治、政府政策等),采用 Zivot-Andrews 方法检验序列平稳性,并对非平稳序列做一阶差分

处理,最终构建 CCFI 主要航线原始序列及不同分量间的波动溢出网络如图 6 所示。

在 5% 的显著性水平下,不同集装箱航运市场间的溢出效应结果如图 6 所示。从图 6 中可以看出,所有航线运价指数的低频分量和趋势项之间都存在双向溢出效应,表明所有航线都受到宏观环境的影响,且这种影响相互传导。逐个分析不同航线市场原始序列及经分解重构后的高低频间的波动溢出情况,结果如下。

1) 欧洲航线。欧洲航线在原始序列层面仅对地中海和美东航线存在波动溢出,但在高频分量中,欧洲对美西航线产生溢出,在低频和趋势项分量中,欧洲航线对所有航线都产生波动溢出效应,这表明本文采用的 ICEEMDAN 算法能够有效挖掘运价指数间潜在的关系。不管是原始序列还是重构后分量,欧洲和地中海、美东航线间均存在双向波动溢出,表明欧洲航线上短期或长期的任一波动都可能影响美东和地中海航线的波动,同时这两条航线上发生的供需关系变动或重大事件都可能反馈至欧洲航线。

2) 美东航线。从图 6 可以看出,美东集装箱航运市场在原始序列、高频、低频分量及长期趋势上都受到其他航线市场的波动影响,表明美东航线与全球其他航线都存在着高度的关联性。当其他 4 条航线发生波动时,均会影响美东市场的运作,而当美东航线发生重大事件时,波动也会同步反馈到其他航线。在高频部分,虽然美东对地中海航线不存在波动溢出,但两者在原始序列及长期趋势项中均呈现双向溢出效应,表明美东航线的短期供需变化并未对地中海航线产生冲击,地中海受到美东航线冲击大多源于重大事件,这也反映了区域供应链的调整。

3) 美西航线。美西和除欧洲以外的另外 3 条航线在原始序列及各个分量上均存在双向波动溢出效应,表明美西和地中海、东南亚以及美东航线间不论是短期还是长期的波动都会相互影响和反馈。尽管在原始运价指数层面,美西和欧洲航线仅存在单向溢出效应,但在分解重构后的分量层面上,美西和欧洲均存在双向的波动溢出效应,这也说明虽然美西对欧洲的短期冲击显著,但中长期由欧洲主导。

4) 东南亚航线。虽然原始序列中地中海对东南亚航线存在单向波动溢出,但显著性较弱,高频部分由东南亚航线反向主导,反映了东南亚航线的短期供需对地中海航线的波动影响,长期则继续由地中海航线主导,可能是源于资源和地缘政治的依赖性;另外,随着新兴市场的崛起,虽然东南亚和美西

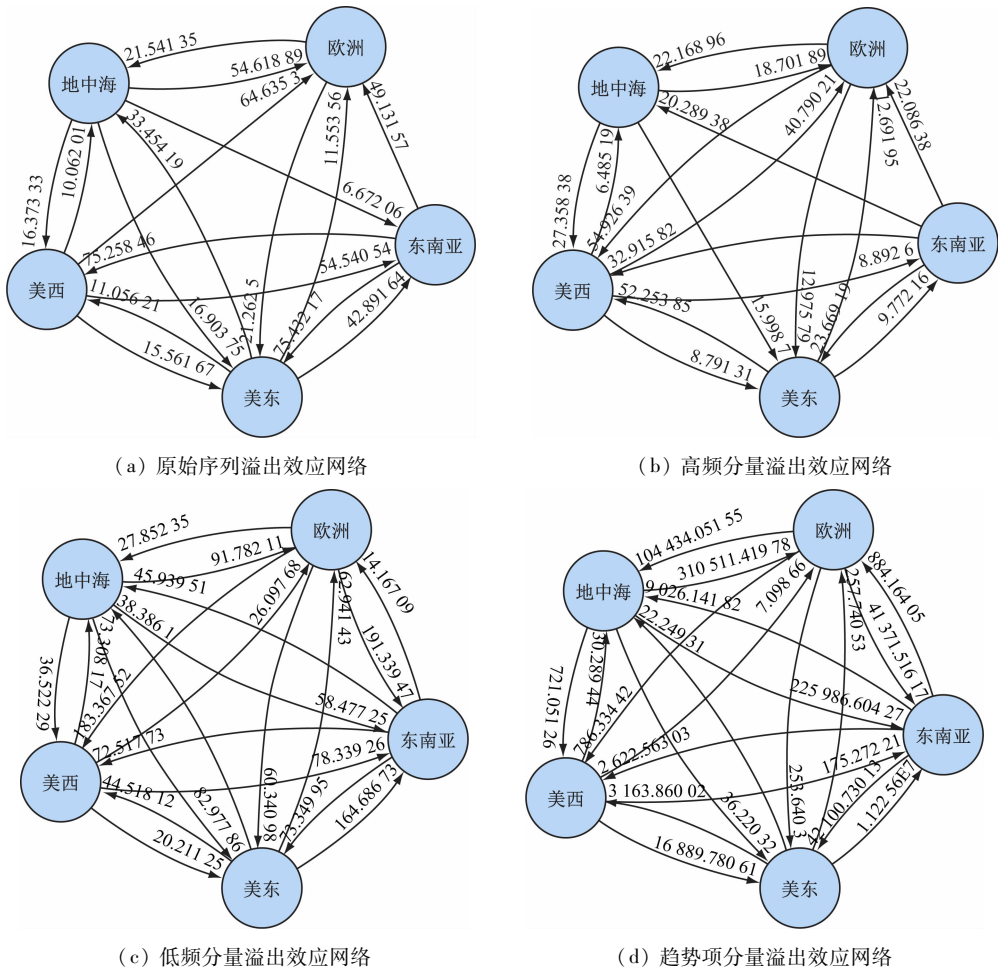


图 6 CCFI 主要航线市场间的波动溢出网络图

Fig. 6 Volatility spillover network diagram between major CCFI route markets

航线在短期波动中存在不对称性,但受重大事件的冲击双向均衡,趋势部分则由东南亚航线主导。

5) 地中海航线。在原始序列和低频部分中,地中海航线的波动均会传导至其他选定航线,这表明地中海航线与其他航线间密切联系,其运价指数的变动或受到重大事件冲击时,均可能对其余任何一条航线产生即时或延迟的反应。在高频分量中,地中海和美东和东南亚航线间仅存在单向波动影响,说明地中海对美东以及东南亚对地中海的供需影响为单向,而在长期趋势中,地中海航线受到美东航线上发生的重大事件影响,同时,地中海航线受到重大事件冲击时也会影响东南亚航线的变动。当地中海航线受到突发事件影响时,对美西航线的反馈更强,而重大事件的冲击则由美西航线主导,反映了区域贸易周期期间的差异。

## 4 结束语

基于选定的构成 CCFI 的 5 条主要航线运价指数,本研究从数据驱动的视角出发,通过

ICEEMDAN 算法将原始运价指数分解成高频分量、低频分量和趋势项,对 CCFI 的波动特性进行分析,接着利用 BEKK-GARCH 模型对原始序列及重构出的分量做波动溢出效应分析,探究不同航线市场间的波动关系,主要结论如下:

1) 基于 CCFI 主要航线运价指数的非平稳性,采用 ICEEMDAN 算法最大限度地保留了运价指数数据特征的同时,通过对重构分量的分析,揭示了集装箱航运市场短期受市场供需、长期受重大事件的影响以及航运市场整体呈上升趋势的特征。

2) 不同航线经分解重构后的分量波动方向基本一致,但同一事件对不同航线的影响程度和持续时间均存在差异(如金融危机、新冠疫情防控、地缘政治等)。

3) 根据波动溢出结果,各航线运价指数趋势项间均存在双向溢出效应,表明所有航线都受到宏观环境的影响,且这种影响在不同航线间相互流动。

4) 综合所有时间尺度可以发现,东南亚和美东、东南亚和美西间的波动溢出效应最强;美东和欧

洲航线间双向均衡溢出,长期趋势对称。

本文研究有助于市场参与者和政府部门准确预测运价趋势,深入分析其波动规律。未来研究可通过分析不同分量与其他经济指标之间的关系,来判断宏观经济对CCFI的不同影响。

### 参 考 文 献

- [1] 武华华,匡海波,孟斌,等. 基于EMD-WA模型的BDI指数波动周期特征研究[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(6): 1586-1598.  
Wu H H, Kuang H B, Meng B, et al. Study on the periodic characteristics of BDI index based on EMD-WA model [J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2018, 38(6): 1586-1598. (in Chinese)
- [2] 贾红雨,周晨昕,王宇涵,等. 中国沿海散货运价指数波动特性研究[J]. 统计与决策, 2021, 37(3): 158-161.  
Jia H Y, Zhou C X, Wang Y H, et al. Study on fluctuation characteristics of China coastal bulk freight rate index [J]. Statistics and Decision, 2021, 37(3): 158-161. (in Chinese)
- [3] 贾红雨,周晨昕,王宇涵,等. 基于EEMD-PSO-LSSVM的中国沿海散货运价指数预测[J]. 大连海事大学学报, 2020, 46(1): 107-113.  
Jia H Y, Zhou C X, Wang Y H, et al. Prediction of China coastal bulk freight index based on EEMD-PSO-LSSVM [J]. Journal of Dalian Maritime University, 2020, 46(1): 107-113. (in Chinese)
- [4] 蓝贤钢. 国际油价影响下航运运价指数预测研究——基于SVR-Adam-LSTM模型分析[J]. 价格理论与实践, 2023(1): 74-78.  
Lan X G. Prediction of shipping freight index under the influence of international oil price—based on SVR-Adam-LSTM model [J]. Price: Theory and Practice, 2023(1): 74-78. (in Chinese)
- [5] Michail N A, Melas K D, Cleanthous L. The relationship between shipping freight rates and inflation in the Euro Area [J]. International Economics, 2022, 172: 40-49.
- [6] Cai W X, Liang F F, Wan Y C, et al. An innovative approach for constructing a shipping index based on dynamic weighted complex networks [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2021, 578: 1-13.
- [7] 李博. 中国出口集装箱运价指数研究述评与未来展望[J]. 对外经贸, 2021(4): 35-39.  
Li B. Review and prospect of China's export container freight index [J]. Foreign Trade, 2021, (4): 35-39. (in Chinese)
- [8] 靳志宏,邢磊,蔡佳芯,等. 集装箱空箱调运问题研究综述[J]. 大连海事大学学报, 2021, 47(1): 52-60.  
Jin Z H, Xing L, Cai J X, et al. Review on empty container repositioning [J]. Journal of Dalian Maritime University, 2021, 47(1): 52-60. (in Chinese)
- [9] Xu Y S, Zhuang X Y. Container shipping scheduling method based on the evidence reasoning approach in fluctuating CCFI and BDI cycle [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2022(1): 1-10.
- [10] 汤霞,匡海波,郭媛媛,等. 基于复杂网络的中国出口集装箱运价指数波动规律[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20(2): 26-32.  
Tang X, Kuang H B, Guo Y Y, et al. Fluctuation patterns of china export containerized freight index based on complex network theory [J]. Transportation Systems Engineering and Information, 2020, 20(2): 26-32. (in Chinese)
- [11] 曹睿. 基于ARIMA模型的中国出口集装箱运价指数波动预测及分析[J]. 现代商业, 2022(27): 35-38.  
Cao R. Prediction and analysis of fluctuation of China's export container freight index based on ARIMA model [J]. Modern Business, 2022 (27): 35-38. (in Chinese)
- [12] Tu X Y, Yang Y L, Lin Y, et al. Analysis of influencing factors and prediction of China's containerized freight index [J]. Frontiers in Marine Science, 2023, 10: 1-12.
- [13] 李琳. 中国出口集装箱运价指数影响因素的实证研究[J]. 海洋经济, 2024, 14(5): 18-26.  
Li L. An empirical study on the influencing factors of China's export container freight index [J]. Marine Economics, 2024, 14(5): 18-26. (in Chinese)
- [14] 郑宇坤,柯菲. 中国出口集装箱美东航线运价指数与中美贸易差额的相关性研究[J]. 中国商论, 2022, (14): 49-52.  
Zheng Y K, Ke F. Research on the correlation between china containerized freight index of e/c america service and China-US Trade balance [J]. Chinese Journal of Commerce, 2022, (14): 49-52. (in Chinese)
- [15] 陈哲洋,王健. 基于变分模态分解的中国主要集装箱港口碳排放组合预测[J]. 中国航海, 2024, 47(4): 138-145.  
Chen Z F, Wang J. Carbon emission combined prediction of main ports in China based on variational modal decomposition [J]. Navigation of China, 2019, 47(4): 138-145. (in Chinese)
- [16] 陈爱午,王红卫. 基于HBA-ICEEMDAN和HWPE的行星齿轮箱故障诊断[J]. 机电工程, 2023, 40(8):

- 1157-1166.
- Chen A W, Wang H W. Fault diagnosis of planetary gearbox based on HBA-ICEEMDAN and HWPE [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2023, 40(8): 1157-1166. (in Chinese)
- [17] Chen, Yan H, Liu B, et al. Analysing and forecasting China containerized freight index with a hybrid decomposition-ensemble method based on EMD, grey wave and ARMA [J]. Grey Systems: Theory and Application, 2021, 11(3): 358-371.
- [18] 张倩, 曲晨蕊, 曾庆成. 基于经验模式分解的原油运价指数波动[J]. 中国航海, 2019, 42(1): 129-134.
- Zhang Q, Qu C R, Zeng Q C. Volatility of tanker freight rates by empirical mode decomposition [J]. Navigation of China, 2019, 42(1): 129-134. (in Chinese)
- [19] 张欣, 林晓彬. 基于复杂网络的国际油轮运价波动传导特征[J]. 中国航海, 2024, 47(4): 87-96.
- Zhang X, Lin X B. Conductivity characteristic of international tanker rate fluctuations based on complex networks [J]. Navigation of China, 2024, 47(4): 87-96. (in Chinese)
- [20] Shao Y J, Chou H C, Wu C C. Return lead-lag and volatility transmission in shipping freight markets [J]. Maritime Policy & Management, 2014, 41 (7): 697-714.
- 
- (上接第60页)
- [21] 陈前海, 徐照明, 侯卫国. 长江澄通河段综合整治规划要点及实施效果分析 [J]. 人民长江, 2013, 44(21): 12-15.
- Chen Q H, Xu Z M, Hou W G. Comprehensive harnessing guideline for Chengtong Reach of Yangtze River and its implementation effect [J]. Yangtze River, 2013, 44(21): 12-15. (in Chinese)
- [22] 朱巧云, 刘传杰, 刘桂平, 等. 长江下游通州沙西水道整治工程效果分析 [J]. 水运工程, 2020(6): 106-112.
- Zhu Q Y, Liu C J, Liu G P, et al. Regulation engineering effect of west waterway of Tongzhou Shoal in lower reaches of the Yangtze River [J]. Port & Waterway Engineering, 2020 (6): 106-112. (in Chinese)
- [23] 张玮, 陈乾阳, 倪兵. 通州沙西水道整治工程对通州沙河段潮流量影响研究 [J]. 科学技术与工程, 2013, 13(6): 1520-1525.
- Zhang W, Chen Q Y, Ni B. A Study on impact on discharge of Tongzhousha reach caused by the regulation project of west Tongzhousha Waterway [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(6): 1520-1525. (in Chinese)
- [24] 张玮, 倪兵, 陈乾阳. 长江澄通河段通州沙西水道整治工程对分流比影响研究 [J]. 水道港口, 2013, 34(1): 39-44.
- Zhang W, Ni B, Chen Q Y. Research on influence of regulation works on diversion ratio of Tongzhousha west channel in Chengtong reach, Yangtze River [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2013, 34(1): 39-44. (in Chinese)
- [25] 倪兵, 何瑞, 张玮. 通州沙河段西水道航道疏浚尺度选择研究 [J]. 水道港口, 2014, 35(6): 608-612.
- Ni B, He R, Zhang W. Study on dredging scale of Tongzhousha west channel [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2014, 35(6): 608-612. (in Chinese)
- [26] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 太仓—南通河段底沙输移特征及其对深水航道的影响研究 [R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2015.
- China Communications Shanghai Waterway Survey and Design Institute Co., LTD.. Research on the characteristics of sediment transport in the taicang-Nantong River section and its impact on deep water Channels [R]. Shanghai: China Communications Shanghai Waterway Survey and Design Institute Co., LTD., 2015. (in Chinese)
- [27] 长江航道规划设计研究院. 长江南京以下12.5米深水航道养护跟踪观测分析报告(2024年度) [R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2024.
- Changjiang Waterway Institute of Planning and Design. Analysis report on maintenance tracking observation of 12.5-meter deep water channel of the Yangtze River Below Nanjing (2024) [R]. Wuhan: Changjiang Waterway Institute of Planning and Design, 2024. (in Chinese)