

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2025.0115

航运智能化对集装箱船舶营运成本的影响

曹越¹, 朱文凤², 王育红², 赵丹^{2*}

(1.宁波城市职业技术学院 商学院, 浙江 宁波 315100; 2.宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 鉴于当前智能航行等科技进步对航运业营运成本影响的研究多集中在定性层面, 因此从行业角度出发, 采用智能航行相关专利数据来表征技术进步, 并选定集装箱船型作为研究对象, 通过构建超越对数成本函数模型, 对技术进步影响集装箱远洋运输营运成本的程度进行量化分析。结果表明, 平均航运相关科技水平每提升 1%, 集装箱船舶平均营运成本下降 0.673%, 此成效主要得益于航运智能化水平的提高以及船舶大型化带来的规模效益。

关键词: 技术进步率; 智能船舶; 营运成本; 超越对数成本函数

中图分类号: U6-9

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2025) 06-0105-07

海运凭借其运量大、成本低等优势在全球贸易体系中占据着关键地位, 然而高昂的人力及燃料成本、航行安全性等问题长期困扰着航运从业者^[1]。幸运的是, 以新兴技术应用为代表的新一轮产业革命为以上困境带来了曙光^[2]。近年来, 有关智能航行技术开发和应用取得了显著进展。德国、挪威、瑞典等 5 个国家在 2012 年联合开展了“基于智能网络的海上无人航行”项目研究^[3]; 英国 Rolls-Royce 公司与瑞典 Stena Line 公司签署协议, 合作研发船舶智能感知系统, 并于 2018 年完成首航。

新技术在航运领域的产业化应用, 其经济可行性是决定行业能否实现可持续发展的关键要素。Kretschmann 等^[4]研究发现, 智能船舶相较于传统船舶可节省约 6% 的燃料消耗; Kooij 等^[5]同样指出, 随着技术的发展, 未来智能船舶可大幅度降低船舶配员, 从而有效降低人力成本。但也有学者^[6]认为, 技术进步对产业经济发展的影响并不显著, 这是因为新技术在实际应用中初始投入成本较高, 且其普及程度受限于航运业整体发展水平。从长期发展趋势来看, 近 50 年来的海运成本持续以每年 2.1% 的速度逐年下降, 在 2017 年已降低至 0.019 6 美元/(t·n mile)^[7]。包张静等^[8]基于 40 万 t 超大型矿砂船

(VLOC) 的实证研究显示, 智能 VLOC 相较于传统船舶的净现值增加了 2.87%; Kooij 等^[9]进一步计算得出, 集装箱单船运营成本会随着智能化程度的提升降低 1.1%~15%, 并且此优势随着船舶智能化程度提升而愈加显著。然而, 当前航行智能化带来成本优势的相关研究多数仍聚焦于单船营运成本的影响测算, 尚未从行业整体层面深入剖析对航运业成本结构的全面影响。

本文从行业视角出发, 以集装箱船为核心研究对象, 利用航行智能化技术相关专利数据作为行业技术进步的科学表征, 定量测算 2000—2019 年航运智能化技术进步率, 进而通过构建超越对数成本函数模型来深度刻画航行智能化技术应用对集装箱远洋运输营运成本的潜在影响。研究结果有助于完善航运智能化技术进步率的理论研究, 并为航运智能化发展方向提供经验证据。

1 方法与数据分析

1.1 航运智能化技术进步率的科学表征

航运智能化技术进步在本文中特指新发明、新技术在航运工具上的直接应用, 不包括对航运经济活动的间接效应。Moore^[10]首先提出了技术进步可

收稿日期: 2025-01-14

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(72401148); “科创甬江 2035”重点研发计划国际科技合作项目(2024H032)

第一作者: 曹越, 助教, 主要研究方向为供应链管理。E-mail: 572047658@qq.com

*通信作者: 赵丹, 副教授, 主要研究方向为智慧物流、港口管理。E-mail: zhaodan@nbu.edu.cn

以随着时间的推移被量化表示, 相关公式如下:

$$q_{ij} = q_{0ij} e^{k_{ij}} \quad (1)$$

式中: q_{ij} 表示 t 时刻 i 指标下 j 领域内的相应技术水平; q_{0ij} 表示初始时刻 i 指标下 j 领域内的技术水平; k_{ij} 为时间周期 t 时刻 i 指标下 j 领域内的平均技术进步率; e 为自然常数。

考虑到新技术推广应用存在的时间滞后性^[11], 因此本文采用航运智能化技术相关专利数来反映航运业技术的变化规律^[12], 以避免因使用时间序列在捕捉技术变化时可能会引入的潜在偏差。

具体指标描述如下: (1) 技术进步规模, 以简单专利数来衡量, 指样本周期内航运智能化相关技术发明专利的授权数量; (2) 技术进步质量, 用专利被引频率来表征, 即航运智能化相关技术发明专利发布后 3 年内被引比例; (3) 技术进步价值, 通过非专利文献平均引用率 (NPL) 体现, 该指标为航运智能化技术相关发明专利的 NPL 在总引用中的平均占比。

鉴于智能航运技术的复杂性, 参考中国航海协会发布的《船舶智能航行系统等级划分与技术水平评定》, 将智能船舶相关技术进一步细分为 8 个子领域。通过查询 PatSnap 全球专利数据库, 将专利指标进行统计分析, 计算出不同指标下航运智能化各子领域的技术进步率, 结果见表 1。

此外, 为充分反映不同新技术对航运智能化推动作用的差异性, 本研究还借助熵值法明确了各子领域在技术进步规模 (k_{1j})、质量 (k_{2j}) 和价值 (k_{3j}) 三方面的权重, 以此明晰各项指标对行业整体智能化发展的影响程度。如图 1 所示, 2000—2019 年期间, 航运智能化技术进步集中表现在态势感知、

多系统兼容、信息传输和避碰决策等四个领域。其中, 多系统兼容和信息传输技术发展已进入相对成熟阶段, 各种数据能够大范围地被收集、存储、共享, 系统内各种终端借助信息传输技术能实现协同作业。基于此背景, 以航行态势感知和智能化避碰决策为代表的航行安全已成为智能化发展的重要方向之一。

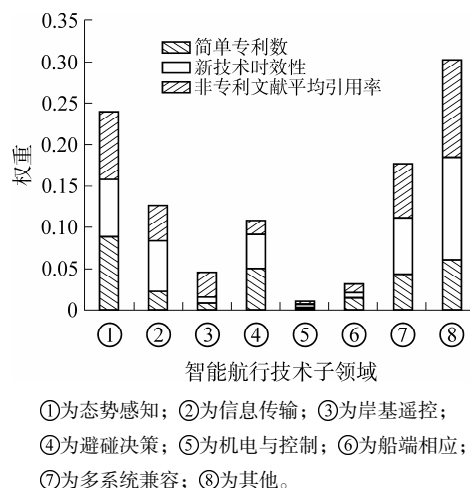


图1 航运智能化子领域技术进步权重分布

航运智能化技术进步率 (K) 算式如下:

$$K = \sum_j s_j \left(\sum_i k_{ij} \cdot x_{ij} \right) \quad (2)$$

式中: s_j 为各子领域技术进步所占权重; k_{ij} 为平均技术进步率; x_{ij} 为各子领域技术进步在规模、质量和价值方面所占权重。计算得出在 2000—2019 年, 航运智能化技术进步率为 7.88%。

1.2 超越对数成本函数模型的构建

超越对数成本函数是量化技术进步经济影响研究中的主流方法, 具有无须对要素替代弹性作先

表1 专利数据指标统计分析

技术子领域	简单专利/件	专利被引 频率/%	非专利文献 引用率/%	技术进步率/%		
				k_{1j}	k_{2j}	k_{3j}
态势感知	9 883	13	24	9.03	7.59	7.43
信息传输	10 632	16	23	6.97	5.96	6.58
岸基遥控	10 364	26	11	7.21	6.25	7.05
避碰决策	9 387	86	13	9.15	6.48	7.89
机电与控制	8 426	31	4	10.24	5.14	8.46
船端响应	24 924	23	4	9.10	1.19	5.75
多系统兼容	4 446	29	5	9.32	3.28	8.91
其他	47 000	57	8	10.61	7.49	9.96

验假设,也不必设定特定生产函数等优势。该函数将要素价格作为内生解释变量,从生产成本最小化视角出发,在时间维度上系统反映技术进步带来的影响^[13-15]。

遵循基本的成本函数规范,投入要素除资本、劳动力及燃油以外,还涵盖船舶经营中的维修保养、保险及管理活动投入。鉴于超越对数函数系数呈指数增长特性,因此将投入要素分为固定成本和可变成本两类。固定成本指资本投入,可变成本包括燃油、人力和中间要素等成本。模型中可变成本价格(P_V)由可变成本与当年货运周转量的比值计算得出,同理可得固定成本价格(P_F)。航运智能化水平(K)采用前文中的专利数据来表征。此外,基于集装箱运输作业的显著规模效应^[16],引入单船平均运力变量(Z)来反映船舶大型化对船舶营运成本的影响,该变量被定义为当年集装箱航运业总运力与营运集装箱船舶数量的比值。参考现有运输产出的相关研究^[17],选择货运周转量为产出水平变量(Y)。结合集装箱航运业单位平均营运成本的特点,文中货运周转量特指单位运力的年周转量。

综上所述,在给定产出水平(Y)和现有技术条件(Z 和 K)下,假定集装箱航运实现成本最小化的要素投入组合。基于此,可将集装箱航运产出水平函数设定为

$$Y = f(F, V, K, Z) \quad (3)$$

式中: F 为固定成本投入要素; V 为变动成本投入要素。根据对偶理论,对应上述生产函数的总成本函数(T_c)为

$$T_c = f(P_i, K, Z, Y) \quad (4)$$

式中: P_i 为对应于投入要素指标 i 的价格向量。

从长远来看,基于式(4)的成本函数假设,航运公司目标是实现总营运成本最小化,而非可变投入水平。在计量经济学分析中,由于投入水平属于企业自主选择变量,若直接估计生产函数可能违反回归变量的严格外生性假设,即存在多因素同时对产出水平和投入选择产生影响。因此通过在成本函数框架中引入投入价格变量,则能够有效避免上述计量问题。此外,为提升模型估计的可操作性,可将式(4)改写为如下形式:

$$\ln T_c = \beta_0 + \sum_i \beta_i \ln P_i + \beta_Y \ln Y + \beta_Z \ln Z +$$

$$\beta_K \ln K + \frac{1}{2} \sum_i \beta_{ii} (\ln P_i)^2 + \frac{1}{2} \beta_{YY} (\ln Y)^2 +$$

$$\frac{1}{2} \beta_{ZZ} (\ln Z)^2 + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K)^2 +$$

$$\frac{1}{2} \sum_i \sum_{j, j \neq i} \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j + \sum_i \beta_{iY} \ln Y \ln P_i +$$

$$\sum_i \beta_{iZ} \ln Z \ln P_i + \sum_i \beta_{iK} \ln K \ln P_i + \beta_{YZ} \times$$

$$\ln Y \ln Z + \beta_{YK} \ln Y \ln K + \beta_{ZK} \ln Z \ln K \quad (5)$$

式中: $i, j = F, V$; β_0 为常数项; β_i 、 β_Y 、 β_Z 、 β_K 、 β_{ii} 、 β_{YY} 、 β_{ZZ} 、 β_{KK} 、 β_{ij} 、 β_{iY} 、 β_{iZ} 、 β_{iK} 、 β_{YZ} 、 β_{YK} 、 β_{ZK} 为待估参数。为保证成本函数二次可微且满足对称性,由Slutsky对称条件可得 $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ 。

为确保要素投入价格的一阶齐次性和要素价格的零次齐次性,对成本函数进行以下限制:

$$\sum_i \beta_i = 1 \quad (6)$$

$$\sum_i \beta_{ij} = \sum_i \beta_{iY} = \sum_i \beta_{iK} = \sum_i \beta_{iZ} = 0 \quad (7)$$

为进一步缓解模型中存在的共线性问题,根据Shephard引理,对可变要素价格的对数进行微分,即投入要素成本份额的方程式如下:

$$S_i = \frac{P_i Y_i}{V_c} = Y_i \frac{P_i}{V_c} = \frac{\partial V_c}{\partial P_i} \frac{P_i}{V_c} = \frac{\partial \ln V_c}{\partial \ln P_i} = \beta_i +$$

$$\sum_j \beta_{ij} \ln P_j + \beta_{iY} \ln Y + \beta_{iZ} \ln Z + \beta_{iK} \ln K \quad (8)$$

超越对数成本函数中,要素的成本分摊额比例(S_i)为某要素成本占总成本的比例,即

$$\sum_i S_i = 1 \quad (9)$$

技术进步的总体贡献可通过成本对航运智能化技术水平的弹性系数(E)来衡量,其经济含义定义为当航运智能化技术进步幅度每变动1%时,集装箱船舶行业平均营运成本相应变化的百分比。该弹性系数可通过对式(5)求偏导数获得:

$$E = \frac{\partial \ln T_c}{\partial \ln K} = \beta_K + \beta_{KK} \ln K + \sum_i \beta_{iK} \ln P_i + \beta_{YK} \ln Y + \beta_{ZK} \ln Z \quad (10)$$

基于式(10),全球集装箱航运业在智能化发展趋势下,不同生产要素对营运成本的影响可进一步分解为绝对智能化技术贡献(E_K)、投入要素成本价格贡献(E_P)、船舶大型化技术贡献(E_Z)和

产出要素贡献 (E_Y)。具体公式如下:

$$E_K = \beta_K + \beta_{KK} \ln K \quad (11)$$

$$E_P = \sum_i \beta_{iK} \ln P_i \quad (12)$$

$$E_Z = \beta_{YK} \ln Y \quad (13)$$

$$E_Y = \beta_{ZK} \ln Z \quad (14)$$

E_K 通常被视为技术进步对成本效率的中性影响,具体反映在航运智能化技术进步对提高航行、导航、信息感知、航速规划等营运活动效率的影响。与 E_K 相比,式(12)~(14)描述了航运智能化对营运成本的非中性影响, E_P 解释了通过改变投入要素价格对营运成本的影响, E_Z 刻画了对集装箱运输规模经济效应产生的影响, E_Y 则反映了单位运力产出变化对船舶总营运成本的贡献程度。

2 计量经济学结果

2.1 数据来源及处理

基于集装箱航运业的行业特性和数据可获取性,以 2000—2019 年全球集装箱航运业为评价单位构造面板数据,其中,平均单位运力周转量作为产出指标,年航运业均摊固定成本和营运期间产生的可变成本作为投入要素价格,此外还选取航运智能化技术进步水平和集装箱船舶单船平均运力作为技术变量。具体指标来源见表 2。

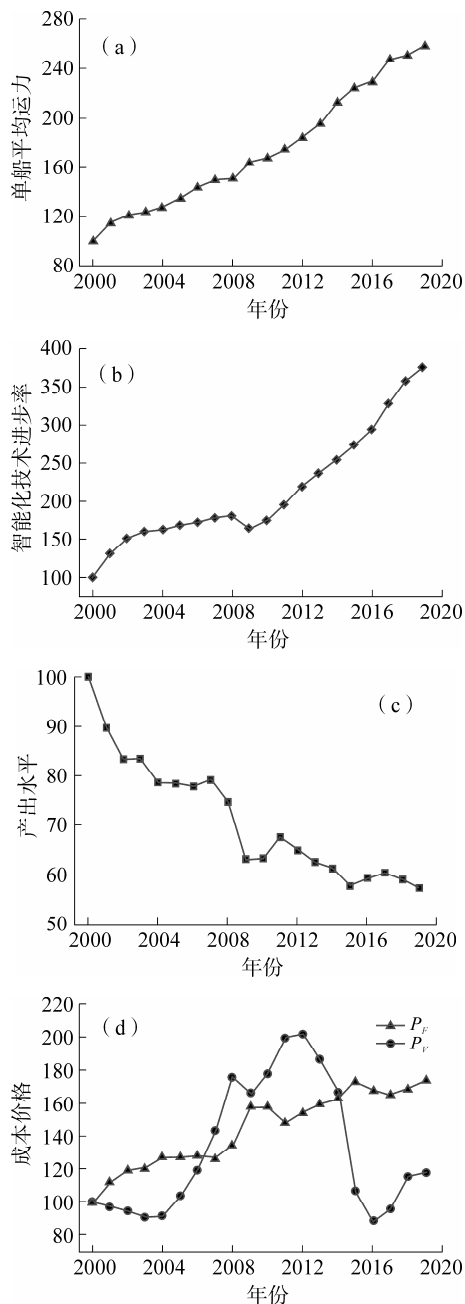
表 2 超越对数成本函数模型影响因素

项目	变量符号	指标	数据来源
投入要素	P_F	单位周转量所需资金成本	《Review of maritime transport》
		单位周转量所需可变成本	
	P_V	单位周转量所需可变成本	《Shipping operating costs: current and future trends》
产出要素	Y	单位运力年均集装箱周转量	《Review of maritime transport》
技术要素	Z	单船平均运力	《Review of maritime transport》
		专利数、三年内	
	K	被引率、非专利文献被引率	Patsnap 专利数据库

注:可变成本含船员工资、燃油费用、维修保养和保险费用等。

为保证数据的一致性及可比性,文中各要素变量均使用 2000 年数据作为基准进行计算,各项数

据变化趋势如图 2 所示。



以上数据均采用 2000 年数据为基准 (100)。

图 2 各要素变量指数变化情况

由图 2 (a)~(b) 可见,2000—2019 年期间,单船平均运力和航运智能化技术水平呈现持续增长态势,直观反映出 21 世纪以来船舶大型化和智能化的行业发展趋势。与之相反,单位运力的平均产出水平 (图 2 (c)) 则持续走低,前期主要受船舶大型化趋势影响,运力供给增长速度远高于海运需求的增长,后期下降趋势放缓则有效印证了在后

金融危机时代，海运需求长期低迷叠加船舶大型化的瓶颈效应。如图 2（d）所示，相应成本表现出差异化特征。单位运力固定成本平均价格（ P_F ）总体呈现逐步上涨趋势，表明除新造船市场供需波动外，新兴智能化技术的广泛应用已成为推高固定成本的一个重要影响因素；相比之下，可变成本平均价格（ P_V ）受市场影响更为显著，尤其是燃料价格波动与船舶高级船员紧缺等因素对可变成本的影响在相关研究中也得到了证实^[18]。

2.2 模型参数标定

由于超越对数成本函数面临参数估计量多、样本容量有限的约束，且解释变量间相关系数较高，存在严重多重共线性问题。因此为提高模型的精度并保证参数估计具有合理的经济意义，本研究采用成本函数与成本份额等式联立的估计策略，选择岭回归法进行参数测算。具体来说，基于 2000—2019 年集装箱航运业相关投入要素与价格面板数据，将式（5）~（9）进行联立求解，成本函数方程的估计结果见表 3。表 3 的统计结果显示，大部分待估参数都通过了显著性检验，成本函数方程的决定系数 $R^2 = 0.999$ ，表明模型拟合程度较好，回归结果具有稳健性，所构建的计量模型能够较好地满足本研究的分析需要。

表 3 参数估计结果

变量	估计值	变量	估计值	变量	估计值
β_0	-2.883*	β_{VV}	0.074*	β_{FY}	-0.043*
β_F	0.484*	β_{ZZ}	-0.221***	β_{VZ}	0.049
β_V	0.516*	β_{KK}	-0.091**	β_{VK}	-0.033**
β_Z	-0.102***	β_{YY}	0.282*	β_{VY}	0.043*
β_K	-0.029***	β_{FV}	0.021	β_{ZK}	-0.121***
β_Y	0.195*	β_{FZ}	-0.049	β_{ZY}	-0.017
β_{FF}	-0.094*	β_{FK}	0.003**	β_{YK}	0.136

注：*、**、***分别代表参数估计值在 1%、5%、10%的置信水平下显著。

此外，表 3 中的 β_K 和 β_{KK} 均为负值，表明航运智能化技术的进步对降低船舶运营成本有积极促进作用。非中性技术影响方面， β_{FK} 为正值，而 β_{VK} 为显著负值，表明技术变化虽增加了船舶的固定成本投入，但有效降低了变动成本的投入。 β_Z 表明船舶大型化对行业平均营运成本有显著性影响，尽管规模经济效应瓶颈已然凸显。而 β_{ZK} 作为最显

著负相关参数，反映了智能化技术对规模经济的叠加效应。 β_{YK} 则反映单位运力年均周转量变化对智能化发展水平的敏感性，其显著正相关表明集装箱营运成本受技术进步影响，运输需求进一步提升，进而推动单位运力年周转量随时间不断增加。

2.3 技术进步对集装箱船舶营运成本的影响

将估算出的成本函数方程系数代入式（10），具体计算结果见表 4。

表 4 技术进步对集装箱船舶营运成本及各要素影响

年份	E	E_K	E_P	E_Z	E_Y
2000	-0.470	-0.448	-0.137	-0.557	0.764
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2010	-0.688	-0.499	-0.155	-0.621	0.689
2011	-0.696	-0.509	-0.159	-0.625	0.699
2012	-0.722	-0.520	-0.159	-0.632	0.693
2013	-0.741	-0.527	-0.156	-0.639	0.687
2014	-0.758	-0.533	-0.152	-0.649	0.683
2015	-0.767	-0.539	-0.138	-0.655	0.673
2016	-0.766	-0.546	-0.131	-0.658	0.678
2017	-0.786	-0.556	-0.134	-0.667	0.681
2018	-0.811	-0.569	-0.140	-0.669	0.677
2019	-0.832	-0.580	-0.140	-0.673	0.673
平均值	-0.673	-0.513	-0.144	-0.620	0.706

如图 3 所示，2000—2019 年，技术进步对集装箱运输行业平均营运成本的贡献率（ E ）始终为负值，且绝对值呈持续扩大趋势，清晰表明技术进步与集装箱船舶营运成本呈负相关，技术对成本的抑制作用日益明显。此外，该期间 E 的平均值为 -0.673，表明航运智能化技术水平每提升 1.000%，集装箱运输行业平均营运成本则下降 0.673%；并在整个样本周期内的 E 绝对值不超过 1.000%，也意味着航运智能化降低船舶平均营运成本的效果

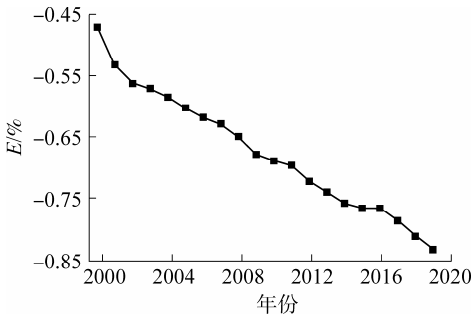


图 3 技术进步对集装箱船舶营运成本的影响

虽然存在,但尚未达到显著程度,这与 Jin 等^[6]的研究结论一致。

图 4 则进一步揭示了样本周期内不同要素受航运智能化技术进步影响对营运成本的降低效果。绝对智能化技术贡献(E_K)和船舶大型化技术贡献(E_Z)与营运成本呈负相关,且绝对值在样本周期内逐渐增大。前者由-0.448 降至-0.580,后者则由-0.557 降至-0.673,平均下降率分别为 1.380%和 1.000%。结合图 2(a)和(b)可知,船舶大型化发展虽然对降低行业平均营运成本起着至关重要的作用,但其规模经济效应则随时间的变化不断递减。究其原因,一方面是超过 2 万标准集装箱的远洋集装箱船型运营已在船舶操纵、满载率、发班频率、物流风险等作业层面被频频掣肘,同时又面临着国际贸易运输需求的区域化、多样化和时效性挑战。与之相反,2008 年金融危机后,业界对航运智能化新技术应用的关注显著提高,期望通过智能化实现航行安全保障、作业流程优化和运营管理增效。参数 β_K 和 β_{KK} 的绝对值远高于 β_{ZK} 也充分验证了此趋势。由此可见,尽管现阶段航运智能化水平尚处于发展初期阶段,但已展现出巨大潜力,未来必将成为推动全球集装箱运输行业持续降本增效的核心力量。

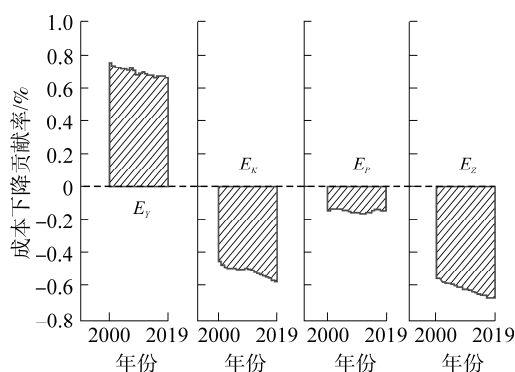


图 4 技术进步对集装箱船舶营运成本的影响

相较于 E_K 和 E_Z ,投入要素成本价格贡献(E_P)在负相关区间内呈现波动性,但总体变化幅度不大。这是因为 E_P 同时受固定成本和可变成本价格的双重影响,但是新技术应用带来的单位运力固定成本的增加导致 β_{FK} 呈正相关,在一定程度上对技术进步影响下的可变成本降低也产生了削弱作用。此外,燃油成本和船员工资的波动性也在成本要素贡献中有所体现。

产出要素贡献(E_Y)在决定平均营运成本的贡献率(E)水平方面呈正相关,并且主导优势明显,其绝对值显著高于其他三个要素,表明样本周期内的全球集装箱运输市场处于运力供给增长大于需求的状况,导致单位运力年均周转量逐步下降,进而使得闲置运力保有成本不断攀升,加剧了整体营运成本的增加。不过值得关注的是,产出要素贡献(E_Y)从 2000 年的 0.764 下降至 2019 年的 0.673,此变化趋势表明航运智能化技术的发展对提升运力使用效率有积极的促进作用,有效缓解了产出要素对营运成本的压力。

3 结论

基于 2000—2019 年智能航行相关专利数据和行业营运统计数据,通过构建超越对数成本函数模型,系统量化分析了航运智能化对集装箱行业平均营运成本的影响,得出以下结论:

(1) 技术进步与成本效应。2000—2019 年期间,航运智能化整体技术进步率达 7.88%,其中,船舶态势感知、多系统兼容、信息传输和避碰决策四个领域技术进步最为明显。计算结果显示,样本周期内的航运智能化技术水平每提升 1.000%,全球集装箱运输平均营运成本下降 0.673%。

(2) 行业发展趋势与成本优化路径。船舶大型化带来的规模经济效应呈逐步递减趋势,而智能化发展已成为未来降低航运业营运成本的关键方向。尽管当前智能航运技术产业化应用进程仍处于初级阶段,新技术的推广同样导致单位运力固定成本有所上升,但自 2010 年起,绝对智能化技术贡献率显著增加,不仅有效抑制了可变成本的波动,同时还显著提升了运力使用效率。由此可见,智能化发展将推动未来集装箱航运业朝着更加高效的运营模式转型,成为行业实现营运成本优化的核心手段。

参考文献:

- [1] 严新平. 智能船舶的研究现状与发展趋势[J]. 交通与港航, 2016, 3(1):25-28.
- [2] 刘佳铭, 李赫. 船舶智能化研究现状及发展趋势[J]. 机电设备, 2021, 38(4):49-53.
- [3] HOGG T, GHOSH S. Autonomous merchant vessels: examination of factors that impact the effective

- implementation of unmanned ships[J]. Australian journal of maritime & ocean affairs, 2016, 8(3):206-222.
- [4] KRETSCHMANN L, BURMEISTER H C, JAHN C. Analyzing the economic benefit of unmanned autonomous ships: an exploratory cost-comparison between an autonomous and a conventional bulk carrier[J]. Research in transportation business & management, 2017, 25:76-86.
- [5] KOOIJ C, HEKKENBERG R. The effect of autonomous systems on the crew size of ships: a case study[J]. Maritime policy & management, 2021, 48(6):860-876.
- [6] JIN W, ZHANG H Q, LIU S S, et al. Technological innovation, environmental regulation, and green total factor efficiency of industrial water resources[J]. Journal of cleaner production, 2019, 211:61-69.
- [7] BENSON C L, SUMANTH P D, COLLING A P. A quantitative analysis of possible futures of autonomous transport[R]. Mekelweg, Netherlands: Delft University of Technology, 2018.
- [8] 包张静, 洪方智, 翁雨波, 等. 基于线性叠加的智能船舶经济性评估模型构建[J]. 船舶工程, 2020, 42(6):132-136.
- [9] KOOIJ C, KANA A A, HEKKENBERG R G. A task-based analysis of the economic viability of low-manned and unmanned cargo ship concepts[J]. Ocean engineering, 2021, 242:110111.
- [10] MOORE G E. Cramming more components onto integrated circuits[J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(1):82-85.
- [11] KLEIN, C C, KYLE R, BASS J D. A switching regime approach to measuring the effects of technological change in ocean shipping[J]. Journal of productivity analysis, 2004, 22(1/2):29-49.
- [12] BENSON C L, MAGEE C L. Quantitative determination of technological improvement from patent data[J]. PLoS one, 2015, 10(4):e0121635.
- [13] 林善浪, 叶炜, 张丽华. 农村劳动力转移有利于农业机械化发展吗: 基于改进的超越对数成本函数的分析[J]. 农业技术经济, 2017(7):4-17.
- [14] WOODLAND A D. Substitution of structures, equipment and labor in Canadian production[J]. International economic review, 1975, 16(1):171-187.
- [15] 吴丽丽, 李谷成, 周晓时. 中国粮食生产要素之间的替代关系研究: 基于劳动力成本上升的背景[J]. 中南财经政法大学学报, 2016(2):140-148, 160.
- [16] 杨秋平, 宁涛, 杜立达, 等. 船舶大型化极限问题研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2020, 39(7):40-46.
- [17] 杨波. 铁矿石船大型化的经济性与节能性研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2020.
- [18] 隋聪, 赵越, 孙晓倩, 等. 航运与大宗商品的跨市场影响: 来自铁矿石及其航线的证据[J]. 系统工程理论与实践, 2022, 42(3):713-723.

The effects of shipping intelligence on the operational costs of the container shipping industry

CAO Yue¹, ZHU Wenfeng², WANG Yuhong², ZHAO Dan²

(1. Business School, Ningbo City College of Vocational Technology, Ningbo 315100, China;

2. Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The scientific and technological development epitomized by intelligent shipping exerts a significant influence on the operational costs within the shipping industry. Existing research on this topic primarily focuses on qualitative aspects. From an industrial perspective, this study employs patent data related to intelligent shipping to indicate technological progress in intelligent shipping, while a translog cost function is established to assess the contribution of technology intelligence to container shipping operational costs. Research findings reveal that a 1% enhancement in shipping intelligence corresponds to a 0.673% reduction in the average operational costs of container ships. This reduction is primarily ascribed to the advances in maritime intelligence and the economies of scale provided by larger vessels.

Key words: rate of technological progress; intelligent shipping; operational costs; translog cost function

(责任编辑 章践立)