

中国沿海区域港群效率影响因素探测 及驱动机理研究

马奇飞^{1,2}, 许玷铭¹, 杨密²

(1. 浙江海洋大学经济与管理学院 舟山 316022; 2. 浙江海洋大学浙江海洋文明与经济研究院 舟山 316022)

摘要: 文章基于中国沿海港群的区域视角, 运用考虑非期望产出的超效率网络 SBM 模型, 对 2010—2022 年中国 11 个沿海区域港群总效率和分阶段效率 (包括生产阶段和腹地服务阶段) 进行评价, 在此基础上, 运用地理探测器和时空地理加权回归 (GTWR) 模型进一步分析区域港群效率的影响因素。研究表明: (1) 中国沿海区域港群总效率及分阶段效率均保持稳步增长, 其腹地服务效率对总效率的贡献大于生产效率; (2) 中国沿海区域港群效率总体差异较大, 北部—南部差异最突出, 东部—南部次之, 北部—东部最小; (3) 就影响因素而言, 公路密度、第三产业比重、R&D 专利授权数量、人均 GDP 影响较大, 外商投资总额与城镇人口比重影响较小。

关键词: 区域港群效率; 超效率网络 SBM 模型; 地理探测器; 时空地理加权回归

中图分类号: F552.6; U691; P748 文献标志码: A 文章编号: 1005-9857 (2026) 02-0138-15

Study on the Detection of Influencing Factors and Driving Mechanism of the Efficiency of China's Coastal Regional Port Groups

MA Qifei^{1,2}, XU Dianming¹, YANG Mi²

(1. School of Economics and Management, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. Zhejiang Institute of Marine Civilization and Economic Research, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: From a regional perspective of China's coastal port groups, this study employs a super-efficiency network SBM (Slack-Based Measure) model that accounts for undesirable outputs to evaluate the overall efficiency and stage-specific efficiencies (including the production stage and the hinterland service stage) of 11 coastal regional port groups in China during the period 2010—2022. On this basis, the Geodetector and Geographically and Temporally Weighted Regression (GTWR) model are applied to further analyze the influencing factors of the efficiency of these regional port groups. The results show that: (1) Both the overall efficiency and stage-specific efficiencies of China's coastal regional port groups have maintained a steady growth trend, among which the contribution of their hinterland service efficiency to the overall efficiency is far greater than that of the production efficiency; (2) There exists a relatively large overall difference in the efficiency of

收稿日期: 2025-09-03; 修订日期: 2025-12-23

基金项目: 国家自然科学基金项目“海陆统筹视角下‘港—产—城’系统多尺度耦合效应及空间联动机制研究”(42506239)。

作者简介: 马奇飞, 讲师, 博士, 研究方向为海洋经济、绿色港航

通信作者: 杨密, 专职研究员, 硕士, 研究方向为海洋经济

China's coastal regional port groups. Spatially, the efficiency difference between the northern and southern port groups is the most prominent, followed by that between the eastern and southern ones, while the difference between the northern and eastern ones is the smallest; (3) In terms of influencing factors, road density, the proportion of the tertiary industry, the number of authorized R&D patents, and per capita GDP exert relatively strong impacts, whereas the total foreign investment and the proportion of the urban population have relatively weak influences.

Keywords: Efficiency of regional port group; Super-efficiency network SBM model; Geodetector; Geographically and temporally weighted regression

0 引言

港口作为连接内陆与海洋的关键节点,既是国际贸易核心枢纽,也是区域经济发展的重要引擎^[1],提升港口运营效率是建设世界一流港口的必然路径^[2]。全球港口竞争中,我国港口建设成效突出,全球十大港口中我国占7席,其中上海港连续14年集装箱吞吐量居全球首位、2024年突破5 000万TEU,宁波舟山港2024年货物吞吐量达13.24亿吨^[3],稳居全球第一。自2001年加入WTO以来,开放市场推动我国港口实现跨越式增长^[4],2013年,“交通强国”战略与“一带一路”倡议推进后,港口加速向智能化、绿色化转型,山东港口集团等区域港口整合主体相继成立,协同发展模式日趋成熟。但我国港口仍存在同质化、资源浪费及功能配置不合理等问题,2019年,交通运输部等九部门联合印发《关于建设世界一流港口的指导意见》(以下简称《指导意见》),明确提出强化资源整合、推进区域港口一体化,隐含对政策驱动港群效率、一体化改革实效等核心问题的探索需求。在此政策背景下,全面评估中国沿海港群效率影响因素,对推动港口一体化发展、建设世界一流港口具有重要学术与实践价值。

港口作为全球供应链关键节点,其运营效率直接关联国际贸易畅通与区域经济高质量发展,科学评价港口物流效率始终是学术界与实务界的核心关切。综观现有研究,港口效率评价的演进聚焦评价体系、研究方法与研究内容三大维度,呈现从单一到系统、从静态到动态、从整体到异质的深化态势^[5]。评价体系层面,早期研究以单一指标衡量港口特定环节效能,

如郑琰等^[6]通过碳排放测度解析长江港口群绿色低碳效率;随着研究深化,相关学者转向构建多投入多产出指标体系以评估全要素生产率^[7],石思文等^[8]通过系统构建投入产出指标,为港口效率综合评价奠定方法论基础,标志着对效率内涵的认知从单维局部转向系统综合。研究方法层面,以数据包络分析(DEA)为代表的非参数前沿分析法成为效率测度主流,周宝刚等^[9]运用DEA模型对比辽宁沿海经济带港城效率,揭示二者效能不匹配问题;后续研究融合空间分析方法,周玉涛等^[10]对环渤海地区的研究表明港口效率差异主要源于区域内,推动研究从静态效率测度转向空间结构解析。研究内容层面,逐步从静态描述转向动态成因探析^[11],杨程玲等^[12]结合海运集群空间演化探究影响因素,吴晓芬等^[13]、贾鹏等^[14]分别运用Malmquist指数、一体化视角揭示港口效率时空演变特征;影响因素研究中,Tobit回归模型应用广泛,叶椿善^[15]、姚博鸿等^[16]证实经济发展水平、对外贸易规模等对港口效率具有显著正向作用,但该类线性方法隐含“影响均质”假设,难以揭示因素作用的时空异质性,而戴珊屿等^[17]将SHAP模型引入因素贡献度可视化,为该领域研究提供了新方法借鉴。

然而,现有研究仍存在以下3个方面局限:①在评价体系上,较多聚焦整体效率而忽略港口内部不同功能阶段(如生产与腹地服务)的异质性特征;②在研究方法上,传统模型难以兼顾非期望产出与多阶段网络结构;③在研究内容上,影响因素分析多基于全局线性假设,未能充分揭示驱动因素的时空异质性,难以支撑港群一体化格局下的差异化发展需求。基于此,本文将港口运营解构为生产

与腹地服务两个阶段,采用考虑非期望产出的超效率网络 SBM 模型,评估 2010—2022 年中国沿海港群的分阶段效率演变,并融合地理探测器与时空地理加权回归模型,系统识别影响因素的时空分异特征,以期为推动沿海港群协调与差异化发展提供实证依据。

1 研究设计

1.1 指标体系构建

1.1.1 投入产出指标选取

区域港群效率以一体化运营为主要导向,以省域为空间单元,致力于通过港口资源的深度整合与协同优化,实现对省级港口资源的统筹调配,消除冗余配置与低效运作,从而提升资源利用效率与经济效益^[14]。其内涵包含两个方面:①生产阶段侧重于微观层面,将区域港群视为服务供应方,通过投入基础设施及相关资源,实现货物的高效储存与转运。该阶段的投入通常以泊位数量、码头长度等指标衡量,期望产出以货物及集装箱吞吐量表征,同时将二氧化碳排放量作为非期望产出纳入评估体系,具体计算方法见参考文献^[7,18];②腹地服务阶段则从宏观视角出发,考察区域港群对腹地经济的服务能力。该阶段强调港口通过物流中心将吞吐量转化为经济驱动力,进而对区域及国民经济产生影响。其投入主要包括集疏运资源与物流费用,产出则通过贸易总额、人均 GDP 及第三产业产值等指标进行衡量^[16]。具体指标如表 1 所示。

表 1 中国沿海区域港群两阶段指标体系

Table 1 Two-stage index system of port clusters in coastal areas of China

阶段	一级指标	二级指标
生产阶段	投入	万吨级以上生产用泊位数 / 个
		生产用泊位数 / 个
		生产用码头长度 / m
	非期望产出	二氧化碳排放量 / t
中间要素	期望产出	货物吞吐量 / 万 t
		集装箱吞吐量 / 万 TEU

续表 1

阶段	一级指标	二级指标
腹地服务阶段	投入	公路货物周转量 / 万 t · km
		水路货物周转量 / 万 t · km
		铁路货物周转量 / 亿 t · km
		城乡居民人均交通通信支出 / 人均总消费支出
期望产出		进出口总额 / 万美元
		直接腹地人均 GDP / 元
		直接腹地第三产业产值 / 亿元

1.1.2 影响因素指标选取

参考贾鹏等^[14]、于韵^[19]、邓昭等^[20]的研究成果,选取产业结构、科技创新、集疏运能力、城市化水平、对外开放水平、经济水平等作为区域港群效率的影响因素,同时为消除异方差的影响,本文对数据进行对数化处理。具体说明如表 2 所示。

表 2 影响因素指标说明

Table 2 Description of influencing factors indicators

目标层	准则层	指标层
影响因素	产业结构	第三产业比重 / % (X_1)
	科技创新	R&D 专利数量 / 件 (X_2)
	集疏运能力	公路密度 / ($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$) (X_3)
	城市化水平	城镇人口比重 / % (X_4)
	对外开放水平	外商投资总额 / 万元 (X_5)
	经济水平	人均 GDP / 万元 (X_6)

1.1.3 数据来源

本文以 2010—2022 年为评估周期,选取中国沿海 11 个省(自治区、直辖市)(包括辽宁、河北、天津、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、广西和海南)作为研究对象。所收集的数据均源于历年《中国港口年鉴》《中国区域经济统计年鉴》、EPS 全球统计数据平台以及国家统计局等权威官方平台,部分缺失数据采用线性插值法补充。

1.2 研究方法

1.2.1 超效率网络 SBM 模型

Tone 和 Tsutsui 在 2009 年提出了超效率网络 SBM 模型^[21], 该模型有效解决了传统 SBM 模型系统效率评价中遇到的中间指标困扰问题, 显著提升了测量结果的精确性和准确度。鉴于沿海区域港群的一体化运营过程中, 微观生产阶段和宏观腹地服务阶段是通过吞吐量相互连接的, 因此选用超效率网络 SBM 模型可以同步测算总效率和两阶段效率, 具体计算公式见参考文献^[14]。设有 n 个 DMU, 每个 DMU 由 k ($k=1, \dots, K$) 个阶段组成。 m_k 和 v_k 分别为第 k 个阶段的输入与输出指标个数, ζ_k 表示中间指标的个数。用 (k, h) 表示 k 阶段到 h 阶段的连接, $(h, k) \in L$ 。 X_j^k 为第 k 个阶段的输入指标, 满足 $\{X_j^k \in R_+^{m_k}\}$; Y_j^k 为第 k 个阶段的输出指标, 满足 $\{Y_j^k \in R_+^{v_k}\}$; $Z_j^{(k, h)}$ 为中间要素, 满足 $\{Z_j^{(k, h)} \in R_+^{v_k}\}$, 其中 $t(k, h)$ 表示连接 (k, h) 的中间要素的个数。 λ^k 表示 k 阶段的模型权重, $\lambda^k \in R_+^n$, w^k 表示 k 阶段的权重。令 Y^g 表示期望产出矩阵, 满足 $Y^g = [y_1^g, L, y_N^g] \in R^{s1 \times N}$, Y^b 表示非期望产出矩阵, 满足 $Y^b = [y_1^b, L, y_N^b] \in R^{s1 \times N}$, 则非导向型超效率 SBM 模型下 DMU_0 的整体效率为式 (1)。

$$\rho_0^* = \min \frac{\sum_{k=1}^K w^k \left[1 + \frac{1}{m_k} \left(\sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_i^{k-}}{x_{io}^k} \right) \right]}{\sum_{k=1}^K w^k \left[1 - \frac{1}{v_{1k} + v_{2k}} \left(\sum_{r=1}^{v_{1k}} \frac{s_r^{gk}}{y_{ro}^{gk}} + \sum_{r=1}^{v_{2k}} \frac{s_r^{bk}}{y_{ro}^{bk}} \right) \right]}$$

s.t. $x_o^k \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j^k x_j^k + s^{k-}$

$y_o^{gk} \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j^k y_j^{gk} + s^{gk}$

$y_o^{bk} \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j^k y_j^{bk} - s^{bk}$

$\varepsilon \leq 1 - \frac{1}{v_{1k} + v_{2k}} \left(\sum_{r=1}^{v_{1k}} \frac{s_r^{gk}}{y_{ro}^{gk}} + \sum_{r=1}^{v_{2k}} \frac{s_r^{bk}}{y_{ro}^{bk}} \right)$

$z^{(k, h)} \lambda^h = z^{(k, h)} \lambda^k$

$\sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j^k = \sum_{k=1}^K w^k = 1$

$\lambda^h, s^{k-}, s^{gk}, s^{bk}, w^k \geq 0$

本文运用的是两阶段模型, 即 $K=2$, 所以各子流程的效率为式 (2)、式 (3):

$$\rho_0^* = \frac{1 + \frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^{m_1} \frac{s_i^{1-*}}{x_{io}^k}}{1 - \frac{1}{\zeta_k} \left(\sum_{r=1}^{\zeta_k} \frac{s_r^{1+*}}{z_{ro}} \right)} \quad (2)$$

$$\rho_0^{*2} = \frac{1 + \frac{1}{\zeta} \left(\sum_{r=1}^{\zeta} \frac{s_r^{1+*}}{z_{ro}} \right)}{1 - \frac{1}{v_{12} + v_{22}} \left(\sum_{r=1}^{v_{12}} \frac{s_r^{p*}}{y_{ro}} + \sum_{r=1}^{v_{22}} \frac{s_r^{b*}}{y_{ro}} \right)} \quad (3)$$

式中: $(s_i^{1-*})(s_i^{1+*})$ 为阶段 1 (2) 投入 (产出) 指标的松弛变量, $(s_r^{p*})(s_r^{b*})$ 为阶段 2 中期望产出 (非期望产出) 指标的松弛变量; $v_{12}(v_{22})$ 为阶段 2 中期望产出 (非期望产出) 指标的数量。

1.2.2 地理探测器模型

空间分层异质性是地理现象的共性特征, 也是空间数据的本质属性。研究对象可划分为不同层级或类别, 分层内部特征相似, 而层间差异显著, 呈现出分层内部分散程度低于层间分散程度的特点^[22]。地理探测器有分异及因子探测器、交互作用探测器、风险探测器和生态探测器四个模块。采用因子探测器, 研究通过显著性检验的某个自变量对因变量的影响力^[22]。自变量对因变量影响力 q ^[20] 的公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{g=1}^L N_g \sigma_g^2}{N \sigma^2} \quad (4)$$

式中: q 表示影响因子的大小; $g=1, 2, \dots, L$, 表示因子的分层或分类, N_g 和 N 分别为层 g 和全区域的单元数, σ_g^2 和 σ^2 分别为层 g 和全区域的因变量值的方差。

探测影响因素变量 (X) 间的交互作用, 判断各影响因素变量 (X) 对港口总效率值 (Y) 的空间分异性是相互作用还是独立作用, 评估其作用的强弱^[23]。交互作用类型如表 3 所示。

表 3 交互作用类型

Table 3 Types of interactions

交互作用	判断依据
非线性减弱	$q(X_1 \cap X_2) < [q(X_1), q(X_2)]$
单因子非线性减弱	$\min[q(X_1), q(X_2)] < q(X_1 \cap X_2) < \max[q(X_1), q(X_2)]$
双因子增强	$q(X_1 \cap X_2) > \max[q(X_1), q(X_2)]$

续表 3

交互作用	判断依据
独立	$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$
非线性增强	$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$

1.2.3 时空地理加权回归模型

时空地理加权回归 (GTWR) 模型可以有效识别影响区域港群效率主导因子的空间异质性^[20], 能较好地解决时空非平稳性问题。本文将区域港群总效率作为因变量, 将由地理探测器识别的主导影响因子作为自变量。当回归系数为正时, 表明区域港群总效率与影响因素呈正相关; 反之, 呈负相关。基本公式如下:

$$y_i = \beta_0(\mu_i, \nu_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(\mu_i, \nu_i, t_i) x_{jk} + \varepsilon_i \quad (5)$$

式中: (μ_i, ν_i, t_i) 是点 i 的时空坐标; p 为独立变量个数; y_i 为因变量; x_{jk} 为自变量; ε_i 为随机误差; $\beta_0(\mu_i, \nu_i, t_i)$ 为点 i 处的截距; $\beta_k(\mu_i, \nu_i, t_i)$ 为回归系数。

2 结果分析

本文基于中国 11 个沿海区域港群 2010—2022 年的面板数据, 采用超效率网络 SBM 模型评估一体化运营模式下中国沿海区域港群总效率、分阶段效率以及分地区效率, 具体结果如图 1、图 2 所示。

2.1 区域港群效率的时间分异特征

图 1 显示, 总效率由 0.813 上升至 1.127, 年均增长幅度为 0.026, 腹地服务效率由 0.943 上升至 1.180, 年均增长幅度为 0.020, 二者变化趋势基本一致。具体分为两个阶段, 2010—2014 年, 总效率从 0.813 上升至 0.972, 腹地服务效率从 0.943 上升至 1.012, 实现连续五年增长; 2015 年 (“十二五”规划期间), 国家启动港口资源整合工作, 推动长三角、珠三角及环渤海地区港口协同发展以规避重复建设与恶性竞争, 受这一政策调整的短期影响, 总效率与腹地服务效率均出现小幅下降, 分别降至 0.948 和 0.981。2016 年后, 各地港口资源整合优化, 一体化协同发展格局持续完善, 通过强化互联互通, 减少无序竞争, 总效率从 0.948 升至 2022 年的 1.127, 腹地服务效率从 0.981 升至 2022 年的 1.180, 整体运营效率显著提升。与此同时, 生产效率由 0.717 上升至 2022 年的 1.120, 年均增幅达 0.034, 总体呈上升趋势, 印证了港口一体化运营对效率提升的积极作用; 2019 年, 《指导意见》为港口的发展提供了明确政策指引。生产效率 2018 年较 2017 年下降 0.06, 可能原因是生产投入规模受限和资源内耗严重等, 导致部分生产效能出现阶段性下滑。

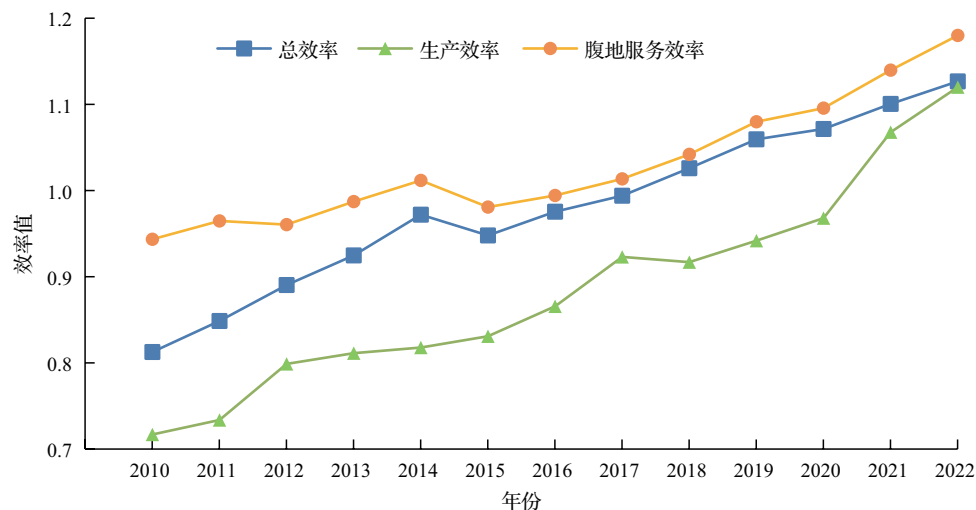


图 1 中国沿海区域港群效率值走势

Fig.1 Trends in efficiency of port clusters in coastal areas of China

2.2 区域港群效率的空间分异特征

由图2可知,就总效率而言,达到完全有效的地区分别为上海(1.409)、天津(1.202)、山东(1.153)、河北(1.146)、广东(1.112)、浙江(1.075)。以上地区具有强大的集疏运能力,并且教育资源和人才资源雄厚,为港口发展提供了充足的人才保障。海南(0.949)、江苏(0.753)、广西(0.542)、辽宁(0.352)未达到完全有效,应注重港口发展,以及相应配套设施的完善,加大与其他地区的一体化力度。而江苏的深水港配套措施相对不够完善,河道受制于长江,淤泥严重,导致航道水深不足,要深化资源整合,实现港口差异化定位。

就生产效率而言,达到完全有效的地区分别为上海(1.363)、山东(1.120)、河北(1.106)、天津(1.052)。以上地区根据自身优势进行功能定位和布局规划,并建立科学的港口管理体制,简化流程,提供了较高的生产效率。浙江(0.998)、海

南(0.961)、广东(0.803)、福建(0.758)、江苏(0.554)、辽宁(0.532)未达到完全有效,部分港口之间存在竞争大于合作的情况,资源未能有效地整合,存在重复建设和资源浪费的现象,同时部分港口集疏运能力有待提升,限制了吞吐能力,共同制约了整体生产效率。

就腹地服务效率而言,达到完全有效的地区分别为上海(1.423)、天津(1.281)、河北(1.235)、山东(1.208)、浙江(1.161)、海南(1.067)、广东(1.051)、江苏(1.000)。以上地区经济发达,产业基础雄厚,腹地拥有大量的制造业,为港口提供了丰富资源与稳定进出口货源。福建(0.814)、广西(0.730)、辽宁(0.225)未达到完全有效,以上3地的经济发展水平与沿海经济发达地区相比仍有差距,产业规模较小、外向型经济活跃度较低,导致港口货源不足,难以形成规模效应,制约了腹地服务效率。

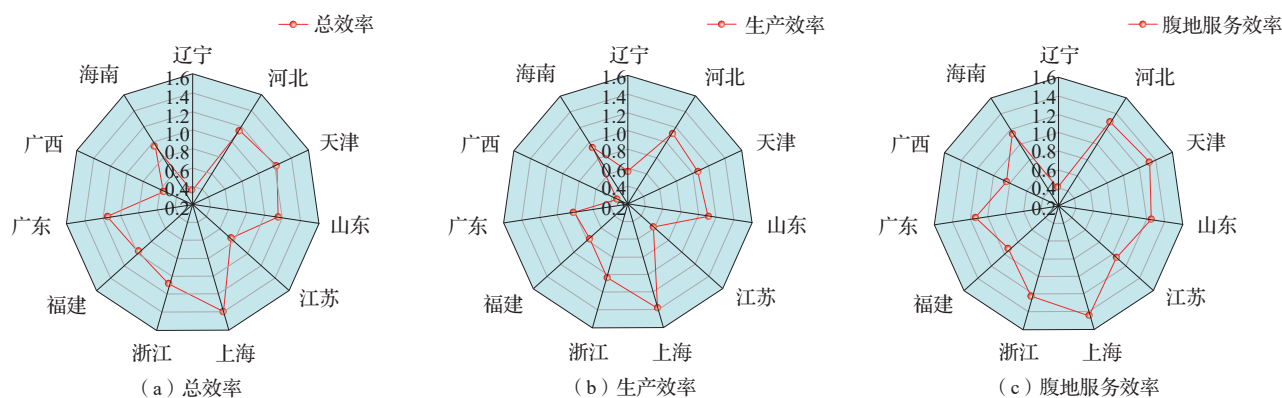


图2 中国沿海区域港群效率平均值

Fig.2 Average efficiency of port clusters in coastal areas of China

2.3 区域港群效率的影响因素探测及驱动机理分析

基于前文对区域港群效率的测度与特征分析,相较于传统线性分析方法,地理探测器依托因子探测、交互探测等核心功能,可通过 q 统计量量化驱动因素对港口效率的解释力,精准识别不同区域、不同阶段的核心驱动因子;时空地理加权回归(GTWR)模型在传统GWR模型基础上嵌入时间维度,融合时空特征与地理区位因素,依托局部回归思想,能够有效揭示港口效率影响因素的时空异

质性,既刻画影响强度的空间分异格局,又捕捉其时间演化趋势,从而实现双维度异质性的精细解析。因此,本文首先采用地理探测器模型对总效率与影响因素的交互因子进行分析,其次采用OLS回归对影响因素进行稳健性检验,最后采用GTWR模型,从时空双维度解析沿海区域港群效率的影响因素,以期政府和港口相关企业提升区域港群效率、培育发展新动能提供可靠的实证依据与科学指引。

多重共线性会造成估计参数方差膨胀、显著性

检验失效。为确保后续数据的可信度与有效性,需先开展多重共线性检验^[24]。对数据进行多重共线性检验(表4),检验结果显示各变量的VIF值均小于10,表明数据不存在严重多重共线性问题,通过检验^[25]。

表4 多重共线性检验

Table 4 Multicollinearity test

变量	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	平均值
VIF	4.35	3.12	1.32	4.53	2.07	8.23	3.94
1/VIF	0.230	0.321	0.758	0.221	0.483	0.122	0.254

2.3.1 基于地理探测器模型的影响因素探测

地理探测器在剖析双因子交互作用上独具优势。为探究港口效率的深层驱动机制,参考闫春霞等^[26]的研究,本文借助地理探测器的交互探测模块,对其影响因素展开分析,结果如表5、表6所示。

表5 交互探测单因子 q 值Table 5 Single factor q value of interaction detection

影响因素	指标层	q 值	影响力排名
X_1	第三产业比重	0.880 4	1
X_2	R&D 专利数量	0.418 9	3
X_3	公路密度	0.542 9	2
X_4	城镇人口比重	0.217 2	5
X_5	外商投资总额	0.123 1	6
X_6	人均 GDP	0.278 8	4

表6 区域港群效率影响因素交互探测结果

Table 6 Interaction detection results of influencing factors of regional port clusters efficiency

影响因素	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_1	0.880 5					
X_2	0.989 3	0.418 9				
X_3	0.999 8	0.763 6	0.542 9			
X_4	0.989 1	0.768 2*	0.789 2*	0.217 2		
X_5	0.953 5	0.754 6*	0.911 3*	0.473 5*	0.123 1	
X_6	0.953 9	0.572 4	0.724 0	0.627 3*	0.667 4*	0.278 8

注:*表示非线性增强,数字后无标注表示双因子增强。

研究发现,各影响因子在作用于区域港群效率时存在交互效应,任意双因子组合的决定力均强于单因子,呈现双因子增强或非线性增强特征,表明区域港群效率提升受多因素协同制约。其中,双因子增强指交互后决定力 q 值大于单一因子 q 值;非线性增强则是交互后 q 值超过两因子 q 值总和,后者对区域港群效率的影响提升更为显著,因此,本文聚焦于呈现非线性增强的因子交互关系展开深入分析^[27]。

因子探测结果显示(表5),第三产业比重(X_1)、公路密度(X_3)、R&D 专利授权数量(X_2)对区域港群效率的决定力 q 值分别为0.880 4、0.542 9、0.418 9,分列于决定力排名的第一、二、三位,说明第三产业比重(X_1)、公路密度(X_3)和R&D 专利授权数量(X_2)是影响区域港群效率的关键因素。此外,人均GDP(X_6)、城镇人口比重(X_4)的 q 值分别为0.278 8、0.217 2,亦对区域港群效率有较强的解释力。而外商投资总额(X_5)的 q 值为0.123 1,对区域港群效率的解释力较弱。第三产业的发展能够带动更多的消费,进而带动港口货运量的增长,促进区域港群效率的提升。而公路密度则为港口货物的运输提供了便捷的陆地交通网络,发达的交通网络有利于货物的运输,带动区域港群效率的提升。R&D 专利授权数量为港口发展提供新技术、新产品,带动港口新旧动能转换,促进效率提升。城镇人口比重与人均GDP的提升,有助于促进农村人口向城镇转移,并带动第三产业的蓬勃发展。随着人民生活水平不断提高,社会产品需求持续扩大,这些因素共同对区域港群效率产生正向影响。

表6交互探测结果显示,R&D 专利授权数量(X_2)与城镇人口比重(X_4)、外商投资总额(X_5)呈非线性增强,且增强效果明显,这表明增加R&D 专利授权数量(X_2)与城镇人口比重(X_4)、外商投资总额(X_5)时会提升区域港群效率。公路密度(X_3)与城镇人口比重(X_4)、外商投资总额(X_5)为非线性增强,交互后的决定力较高,其值分别为0.789 2、0.911 3,说明在提升公路密度的同时发展城镇人口比重与外商投资,可以提升区域港群

效率。城镇人口比重 (X_4) 与外商投资总额 (X_5)、人均 GDP (X_6) 同样为非线性增强, 说明城镇人口的增加可以带动外商投资与人均 GDP 的提升, 进而提升区域港群效率。外商投资总额 (X_5) 与人均 GDP (X_6) 也为非线性增强, 交互后的 q 值为 0.667 4, 相比两单因子 q 值之和显著增大, 外商投资的增加在一定程度上为居民增加收益, 进而促进区域港群效率提升。

此外, 第三产业比重 (X_1) 与 R&D 专利授权数量 (X_2)、公路密度 (X_3)、城镇人口比重 (X_4)、外商投资总额 (X_5)、人均 GDP (X_6) 的交互作用表现为双因子增强, 其中第三产业比重 (X_1) 与 R&D 专利授权数量 (X_2) 交互后, q 值为 0.989 3, 接近于 1, 说明第三产业发展与 R&D 专利数量相辅相成, 二者能够更好地带动区域港群效率的提升。第三产业比重 (X_1) 与公路密度 (X_3) 的交互作用为双因子增强, 其 q 值为 0.999 8, 说明第三产业的发展带动了产业的提升, 公路密度则提高了运输能力, 对区域港群效率提升具有较强的促进作用。第三产业比重 (X_1) 与城镇人口比重 (X_4) 为双因子增强, 交互后的 q 值为 0.989 1, 同样具有较强的影响作用, 第三产业的发展会带动人口向城市转移, 为港口提供丰富的劳动力资源。第三产业比重 (X_1) 与外商投资总额 (X_5) 的交互作用为双因子增强, 交互后其 q 值为 0.953 5, 说明第三产业比重与外商投资总额能够促进区域港群效率的提升。第三产业比重 (X_1) 与人均 GDP (X_6) 的交互作用为双因子增强, 其 q 值为 0.953 9, 同样接近于 1, 说明第三产业比重与人均 GDP 对区域港群效率的提升也具有较好的促进作用。R&D 专利授权数量 (X_2) 与公路密度 (X_3) 的交互作用为双因子增强, 其 q 值为 0.763 6, 即提高 R&D 专利授权数量与公路密度, 能为区域港群效率提升提供较好的技术和交通支持。R&D 专利授权数量 (X_2) 与人均 GDP (X_6) 的交互作用为双因子增强, 交互后的 q 值为 0.572 4, 说明科技专利的增多带动经济发展, 促进人均 GDP 的增长。公路密度 (X_3) 与城镇人口比重 (X_4) 的交互作用为双因子增强, q 值为 0.789 2, 说明便捷的交通促进人口

的流动, 使得劳动力资源能够流向需求较大的地区, 为区域港群效率提升提供源源不断的劳动力资源。

2.3.2 基于时空地理加权回归模型的驱动机理分析

为掌握各影响因素对区域港群效率的全局 (平均) 影响, 参考王明舜等的研究^[28], 首先基于最小二乘法 (Ordinary Least Squares, OLS) 对区域港群效率进行一般线性回归分析, 结果如表 7 所示。从 OLS 回归结果来看, 模型整体显著 ($P < 0.05$), 且模型的拟合优度较高。解释变量中, 第三产业比重 (X_1)、R&D 专利授权数量 (X_2)、公路密度 (X_3)、城镇人口比重 (X_4)、人均 GDP (X_6) 及外商投资总额 (X_5) 对区域港群效率 (Y) 的影响呈现异质性特征。具体来看, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_6 均通过 1% 水平的统计显著性检验, 表现出显著的正向驱动效应, 其中第三产业占比 (X_1) 的回归系数最大 (1.837), 是影响港口总效率的首要因素; R&D 专利授权数量 (X_2)、公路密度 (X_3)、人均 GDP (X_6) 的系数分别为 0.090、0.250、0.400, 每提升 1 个单位将显著推动区域港群效率提升相应幅度。与之相对, 城镇人口比重 (X_4) 的回归系数为 -1.706, 呈现显著的负向影响。外商投资总额 (X_5) 的回归系数为 -0.010, 且未通过 10% 水平的统计显著性检验, 表明其对港口总效率的影响微弱且统计不显著。综上所述, 第三产业占比、R&D 专利授权数量、公路密度和人均 GDP 是促进港口效率提升的核心驱动因素, 其正向影响均通过严格的统计显著性检验, 而城镇人口比重的负向效应与外商投资总额的微弱影响, 为后续优化港口效率提升路径提供了经验依据。

表 7 OLS 回归结果

Table 7 OLS regression results

变量	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	N	R	adj. R^2
Y	1.837*** (0.287)	0.090*** (0.020)	0.250*** (0.039)	-1.706*** (0.331)	-0.010 (0.024)	0.400*** (0.078)	132	0.505	0.481

注: 括号内数值为 t 统计量, * $p < 0.1$ (边际显著), ** $p < 0.05$ (显著), *** $p < 0.01$ (高度显著)。

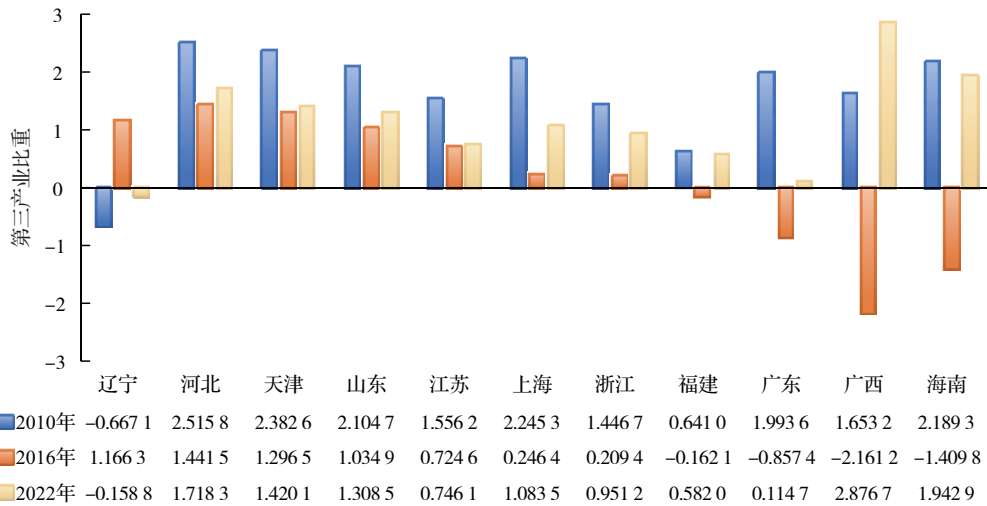
区域港群效率及其影响因素具有显著的空间异质性，传统的 OLS 模型忽略了空间地理位置对区域港群效率的影响，而使用 GTWR 模型可以有效解决由空间位置引起的因变量和自变量之间的局部变异问题^[29]。基于此，本文采用时空地理加权回归模型，将总效率作为被解释变量，前文中所选的影响因素作为解释变量。表 8 是时空地理加权回归结果的相关参数。在拟合优度上， R^2 (0.983) 与调整后的 R^2 (0.982) 均要大于 OLS 回归结果的 R^2 (0.505) 和调整后的 R^2 (0.481)，优于稳健性检验的结果，表明该模型能够较好地测度解释变量对被解释变量的影响^[30]。

表 8 时空地理加权回归结果的相关参数

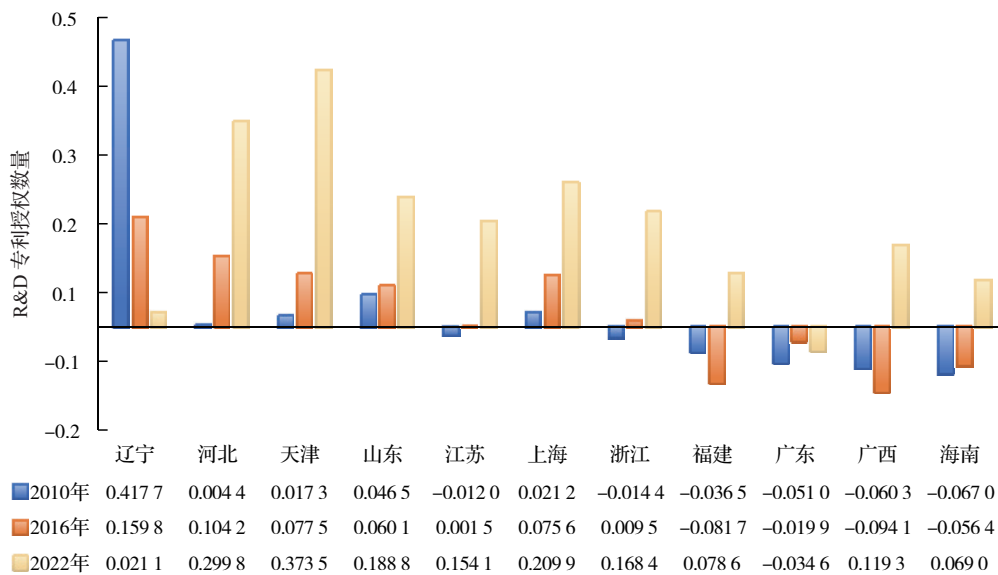
Table 8 Relevant parameters of Geographically and temporally weighted regression

回归结果	带宽	建模分析	修正	R^2	调整后 R^2	时空距离
值	0.110	0.055	-169.373	0.983	0.982	1.004

根据时空地理加权回归的结果，本文采用自然断点法将各驱动因子影响程度的空间分异性进行可视化，结果如图 3 所示。本文选取“十一五”末的 2010 年、“十三五”初的 2016 年以及数据最新之年 2022 年三个年份来进行时空上的差异分析。



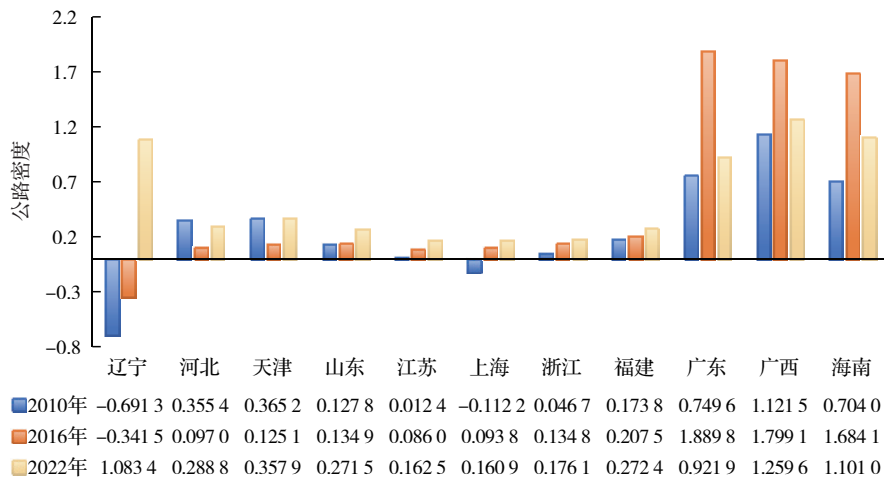
(a) 第三产业比重



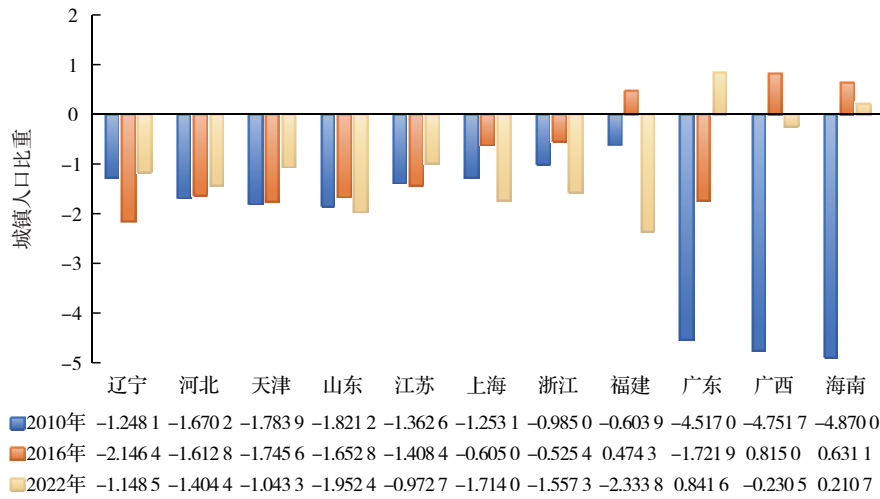
(b) R&D 专利授权数量

图 3 港群效率影响因素时空分布

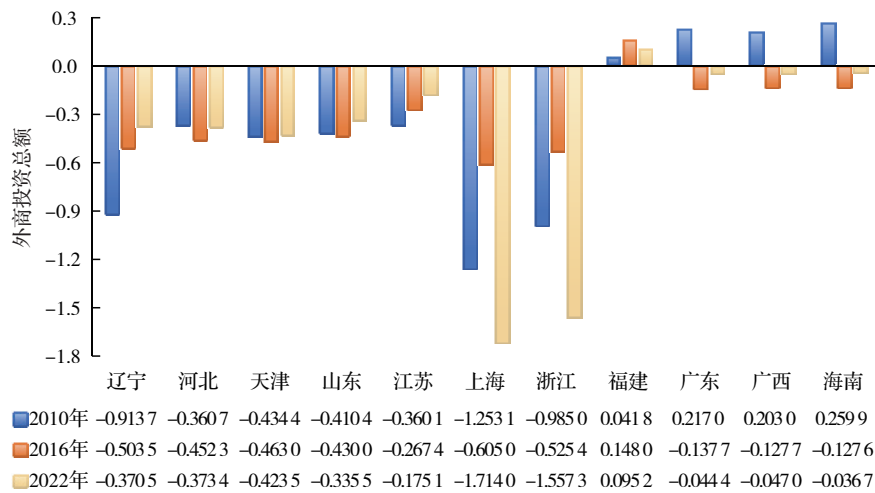
Fig.3 Spatio-temporal distribution of factors affecting port clusters efficiency



(c) 公路密度



(d) 城镇人口比重



(e) 外商投资总额

图 3 港群效率影响因素时空分布 (续图)

Fig.3 Spatio-temporal distribution of factors affecting port clusters efficiency

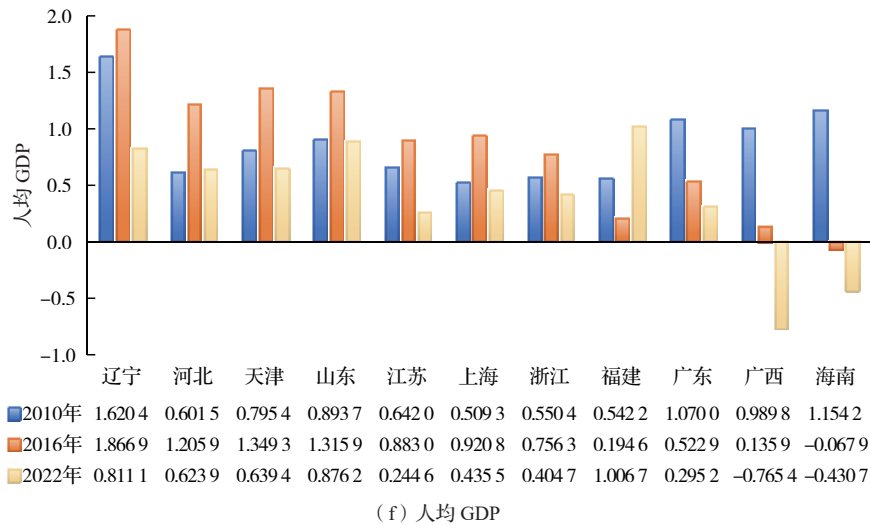


图3 港群效率影响因素时空分布(续图)

Fig.3 Spatio-temporal distribution of factors affecting port clusters efficiency

第三产业比重对港群效率主要起正向驱动作用,其中环渤海与南部沿海战略节点因服务业集聚效应显著,驱动力强于内陆腹地。2010年仅辽宁受老工业基地路径依赖影响呈现负向驱动;2016年受传统服务业增长瓶颈制约,东部沿海核心区效应普遍回落,辽宁依托东北振兴政策实现服务业短期回升,由负转正;2022年双循环战略下,广西(西部陆海新通道)、海南(自贸港)等战略节点凭借现代服务业崛起成为新的增长极,长三角、广东通过高端服务业升级实现效应回升,全域驱动效应的空间分异显著缩小。

R&D 专利授权数量总体呈正向驱动,但区域差异显著。2010年,辽宁依托重工业研发积淀形成绝对优势,多数南方沿海地区因外向型经济对自主研发依赖度低,效应为负;2016年,京津冀协同创新战略启动,环渤海地区创新效应稳步提升,辽宁受产业转型压力影响优势弱化;2022年,天津、河北在高端制造、新能源领域实现研发突破,领跑全域,长三角凭借成熟的创新生态稳步增长,辽宁因产业结构调整滞后导致活力持续回落,南方省份则在产业升级中逐步提升研发投入产出效率,创新驱动的区域格局完成重构。

公路密度对多数港群效率的驱动效应经历了从“南部领跑”到“全域协同”的转变。然而,公路

密度因素对辽宁的驱动作用却显著不同,由2010年的负向弱驱动大幅跃升为2022年的正向强驱动。其原因在于,2010年辽宁受老工业基地布局影响,公路建设相对滞后,且城市空间布局不合理导致路网效能受限;但在东北振兴战略推进下,辽宁加速推进公路网络完善,并与产业转型深度融合,最大化释放了公路密度对港群效率的正向支撑作用,而南部沿海地区则依托港口经济对集疏运网络的持续需求,始终保持高位驱动。

城镇人口比重驱动效应从正向向负向转变,可能涉及发展阶段与要素匹配度的复杂原因。一是城镇化阶段的变化,早期沿海地区普遍进入城镇化成熟期,新增空间有限,人口集聚对港群效率产生一定约束;但在双循环战略下,广东、海南凭借经济活力与自贸港建设持续吸纳人口,实现正向驱动。二是产业支撑的匹配度。福建、广西等地区因产业结构调整出现人口集聚增速暂缓,而多数北方地区受人口外流制约,城镇人口比重提升乏力,导致人口集聚对港群效率的驱动呈现显著的时空负向关联特征。

外商投资总额主要起正向驱动作用,且呈现出从“区位红利”向“产业赋能”转化的趋势。在研究初期,南部沿海地区凭借区位与政策红利成为外资热点,效应显著;中后期,随着全球产业链调整

与东部沿海产业升级,福建持续优化营商环境保持外资吸引力稳定,成为唯一长期保持正向驱动的省份。同时,东部沿海地区在高端制造领域吸引外资能力提升,南部沿海外资布局完成结构性调整,全域外商投资的区域差异持续缩小,外资对港群效率的驱动效能进一步优化。

人均GDP主要起正向强驱动作用。本研究区涵盖沿海多个经济发达地区,经济基础雄厚,人均产出水平较高,对港群效率具有显著的正向支撑作用。2010—2016年全域效应为正,辽宁、天津等地依托产业升级领跑;2022年福建凭借数字经济与制造业融合实现效应跃升,成为新的增长极。然而,广西、海南等地区受产业结构单一及外部环境影响,人均GDP增长乏力,甚至出现负向效应,区域经济发展对港群效率的驱动呈现从“传统工业支撑到新经济引领”的分化格局。

3 结论与建议

3.1 结论

从效率测度结果来看,研究期内中国沿海区域港群的总效率及分阶段效率均呈稳步增长态势,但整体水平仍然偏低,表明资源利用效能尚有较大提升空间。空间上,效率格局呈现“东南沿海与珠三角高、北部部分区域低”的分布特征,其中上海、天津、山东与河北港群效率领先且有效,而福建与辽宁港群虽持续改善,但仍未达到完全有效的状态,是未来需重点关注的区域。区域差异以北—南方向最为显著,东—南次之,北—东差异较小。这一研究结果为沿海港群优化资源配置、加强跨区域协同、提升全程物流服务能力提供了重要的决策参考与实践指导。

从地理探测器的因子交互分析来看,单一因素难以独立驱动区域港群效率的飞跃,多因素间的协同增强效应才是关键。第三产业比重与R&D专利授权数量、公路密度等因素的交互作用均呈现“双因子增强”,其决定力(q 值)接近1,这表明“现代服务业+科技创新”或“现代服务业+高效交通”的协同模式,是实现区域港群效率提升的核心路径。此外,R&D专利授权数量与城镇化比重、外商

投资总额与人均GDP等因子间的非线性增强关系,共同印证了区域港群效率是一个受经济、技术、基础设施与开放政策等多维度因素联动影响的复杂系统。这深刻揭示了区域港群效率提升的多因素联动机制,更为沿海港群精准制定“靶向性”发展策略提供了依据。

从时空地理加权回归的结果来看,其清晰地展现了驱动力的时空差异。第三产业比重与人均GDP是港口发展的核心动力,通过支撑商贸物流高效运转,直接决定港口货源辐射范围与运营活力。前者驱动经济服务化转型与货种多元升级,后者拉动两类货物进出口需求,二者协同构成港口功能演进与竞争力提升的底层动力。公路密度作为集疏运体系的物理骨架,其影响直接而重要,在南部沿海地区表现尤为突出。外商投资总额在港口发展初期和特定地区(如福建)的驱动作用显著,但随着发展阶段的演进,其影响力有所变化。R&D专利授权数量通过技术进步发挥间接而深远的优化作用,城镇人口比重的直接拉动效应在现阶段表现最弱。这种异质性要求相应发展政策的制定须因地制宜并因时施策。

3.2 建议

研究显示,中国沿海区域港群虽整体效率呈增长趋势,但仍处于较低水平,福建和辽宁等部分港群尚未达到有效状态。未来应聚焦效率提升,借鉴上海、天津等高效港群的运营模式,优化资源配置与管理流程,加大对腹地服务的投入力度,充分发挥其对总效率的提升作用。同时,针对低效港群,制定专项改进方案,缩小与高效港群的效率差距,提升整体竞争力。

深化因子协同,释放发展潜力。地理探测器结果表明,鉴于因子交互作用对区域港群效率的显著促进效应,未来应构建多因素协同提升机制。重点推动第三产业与技术创新、交通网络深度融合,依托现代服务业升级与智能技术应用优化港口运营,结合公路网加密强化集疏运能力。这与石思文等^[8]研究得出的完善综合交通网络、优化港口资源配置等建议相互印证。同时,推动研发投入与人口集聚、外资引入联动,以人才支撑技术转化,以外

资助力设施升级。此外,需通过城镇人口增长与经济活力提升的良性循环,夯实港口发展的劳动力与需求基础,形成“服务业引领、技术赋能、交通支撑、要素联动”的综合体系,全面释放协同效应以提升区域港群效率。

坚持因地制宜,优化发展路径。时空地理加权回归结果显示:应系统推进第三产业中的现代物流、跨境贸易等服务升级,强化沿海与腹地联动;持续完善公路等集疏运体系,提升港口辐射能级。

这与张玲富等^[31]研究提出的建议相互印证。加大研发投入,推动港口智慧化与绿色化转型,优化外资利用结构。在此基础上,辽宁等地区需着力突破产业结构瓶颈,强化高端制造与科技研发能力,完善集疏运衔接。福建等东南沿海地区应重点提升城镇化质量与经济集聚效能,增强数字经济的引领作用。广西、海南等南部地区则应把握自贸港建设、西部陆海新通道建设机遇,推动服务业升级与产业结构多元化,稳步提升人均产出水平。

参考文献 (References):

- [1] 任志宇,柯丽娜,王磊,等.中国港口城市的研究进展及趋势分析[J].海洋开发与管理,2024,41(11):75-83.
REN Zhiyu, KE Lina, WANG Lei, et al. Research progress and trend analysis of port cities in China[J]. Ocean Development and Management, 2024, 41(11): 75-83.
- [2] 严新平,涂敏,杨家其,等.我国建设世界一流海洋港口的路径研究[J].中国工程科学,2025,27(1):236-247.
YAN Xinping, TU Min, YANG Jiaqi, et al. Development path of world-class marine ports in China[J]. Engineering Sciences, 2025, 27(1): 236-247.
- [3] 杨益波.宁波舟山港加速向世界一流强港推进[N].中国经济时报,2024-06-07(3).
YANG Yibo. Accelerating the advancement of Ningbo-Zhoushan Port towards a world-class strong port[N]. China Economic Times, 2024-06-07(3).
- [4] 燕美玲,王海壮.辽宁港口城市经济韧性评价及影响因素分析[J].海洋经济,2023,13(1):92-100.
YAN Meiling, WANG Haizhuang. Evaluating economic resilience of port cities in Liaoning Province and analyzing its influencing factors[J]. Marine Economy, 2023, 13(1): 92-100.
- [5] 叶桂谷,黄莹,魏炜.自贸区建设对沿海港口物流效率的促进效应及路径分析[J].商业经济研究,2024(23):93-96.
YE Guigu, HUANG Ying, WEI Wei. An Analysis of the promoting effect and implementation path of free trade zone construction on the logistics efficiency of coastal ports[J]. Journal of Commercial Economics, 2024(23): 93-96.
- [6] 郑琰,巴文婷,肖玉杰.考虑碳排放的长三角港口群动态效率测度[J].交通运输系统工程与信息,2023,23(4):34-46.
ZHENG Yan, BA Wenting, XIAO Yujie. Dynamic efficiency measure in Yangtze River Delta port cluster considering carbon emissions[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2023, 23(4): 34-46.
- [7] 张小蒂,邓娟.中国港口效率测度及提升研究[J].浙江大学学报(人文社会科学版),2013,43(4):39-51.
ZHANG Xiaodi, DENG Juan. Study on the efficiency of China's ports and its enhancement[J]. Journal of Zhejiang University (Humanities and Social Sciences), 2013, 43(4): 39-51.
- [8] 石思文,饶小玉,韩瑜,等.广东省沿海港口物流效率评价及影响因素研究[J].铁道运输与经济,2025,47(4):39-47.
SHI Siwen, RAO Xiaoyu, HAN Yu, et al. Assessment of coastal port logistics efficiency and analysis of influencing factors in Guangdong Province[J]. Railway Transport and Economy, 2025, 47(4): 39-47.
- [9] 周宝刚,颜雨晴,冯欣宇.基于网络SBM-DEA的辽宁沿海经济带港城效率与可持续发展研究[J].资源与产业,2025,27(3):66-76.
ZHOU Baogang, YAN Yuqing, FENG Xinyu. Port-city efficiency and sustainability in Liaoning coastal economic zone based on network SBM-DEA[J]. Resources & Industries, 2025, 27(3): 66-76.
- [10] 周玉涛,李振福,邓昭.环渤海地区港口效率的时空分异、未来趋势及驱动因素研究[J].世界地理研究,2024,33(4):142-154.
ZHOU Yutao, LI Zhenfu, DENG Zhao. The spatio-temporal differentiation, future trends and driving factors of port efficiency in the Bohai Rim region[J]. World Regional Studies, 2024, 33(4): 142-154.
- [11] 马奇飞,谢娇智,叶芳,等.中国海洋资源开发利用保护协同效率评价[J/OL].海洋通报,1-18[2025-12-24].
<https://link.cnki.net/urlid/12.1076.p.20251209.1432.002>.

- MA Qifei, XIE Jiaozhi, YE Fang, et al. Evaluation of the synergetic efficiency of marine resources development, utilization and protection in China[J/OL]. *Marine Science Bulletin*, 1-18[2025-12-24]. <https://link.cnki.net/Urlid/12.1076.p.20251209.1432.002>.
- [12] 杨程玲, 卢雨彤, 王少爱. 广东省海运集群的空间演化及影响因素研究[J]. *海洋开发与管理*, 2023, 40(10): 63-75.
YANG Chengling, LU Yutong, WANG Shaoai. The spatial evolution and influencing factors of maritime transport cluster in Guangdong Province [J]. *Ocean Development and Management*, 2023, 40(10): 63-75.
- [13] 吴晓芬, 王敏, 王丽洁. 基于四阶段 DEA-Malmquist 指数的长三角港口群动态效率评价[J]. *统计与决策*, 2022, 38(2): 184-188.
WU Xiaofen, WANG Min, WANG Lijie. Dynamic efficiency evaluation of port group in the Yangtze River delta based on four-stage DEA-Malmquist Index[J]. *Statistics & Decision*, 2022, 38(2): 184-188.
- [14] 贾鹏, 马奇飞, 邬桐, 等. 一体化运营模式下中国区域港群效率研究[J]. *科研管理*, 2023, 44(4): 112-126.
JIA Peng, MA Qifei, WU Tong, et al. Research on the efficiency of China's regional port groups under the integrated operation mode[J]. *Science Research Management*, 2023, 44(4): 112-126.
- [15] 叶善椿. 考虑碳排放的粤港澳大湾区港口效率测度及影响因素研究[J]. *物流科技*, 2023, 46(11): 99-101.
YE Shanchun. Port efficiency measurement and influencing factors in Guangdong[J]. *Logistics Science*, 2023, 46(11): 99-101.
- [16] 姚博鸿, 谭春兰, 朱徐凯, 等. 基于 DEA-Tobit 模型对长三角地区港口物流效率及其影响因素的实证研究[J]. *海洋经济*, 2022, 12(1): 21-31.
YAO Bohong, TAN Chunlan, ZHU Xukai, et al. Empirical study on the evaluation of port logistics efficiency and influencing factors in the Changjiang River Delta region based on the DEA-Tobit model[J]. *Marine Economy*, 2022, 12(1): 21-31.
- [17] 戴珊珂, 车斌. 基于 TOPSIS-集成学习模型的中国沿海地区新质生产力水平及影响因素研究[J]. *海洋开发与管理*, 2024, 41(10): 47-59.
DAI Shanyu, CHE Bin. A study on the level of new quality productive forces and influencing factors in China's coastal areas based on TOPSIS-integrated learning model[J]. *Ocean Development and Management*, 2024, 41(10): 47-59.
- [18] 门联欢, 甘爱平, 陈可桢. 绿色港口趋势下我国主要港口碳排放量的预测及减排对策[J]. *水运管理*, 2014, 36(8): 6-8.
MEN Lianhuan, GAN Aiping, CHEN Kezhen. Forecasting carbon emissions and formulating emission reduction strategies for major Chinese ports in the context of green port development[J]. *Shipping Management*, 2014, 36(8): 6-8.
- [19] 于韵. 青岛市港口货物吞吐量影响因素分析[J]. *科技和产业*, 2024, 24(20): 66-72.
YU Yun. Analysis of factors influencing the cargo throughput of Qingdao Port[J]. *Science Technology and Industry*, 2024, 24(20): 66-72.
- [20] 邓昭, 刘璐, 李亚男, 等. 中国沿海港口物流效率测度及影响因素研究: 基于超效率 SBM-Tobit 模型的实证分析[J]. *资源开发与市场*, 2024, 40(9): 1342-1349.
DENG Zhao, LIU Lu, LI Yanan, et al. Research on the measurement of and influencing factors on China's coastal port logistics efficiency: an empirical analysis based on the super-efficiency SBM-Tobit model[J]. *Resources Development & Market*, 2024, 40(9): 1342-1349.
- [21] 张浩, 杨慧敏. 基于考虑非期望产出的超效率网络 SBM 模型的我国商业银行效率[J]. *系统工程*, 2017, 35(4): 17-24.
ZHANG Hao, YANG Huimin. Efficiency evaluation of Chinese commercial banks based on the super-efficiency network SBM model with considering undesirable outputs[J]. *System Engineering*, 2017, 35(4): 17-24.
- [22] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.
WANG Jinfeng, XU Chengdong. Geodetector: principle and prospective [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.
- [23] 杨忍, 罗秀丽, 陈燕纯. 中国县域乡村地域多功能格局及影响因素识别[J]. *地理科学进展*, 2019, 38(9): 1316-1328.
YANG Ren, LUO Xiuli, CHEN Yanchun. Spatial pattern and influencing factors of rural multifunctionality at county level in China [J]. *Progress in Geography*, 2019, 38(9): 1316-1328.
- [24] 朱钰, 郑屹然, 尹默. 统计学意义下的多重共线性检验方法[J]. *统计与决策*, 2020, 36(7): 34-36.
ZHU Yu, ZHENG Yiran, YIN Mo. Methods of multicollinearity test in the statistical sense[J]. *Statistics & Decision*, 2020, 36(7): 34-36.
- [25] 刘彩彬. 运用财务比率分析企业财务危机的实证研究[J]. *投资与创业*, 2022, 33(16): 71-74.
LIU Caibin. An empirical study on enterprise financial crisis analysis based on financial ratios[J]. *Investment and Entrepreneurship*, 2022, 33(16): 71-74.

- [26] 闫春霞, 沈欣. 基于地理探测器的我国海水养殖产量的影响因素分析[J]. 海洋开发与管理, 2022, 39(2): 65-71.
YAN Chunxia, SHEN Xin. Influencing factors of the yield of mariculture in China based on geographic detector[J]. Ocean Development and Management, 2022, 39(2): 65-71.
- [27] 姚紫荆, 杨晓明, 吴峰, 等. 基于参数最优地理探测器的南太平洋长鳍金枪鱼渔业资源分布驱动力研究[J]. 海洋渔业, 2025, 47(2): 153-162.
YAO Zijing, YANG Xiaoming, WU Feng, et al. Driving factors of *Thunnus alalunga* resource status in the South Pacific by the optimal parameters-based geographical detector[J]. Marine Fisheries, 2025, 47(2): 153-162.
- [28] 王明舜, 郭璇, 王东方. 海洋新质生产力对海洋全要素生产率提升的作用机制研究[J]. 海洋开发与管理, 2025, 42(11): 136-147.
WANG Mingshun, GUO Xuan, WANG Dongfang. Research on the mechanism of the impact of marine new quality productivity on the improvement of marine total factor productivity[J]. Ocean Development and Management, 2025, 42(11): 136-147.
- [29] 孙才志, 马奇飞, 赵良仕. 基于GWR模型的中国水资源绿色效率驱动机理[J]. 地理学报, 2020, 75(5): 1022-1035.
SUN Caizhi, MA Qifei, ZHAO Liangshi. Analysis of driving mechanism based on a GWR model of green efficiency of water resources in China[J]. Acta Geographica Sinica 2020, 75(5): 1022-1035.
- [30] 胡秀荣, 张雪松, 彭宏杰, 等. 小流域尺度生态系统服务的时空异质性及其影响因素分析: 以府澧河流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2025, 34(1): 140-154.
HU Xiurong, ZHANG Xuesong, PENG Hongjie, et al. Spatial-temporal heterogeneity of ecosystem services at the watershed scale and corresponding social-ecological drivers: a case of the Fuhuan River basin, China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2025, 34(1): 140-154.
- [31] 张玲富, 豆勇芳. 沿海港口绿色效率测度与解析: 基于三阶段超效率SBM模型的研究[J]. 商展经济, 2024(14): 120-124.
ZHANG Lingfu, DOU Yongfang. Measurement and analysis of green efficiency of coastal ports: based on the three-stage super-efficiency SBM model[J]. Trade Fair Economy, 2024(14): 120-124.