

文章编号: 1000-4653(2026)02-0042-09

基于 PCA-CCDM 的我国港口城市 港产城融合度时空演变研究

赵楠*, 于洪伟

(上海海事大学 交通运输学院, 上海 201306)

摘要:港口、产业与城市具有显著的关联性,港产城融合体现了三者螺旋式发展中的协同演进关系。随着我国港口管理体制改革的深化,对港产城融合状态进行科学测度与机制解析的需求日益突出。针对既有研究中多指标信息重叠与系统协同关系难以量化的问题,构建一种基于主成分分析的耦合协调度模型(PCA-CCDM)。该方法以2004—2023年我国75个港口城市的面板数据为基础,通过主成分分析对港口、产业与城市子系统的高维指标进行降维处理,克服了指标间的多重共线性问题;继而运用耦合协调度模型量化三系统间的协同水平,并结合通过指标间相关性确定指标重要性(CRITIC)赋权法与面板熵权法进行综合赋权与稳健性检验。研究表明:研究期内我国港口城市融合度整体呈上升趋势,其演进过程受港口管理体制影响呈现阶段性波动;区域间与区域内融合度差异显著,极差达4.65,管理体制变迁、产业发展路径依赖与区域制度弹性差异是导致该分异格局的核心因素。据此提出构建跨域协同治理体系、实施差异化产业发展策略等政策建议,为推进港产城系统协同发展提供决策依据。

关键词:港口;港产城融合度;耦合协调模型;主成分分析;沿海港口城市;时空演变

中图分类号:U691

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.1000-4653.2026.02.005

Research on the spatiotemporal evolution of port-industry-city integration in China's port cities based on PCA-CCDM

Zhao Nan*, Yu Hongwei

(College of Transport and Communications, Shanghai Maritime University,
Shanghai 201306, China)

Abstract: The port, industry and city are significantly related, and their integration degree reflects the coordinated evolution relationship among the three in the spiral development. Against the backdrop of deepening reforms in China's port management system, there is a growing need to scientifically assess the state of port-industry-city integration and analyze its underlying mechanisms. To address the issues of multidimensional indicator overlap and the difficulty in quantifying systemic synergy in existing research, this study constructs a coupling coordination degree model based on principal component analysis. Based on the panel data of 75 port cities in China from 2004 to 2023, the model applies principal component analysis to reduce the dimensionality of high-dimensional indicators across the port, industry, and city subsystems, thereby addressing multicollinearity issues among the indicators. Subsequently, a coupling coordination degree model is employed to quantify the level of synergy among the three subsystems, while the criteria importance through intercriteria correlation weighting method and panel entropy weight method are integrated for comprehensive weighting and robustness testing. The research shows that the overall integration level of Chinese port cities showed an upward trend during the study period, with its evolution exhibiting phased fluctuations influenced by the port management system. Significant disparities in integration were observed both across and within regions, with a maximum range of 4.65.

收稿日期:2025-02-28

基金项目:上海市人民政府决策咨询研究重大课题(2025-A-07)资助

作者简介:赵楠(1986—),女,正高级研究员,博士,研究方向为港口规划、港口物流。*通信作者:nanzhao@shmtu.edu.cn

引用格式:赵楠,于洪伟.基于PCA-CCDM的我国港口城市港产城融合度时空演变研究[J].中国航海,2026,49(2):42-50.

Zhao N, Yu H W. Research on the spatiotemporal evolution of port-industry-city integration in China's port cities based on PCA-CCDM [J]. Navigation of China, 2026, 49(2): 42-50. (in Chinese)

Institutional changes in port management, path dependence in industrial development, and differences in regional institutional flexibility were identified as the core drivers of this spatial-temporal differentiation. Accordingly, policy recommendations such as establishing a cross-regional collaborative governance system and implementing differentiated industrial development strategies are proposed to advance the coordinated development of the port-industry-city system and provide a decision-making reference.

Key words: port; port-industry-city integration; coupled coordination model; principal component analysis; coastal port city; spatiotemporal evolution

港口作为区域经济发展的空间载体,其与属地城市、临港产业的协同关系深刻影响着区域资源配置效率以及空间结构优化。随着对外贸易的快速发展,我国开展港口管理体制变革,将港口下放地方,激发地方发展港口的积极性和活力,使港口基础设施规模快速扩张。但在港口管理权力下放的过程中也同时出现资源开发无序、同质化竞争等问题。为此,《交通强国建设纲要》《关于建设世界一流港口的指导意见》等政策明确提出加快推动港产城融合发展的政策指导,要求通过功能整合与要素协同提升港口竞争力。

关于港产城融合的研究主要聚焦于基于动态演化视角探讨其协调性与空间效应。例如,Chen 等^[1]通过数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)评估港城系统的可持续性,揭示资源配置效率对协同发展的影响。林波等^[2]基于空间杜宾模型验证港口对城市经济的正向空间溢出效应。文献[3]和文献[4]运用耦合协调度模型(Coupling Coordination Degree Model, CCDM)量化港城协同水平,发现区域差异呈扩大趋势。华欣等^[5]通过动态模型证实政策环境和港城发展存在双向互促关系。邓昭^[6]构建的逻辑回归模型揭示了沿海地区港城共生演化的非线性特征。

现有研究多集中于单一区域或特定路径分析。如 Wan 等^[7]针对长江内陆港口构建耦合协调模型,发现港口与产业发展的阶段性匹配规律,但在指标构建中并未考虑指标间的信息重叠问题。孟魁等^[8]通过面板向量自回归(Panel Vector Autoregression, PVAR)揭示内河港口物流、产业结构和城市经济的脉冲响应机制,但该方法并不能量化三者间的协同强度。尽管刘宇坤^[9]尝试综合灰色关联与耦合协调模型评价港产城系统,但其直接采用高维指标代入 CCDM 计算,使融合度测算结果受到高维指标间多重共线性的干扰。

综上所述,现有研究尚未从全局视角对港产城融合度的时空规律及其驱动机制进行量化分析。在模型方法使用中,主要采用 DEA、空间计量学、系统动力学和 CCDM 等模型。其中:DEA 模型虽能计算

系统效率,但难以刻画港产城三者间的动态交互关系;空间计量学模型侧重区域溢出或竞争效应,且难以量化港产城子系统的内部协同强度;系统动力学模型擅长长期政策模拟,但本研究侧重现状诊断与演进分析而非预测性推演。因此,本文主要采用耦合协调度模型来进行测算,详细模型对比见表 1。在港产城指标设计中,指标之间可能存在共线性关系,因此,在 CCDM 方法使用中通过主成分分析法(Principal Component Analysis, PCA)的降维特性将港产城系统的高维指标转化为少数线性无关的主成分,从而消除高维指标间的多重共线性对融合度测算结果的干扰问题。

表 1 模型对比

Tab. 1 Model comparison

对比维度	空间计量模型	系统动力学模型	PCA-CCDM 模型
优点	空间效应捕捉、区域异质性建模	长期动态模拟、政策情景测试	高维数据简化、系统协调性量化
缺点	依赖地理邻接或经济距离权重、对多重共线性耐受度低	无法解决高维指标共线性的问题、主观假设风险	非线性关系刻画不足

本文以我国沿海省份的 75 个港口城市 2004—2023 年面板数据为基础,揭示港口城市港产城融合度的时空演变规律,为港口城市治理提供支撑。

1 指标体系构建

港产城融合是港口、产业和城市基于自身发展利益及共同目标,在制度性和非制度性因素的作用下相互促进的过程。具体而言,港口作为战略枢纽,通过提升基础设施能力和水平降低区域内的物流成本,支撑产业和城市经济发展^[10]。临港产业围绕核心业务延伸产业链、形成产业集群,通过规模效应反哺港口规模和枢纽地位的壮大^[8,11]。城市作为港产城融合的核心载体,通过经济发展提升城市服务能

级进而支撑港口与产业发展^[3]。港口能级提升吸引产业集聚,产业集聚推动城市发展,城市壮大反哺港口与产业升级,三者相互作用形成动态良性循环。因此,在构建港产城融合度指标过程中,分别从港口基础设施能力、港口规模水平、产业结构、产业规模和城市经济规模等角度选择评价指标,港产城融合度测算指标体系见表2。

表2 港产城融合度测算指标体系
Tab.2 Evaluation indicator system for port-industry-city integration

一级指标	二级指标	三级指标
港产城融合度	城市经济	X_1 :城市生产总值/(亿元)
		X_2 :消费品零售总额/(亿元)
		X_3 :固定资产投资额/(亿元)
		X_4 :进出口总额/(亿美元)
		X_5 :实际利用外资额/(亿美元)
	产业发展	X_6 :工业增加值/(亿元)
		X_7 :大规模企业数量/个
		X_8 :第二产业占GDP比例
	港口规模	X_9 :货物吞吐量/(万吨)
		X_{10} :集装箱吞吐量/(万TEU)
		X_{11} :生产性码头泊位数量/个
		X_{12} :生产性码头长度/m

2 模型构建

2.1 基于PCA的指标体系降维模型

主成分分析是利用降维的思想将原来众多线性相关的变量重新组合成少数几个线性不相关的变量以达到将高维数据集转换为低维数据集的目的,消除指标间的相关影响,并保留绝大部分信息^[12-13]。根据表2对12个指标通过PCA模型进行降维处理,以解决多重共线性问题。

假设研究对象有 n 个样本,每个样本都有 m 个指标,他们被视为 m 个随机变量,并被记录为 X_1, X_2, \dots, X_m 。通过PCA,对这 m 个指标进行正向化和标准化,降维得到矩阵 Z ,把经过PCA转换后的线性不相关变量按照方差依次递减的顺序排列,提取的主成分个数要求累计贡献率超过85%,初始特征值大于1。并根据式(1)形成 k 个主成分 A_k 。

$$A_k = \gamma_{1k}X_1 + \gamma_{2k}X_2 + \dots + \gamma_{pk}X_p, k \leq p \quad (1)$$

式(1)中: $\gamma = \frac{a}{\sqrt{\lambda}}$, γ 为特征向量; a 为系数负荷; λ 为

特征值,以这些特征向量的分量值为权数将标准化数据进行加权得到第 k 个主成分 A_k 。然后,计算主成分的方差贡献率 β_i 和累计方差贡献率。最后,确定综合得分 Y 的值。

$$Y = \beta_1 A_1 + \beta_2 A_2 + \dots + \beta_m A_m \quad (2)$$

2.2 基于客观赋权法的耦合协调度模型

在计算耦合协调度之前需要利用客观赋权法对港口、产业和城市等3个子系统的值进行确定。同时为验证所选赋权法的稳健性,分别计算CRITIC(Criteria Importance Through Intercriteria Correlation)赋权法以及面板熵权法下的权重变异系数以确定客观赋权法的选用。

1) CRITIC赋权法具体步骤如下:

① 利用降维后的矩阵 Z 计算指标变异性 S_j 。

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_{ij} - \bar{z}_j)^2}{n-1}} \quad (3)$$

② 计算各指标间的皮尔逊相关系数矩阵 r_{ij} 。第 j 个指标与其他指标的冲突量化指标值为 R_j 。

$$R_j = \sum_{k=1}^{12} (1 - r_{jk}) \quad (4)$$

③ 计算指标信息量 C_j 。

$$C_j = S_j R_j \quad (5)$$

④ 计算指标权重 W_{j1} 。

$$W_{j1} = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^{12} C_k} \quad (6)$$

2) 面板熵权法步骤如下:

① 利用降维后的矩阵 Z 计算第 j 项指标下第 i 个对象的值占该指标的比例 P_{ij} 。

$$P_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^n z_{ij}} \quad (7)$$

② 计算第 j 项指标熵值 E_j 。

$$E_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (8)$$

③ 计算第 j 项指标的差异系数 G_j 。

$$G_j = 1 - E_j \quad (9)$$

④ 计算第 j 项指标的权重 W_{j2} 。

$$W_{j2} = \frac{G_j}{\sum_{j=1}^{12} G_j} \quad (10)$$

3) 耦合协调度模型主要用于分析事物的协调发展水平,一般是多个子系统之间存在相互影响。步骤如下:

① 利用通过比较权重变异系数后确定的客观赋权法得出的权重 W_{jl} , $l=1$ 或 2 ,计算港产城子系统的值 U_i 。

$$U_i = \mathbf{Z} \times \mathbf{W}_j, i = 1, 2, 3; U_i \in [0, 1] \quad (11)$$

② 计算耦合度 B 。

$$B = \left(\frac{\prod_{i=1}^3 U_i}{\left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 U_i \right)^3} \right)^{1/3}, B \in [a, 1] \quad (12)$$

式(12)定义了耦合度 B 与 3 个子系统发展水平 U_1 、 U_2 和 U_3 之间的数学关系。 B 值越大,子系统间离散程度越小,耦合度越高;反之,子系统间耦合度越低。

③ 计算综合协调指数 T 。

$$T = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \times U_i, \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1 \quad (13)$$

式(13)中: α_i 为第 i 个子系统的权重,一般设为相同权重。

④ 计算耦合协调度 D 。

$$D = \sqrt{B \times T} \quad (14)$$

2.3 融合度模型

融合度主要体现在港产城间的相互影响、相互作用后产生的综合影响效果。因此,融合度模型是在耦合协调度模型和 PCA 基础上建立的。有

$$Q = \eta D + \theta Y \quad (15)$$

式(15)中: Q 为融合度值; D 为耦合协调度; Y 为综合得分; η 和 θ 为待定系数,将 η 和 θ 设定为 0.5。

3 实证分析

3.1 数据来源

本文选择我国沿海港口省份(辽宁省、河北省、山东省、江苏省、浙江省、福建省、广东省、广西壮族自治区和海南省)中的 75 个港口城市作为分析评价对象,其中 45 个为沿海港口城市,30 个为内河港口城市。相关数据来自 2004—2023 年《中国港口年鉴》和 75 个港口城市的《统计年鉴》、各省市国民经济与社会发展统计公报等资料。其中,“大规模企业数”这一指标部分年份存在数据缺失问题,为解决数据缺失对时间序列连续性的影响,参考文献[14]的方法采用临近年份线性插值法补全。

3.2 港产城融合度测算

1) 利用马氏距离对原始数据中的异常值进行剔除,降低异常值干扰。

2) 根据式(1)采用 PCA,对现有关联指标进行降维处理,得出主成分载荷矩阵、各变量相关系数和指标权重。各主成分对应的原始指标组合见表 3。

① 主成分 1 主要由城市生产总值、实际利用外资额、大规模企业数量和集装箱吞吐量构成。体现城市经济活力、外资吸引能力和国际物流枢纽功能。

符合规模经济与开放政策协同驱动资源集聚的特征。

② 主成分 2 主要由生产性码头泊位数量、生产性码头长度和第二产业占 GDP 中的比例构成,体现港口基础设施能力与工业制造业形成物流规模之间的关系。

③ 主成分 3 主要由第二产业占 GDP 中的比例、工业增加值、货物吞吐量和集装箱吞吐量构成,揭示工业产业发展和港口物流规模之间的关系。相关系数矩阵见表 4,由表 4 可知:工业增加值与城市生产总值间呈高度相关性,体现产业对城市经济的拉动效应,通过正交旋转降低主成分间的交叉载荷干扰。生产性码头泊位数量与生产性码头泊位长度相关系数较高,反映港口基础设施内部的关联性。综合考虑表 3 中各主成分得分系数值以及权重对比(见表 5)中通过 PCA 确定的各指标权重,将指标“固定资产投资额”剔除。

表 3 主成分载荷矩阵

Tab. 3 Principal component loading matrix

名称	主成分 1	主成分 2	主成分 3
城市生产总值	0.792	-0.305	0.235
消费品零售总额	0.704	-0.253	0.010
固定资产投资额	-0.014	-0.030	0.005
进出口总额	0.590	-0.150	0.038
实际利用外资额	0.806	-0.000	-0.050
工业增加值	0.729	-0.254	0.387
大规模企业数量	0.813	0.126	0.317
第二产业占 GDP 中的比例	0.000	0.415	0.731
货物吞吐量	0.698	-0.004	-0.406
集装箱吞吐量	0.729	-0.217	-0.313
生产性码头泊位数量	0.432	0.790	-0.086
生产性码头长度	0.642	0.638	-0.260

将剔除过后的矩阵根据式(6)利用 CRITIC 赋权法对指标进行权重确定。为验证 CRITIC 赋权法的稳健性,本文通过对比根据式(10)确定的面板熵权法权重的变异系数后发现面板熵权法的结果稳健。然后利用面板熵权法确定的权重 W_j 根据式(11)计算港口、产业和城市子系统的值 U_i ,并分别根据式(12)和式(13)确定耦合度 B 和综合协调指数 T 。根据式(14)确定最终的耦合协调度,再根据式(2)计算综合得分。

表4 相关系数矩阵
Tab.4 Correlation matrix

变量	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
X_1	1.00	0.59	-0.01	0.37	0.53	0.88	0.60	-0.09	0.43	0.48	0.18	0.31
X_2	0.59	1.00	0.00	0.36	0.52	0.48	0.55	-0.12	0.40	0.46	0.16	0.29
X_3	-0.01	0.00	1.00	0.00	0.00	-0.01	-0.02	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.02
X_4	0.37	0.36	0.00	1.00	0.49	0.34	0.46	0.01	0.31	0.46	0.13	0.24
X_5	0.53	0.52	0.00	0.49	1.00	0.46	0.65	0.01	0.54	0.60	0.31	0.44
X_6	0.88	0.48	-0.01	0.34	0.46	1.00	0.59	0.05	0.37	0.39	0.16	0.28
X_7	0.60	0.55	-0.02	0.46	0.65	0.59	1.00	0.23	0.41	0.48	0.39	0.48
X_8	-0.09	-0.12	0.00	0.01	0.01	0.05	0.23	1.00	-0.10	-0.13	0.10	0.05
X_9	0.43	0.40	-0.01	0.31	0.54	0.37	0.41	-0.10	1.00	0.65	0.19	0.54
X_{10}	0.48	0.46	0.00	0.46	0.60	0.39	0.48	-0.13	0.65	1.00	0.09	0.38
X_{11}	0.18	0.16	-0.01	0.13	0.31	0.16	0.39	0.10	0.19	0.09	1.00	0.76
X_{12}	0.31	0.29	-0.02	0.24	0.44	0.28	0.48	0.05	0.54	0.38	0.76	1.00

表5 权重对比
Tab.5 Weighting comparison

指标	PCA	面板熵权	CRITIC
X_1 :城市生产总值/(亿元)	0.106 5	0.084 4	0.067 6
X_2 :消费品零售总额/(亿元)	0.084 1	0.082 0	0.042 4
X_3 :固定资产投资额/(亿元)	0.003 2	-	-
X_4 :进出口总额/(亿美元)	0.068 5	0.159 4	0.031 0
X_5 :实际利用外资额/ (亿美元)	0.082 2	0.098 0	0.095 0
X_6 :工业增加值/(亿元)	0.104 9	0.084 2	0.048 3
X_7 :大规模企业数量/个	0.102 8	0.061 5	0.112 4
X_8 :第二产业占GDP比例	0.058 2	0.005 6	0.193 6
X_9 :货物吞吐量/(万t)	0.088 9	0.083 0	0.140 8
X_{10} :集装箱吞吐量/(万TEU)	0.099 2	0.186 8	0.107 0
X_{11} :生产性码头泊位 数量/个	0.090 2	0.092 8	0.113 6
X_{12} :生产性码头长度/m 变异系数	0.111 2	0.062 4	0.048 4
	0.342 3	0.504 4	0.518 2

注: - 为无数据。

式(15)中本文将 η 和 θ 设定为0.5。为验证系数选取的合理性,对系数进行敏感性分析。其中, $\eta \in [0.2, 0.6]$, $\theta \in [0.1, 0.5]$ 。分别固定 $\theta = 0.5$,让 η 从0.2逐步增至0.6,计算融合度得分;固定 $\eta = 0.5$,让 θ 从0.1逐步增至0.5,计算融合度得分。通过计算不同参数值下的斯皮尔曼相关系数可

知,其相关系数均大于0.8,参数变化对结果影响微弱,系数选取合理。最后根据式(15)输出城市融合度。考虑到港产城融合度变化幅度通常呈少量城市高速增长,多数城市增速平缓。因此,通过计算每个城市2004—2023年融合度复合年均增长率并进行k-means聚类,设定前15%为高增长组,23%为中高速增长组,38%为中低增长组,24%为低增长组。港口城市分组情况见表6。

表6 港口城市分组情况
Tab.6 Grouping of port cities

分组	城市
高增长组	深圳、青岛、东莞、绍兴、南京、佛山、南通、烟台、泉州、厦门、扬州
中高增长组	苏州、广州、唐山、舟山、福州、温州、大连、台州、嘉兴、惠州、泰州、无锡、湖州、杭州、镇江、常州、徐州
中低增长组	淮安、日照、盐城、江门、钦州、潍坊、北海、南宁、莆田、中山、汕头、贵港、肇庆、营口、海口、茂名、滨州、百色、梧州、阳江、宁波、河源、潮州、汕尾、威海、来宾、清远、秦皇岛、连云港
低增长组	漳州、宿迁、宁德、湛江、沧州、珠海、金华、东营、柳州、丽水、揭阳、盘锦、云浮、锦州、丹东、葫芦岛、防城港、韶关

3.3 结果分析

3.3.1 时间维度

2004—2023 年我国沿海港口城市港产城融合度整体呈稳步增长态势见图 1,但不同类型港口之间存在差异,且从时间维度来看存在明显的阶段性差异。

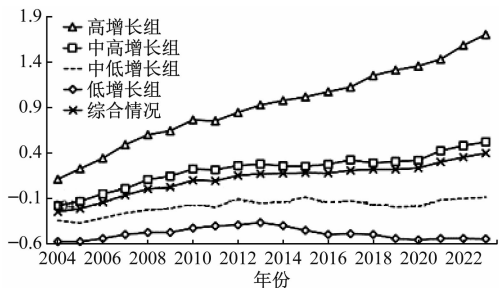


图 1 中国部分港口城市港产城融合度的分组演变

Fig. 1 Evolution of the grouping of port-industry-city integration degree in some port cities in China

将 75 个港口城市根据港产城融合度变化的速率来看,将其分为高增长组、中高增长组、中低增长组和低增长组等 4 个组别。其中:高增长组和中高增长组的典型代表为深圳、青岛、苏州、广州、唐山、福州、舟山、大连等沿海和长江下游港口城市,这些港口城市基于区位优势以及城市经济的高度开放港产城融合度普遍较高,形成生产要素集聚的循环累积效应;对于中低增长组和低增长组而言,港口区位条件不及高增长组港口,港口基础设施建设发展滞后,产业结构发展并未与港口优势资源适配,总体来看港产城融合度变化缓慢。

从时间维度来看,基于增速变化情况可以划分为 3 个阶段:

1) 第一阶段(2004—2010 年),港口管理权下放激活了地方政府的能动性,港口基础设施水平与吞吐能力快速提升,吸引带动工业制造业的发展,2004—2010 年,75 个港口累计货物吞吐量、工业增加值和城市生产总值的复合年均增长率分别达到 15.8%、16.5% 和 16.7%,见表 7,均显著高于第二阶段和第三阶段。

2) 第二阶段(2011—2019 年),金融危机引发外部需求收缩,产业增速放缓。同时,分权改革下的过度竞争导致规模经济失效,在这一过程中,由于产业动能不足,并且港口产能总体结构性富裕,抑制了中小港口城市通过港口带动产业发展的动能,同时枢纽港的虹吸效应加剧了区域发展失衡问题,也印证了新经济地理学中“核心-边缘”结构的动态演变,导致港产城融合的增长速度相较前一阶段明显放缓。

3) 第三阶段(2020—2023 年),基于港口的过度竞争和资源的无序开发,在 2017—2020 年各省开始推动一体化改革,强化港口群内的协同,2020 年后改革效应逐步显现,通过港口群的协同和差异化发展,解决超大型港口在依托港口发展临港工业制造业产业经济空间不足,中小港口城市依托港口带动城市产业经济增长不足的问题,港产城融合度进一步提升。

表 7 75 个港口城市生产总值、工业增加值、港口货物吞吐量累计规模

Tab. 7 Cumulative size of GDP, industry added value and port cargo throughput in 75 port cities

年份	城市生产总值		工业增加值		港口货物吞吐量	
	规模/ (万亿)	复合增 长率/%	规模/ (万亿)	复合增 长率/%	规模/ (亿 t)	复合增 长率/%
2004	7.7	-	3.6	-	26.8	-
2010	19.4	16.7	9.0	16.5	64.7	15.8
2019	43.5	9.4	15.8	6.5	112.0	6.3
2023	49.2	3.1	17.9	3.2	140.1	5.8

注:“-”为无数据。

3.3.2 空间维度

为体现地域特征差异对港产城融合度在空间维度上的影响,按照港口群的划分方式,将样本港口城市根据区位特征总结为演变规律。2004—2023 年我国部分港口城市的港产城融合度在空间维度上呈现整体提升但区域分异的特征见图 2。

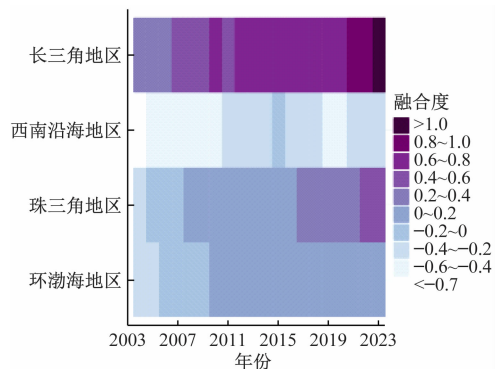


图 2 中国部分港口城市融合度的空间分异热力图

Fig. 2 Heat map of spatial divergence of integration in some port cities in China

1) 从新经济地理学视角看,长三角地区水网发达,且依托长江经济带辐射长江流域腹地,基于水路运输成本优势与长三角地区城市能级的规模报酬递增效应,实现依托港口加速产业集聚带动城市经济发展的正反馈机制,总体上长三角地区的港口城市

港产城融合度较高。并且国际排名领先的港口如宁波舟山港、上海港等均位于长三角区域,基于区域具有竞争力的物流成本优势,触发临港产业规模报酬递增,推动城市消费与外贸活跃度提升。尤其是江苏港口城市,分权改革推进较为彻底,部分港口甚至下放至县域层级,改革赋予的地方政策弹性,通过降低制度性交易成本吸引资本与技术流入,形成制度与地理要素的动态适配。

2) 珠三角地区与长三角地区相比,虽然也拥有较好的区位优势 and 开放的城市经济,但珠三角地区港口城市发展过度依赖外贸,并且在政策上存在适配性失衡问题,因此总体港产城融合度不及长三角地区。尤其在2017年以后,全国范围内均进行了港口一体化改革,而珠三角地区港口一体化改革的力度相对较弱,使枢纽港的枢纽地位并未强化,与周边中小港口的协同作用也并未发挥,导致2017年以后珠三角地区港产城融合度依旧增长缓慢。

3) 环渤海地区受城市经济支撑作用减弱影响,2017年后融合度增速放缓。2017年该区域的GDP增速为6.0%,显著低于全国6.9%的水平。经济发展的滞后使城市对港口贸易难以形成有效支撑,叠加城市服务功能缺陷,2017年现代服务业占比低于全国6.4%,导致港口与城市协同能力弱化,高附加值产业发展受阻,港产城融合发展放缓。港产城融合机理见图3。

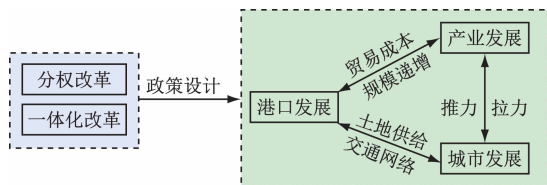


图3 港产城融合机理

Fig. 3 Mechanism of integration of port-industry-city

4) 西南沿海地区的发展受区位条件和外资吸引能力的双重制约。从区位条件看,该区域港口远离国际主干航线,导致货物平均航程增加,物流成本上升。这种区位优势直接削弱了港口对高端制造业的吸引力,2010年西南沿海地区的第二产业增加值规模仅为环渤海的10.7%,使产业集聚效应难以形成。从外资吸引能力来看,西南沿海对外开放起步较晚,外资吸引能力较弱,2004—2023年间实际利用外资的复合年均增长率仅为4.2%,低于全国增速,难以有效形成港产城融合的外部推力。

为进一步分析同一区域内港口城市的差异性,通过箱型图进行检验,区域内融合度差异见图4。由图4可知:我国部分港口城市在区域内部的融合

度差异仍然显著。

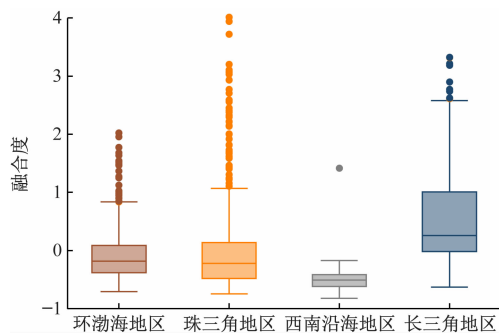


图4 区域内融合度差异

Fig. 4 Differences in integration within regions

① 长三角箱体呈正偏态且离散度最高,反映其“核心-边缘”结构的动态演化趋势非常明显,即枢纽港与中小港口在港产城融合度方面存在显著的差异性。以宁波舟山港为例,依托港口资源禀赋优势吸引产业集聚,城市能级显著提升,但当要素密度超过城市承载阈值时,土地敏感型产业外溢至舟山,形成梯度分工,产业层级的差异导致融合度呈现离散状态。

② 珠三角异常值较多主要基于其未推动港口一体化改革,导致枢纽港虹吸效应更加显著,规模报酬递增使临港产业集中于广州、深圳地区,而揭阳等中小港口则由于枢纽港的虹吸效应以及港产城融合发展的政策配套不足导致融合度总体偏弱。

③ 环渤海地区的港产城融合度箱体紧凑但尚须突出,尤其对辽宁省沿海港口而言,虽然进行了港口群的资源整合,但由于整体的区位特点和产业能级偏弱等原因,导致以锦州、葫芦岛为代表的中小型港口难以从港口群的整合中获得溢出效应,港产城融合度的提升面临困境。同时,由于环渤海地区腹地重工业依赖特征明显,导致产城功能失配,总体面临物流高规模、产城低协同的困境。

④ 西南沿海区域的箱体低位收敛特征揭示该区域内港口城市港产城发展面临的同质化瓶颈的问题。远离国际航线的区位优势以及城市发展资金受到限制,导致区域内各港口城市的产业长期低端固化,城市功能受限,港口升级困难,使区域整体维持低融合度状态。

4 结语

4.1 研究结论

港产城融合是推动港口与产业、城市可持续高质量发展的重要抓手。2004—2023年我国港口城市港产城融合度整体呈增长态势,但存在显著的阶段性差异、区域分异与组内异质性特征。

1) 从时间维度看,无论是2004年港口分权改革还是2017年之后的港口一体化改革都对促进港产城融合发展发挥了显著的正向作用。

2) 从空间维度看,长三角依托区位优势、城市能级优势等循环累积效应在港产城融合度方面呈现出明显优势;而珠三角地区因对外贸的强依赖和制度改革未及时调整在融合度方面不及长三角地区;环渤海受城市经济拖累;西南沿海则因区位与外资吸引能力的约束融合度整体不及其他两个沿海港口群。

3) 区域内差异方面,长三角“核心-边缘”结构突出,珠三角异常值频现,环渤海组内趋同但整体偏低,西南沿海呈低水平收敛。

当然本文研究也存在着一些不足,例如针对耦合协调度模型对非线性关系的刻画能力不足,未来可通过机器学习等方法改善。

4.2 政策建议

基于上述结论,本文提出如下政策建议:

1) 加强港口群协同作用,平衡港口群内港口城市之间的虹吸效应和溢出效应。对于长三角港口群和珠三角港口群普遍面临枢纽港口的城市空间不足、产业结构调整 and 能级提升,中小港口城市的港口资源未能充分带动城市经济发展的双重困境,应加大港口群的协同,提升港口群内城市整体的港产城融合度。

2) 构建差异化的制度体系。对于中小型港口城市,应加强对港口基础设施能力的投资力度,做大港口物流规模,降低物流成本,同时制定适港产业扶持政策,吸引产业要素集聚。对于城市承载空间不足的枢纽港城市而言,应强化与周边港口以资本为纽带的协同关系,同时推动所在港口城市的能级跃升,从服务传统制造业向服务高附加值制造业转型,提升港口物流服务能级,推动港产城融合的整体能级跃升。

3) 制定特色化产业发展战略,融入区域产业分工体系。考虑到中低增长组内因资源虹吸效应削弱区域竞争力,难以融入高附加值分工体系。建议主动对接区域经济中心的需求,并系统识别城市特色产业,通过定向承接产业转移构建特色供应链网络,完善港口与腹地产业的协作服务体系,避免同质化竞争导致的资源流失。

参 考 文 献

- [1] Chen C, Lam J S L. Sustainability and interactivity between cities and ports: a two-stage data envelopment analysis (DEA) approach [J]. *Maritime Policy and Management*, 2018,45(7): 944-961.
- [2] 林波,汤洁,鲁渤. 海上丝绸之路港口与城市经济的空间效应[J]. *系统工程学报*,2024,39(6):836-852. Lin B, Tang J, Lu B. Spatial effects of ports and urban economies along the Maritime Silk Road [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2024, 39(6): 836-852. (in Chinese)
- [3] 李振福,崔万达,周玉涛. 中国沿海港口群港城协同发展的动态演进及差异[J]. *地域研究与开发*,2024,43(6):60-66. Li Z F, Cui W D, Zhou Y T. Dynamic evolution and differences of coordinated development of China's coastal port clusters [J]. *Areal Research and Development*, 2024,43(6):60-66. (in Chinese)
- [4] 殷翔宇,宗会明,曲明辉,等. 我国沿海港口港城关系协同发展与驱动机制研究[J]. *人文地理*,2023,38(1):64-70. Yin X Y, Zong H M, Qu M H, et al. Research on coordinated development and driving mechanism of port city relationship of coastal ports in China [J]. *Human Geography*, 2023,38(1):64-70. (in Chinese)
- [5] 华欣,吕成双,王彤. 港城共生政策环境对经济高质量发展的促进——来自天津市的证据[J]. *现代城市研究*,2023(11):42-50. Hua X, Lu C S, Wang T. The promotion of the policy environment of port-city symbiosis to high-quality economic development: evidence from Tianjin [J]. *Modern Urban Research*, 2023(11):42-50. (in Chinese)
- [6] 邓昭. 中国沿海港口发展差异化的城市-区域空间演化研究[D]. 大连:大连海事大学,2022. Den Z. A study on the urban-regional spatial evolution of China's coastal port development differentiation [D]. Dalian:Dalian Maritime University, 2022. (in Chinese)
- [7] Wan Y, Huang C, Zhou W, et al. Evaluation of the coupling synergy degree of inland ports and industries along the Yangtze River [J]. *Sustainability*, 2023, 15(21):1-17.
- [8] 孟魁,李成标,张晨. 港口物流、产业结构与城市经济发展——基于长江经济带的实证[J]. *统计与决策*, 2023,39(23):123-127. Meng K, Li C B, Zhang C. Port logistics, industrial structure and urban economic development: an empirical analysis based on the Yangtze River Economic Belt [J]. *Statistics & Decision*, 2023, 39(23): 123-127. (in Chinese)
- [9] 刘宇坤. 港产城融合程度评价研究[D]. 大连:大连交通大学,2022.

- Liu Y K. Evaluation of port-industry-city integration degree[D]. Dalian: Dalian Jiaotong University, 2022. (in Chinese)
- [10] 闫金珠,李少梅,王映雪,等.多视图协同交互的港口规模与国家经济关联关系可视化研究[J].测绘科学技术学报,2025,41(1):80-87.
Yan J Z, Li S M, Wang Y X, et al. Visualization research on the relationship between port scale and national economy based on multi-view collaboration interaction [J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2025,41(1): 80-87. (in Chinese)
- [11] 庄宗武,叶振宇,张可云.产业链龙头企业、超大规模市场与制造业劳动生产率[J].经济学动态,2024(1):54-73.
Zhuang Z W, Ye Z Y, Zhang K Y. Industry chain leading firms, super large-scale market and manufacturing labor productivity [J]. Economic Perspectives, 2024(1):54-73. (in Chinese)
- [12] Wang C, Yang Q, Wu S. Coordinated development relationship between port cluster and its hinterland economic system based on improved coupling coordination degree model: empirical study from China's port integration[J]. Sustainability, 2022, 14(9):1-13.
- [13] Park Y S, Egilmez G, Kucukvar M. A novel life cycle-based principal component analysis framework for eco-efficiency analysis: case of the United States manufacturing and transportation nexus [J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 92: 327-342.
- [14] 邓郴宜,万勇.长三角产城融合水平测度、时空特征及驱动因素——基于修正后耦合协调度模型的研究[J].城市发展研究,2023,30(6):18-24.
Deng C Y, Wan Y. The level and features of industry-city integration level in the yangtze river delta: based on the modified coupled coordination model [J]. Urban Development Studies, 2023, 30 (6): 18-24. (in Chinese)
-
- (上接第41页)
- [10] Al Mamun M A, Sarkar M A R, Sarker M R, et al. Temperature variability and its effect on seasonal yield of rice in Bangladesh; a long-term trend assessment [J]. Cogent Food & Agriculture, 2025, 11(1): 2447903.
- [11] Zheng L, Lu W S, Huang J X, et al. Harnessing geographic information system and street view imagery for thermal gradient distribution auditing [J]. Urban Climate, 2025, 59: 102248.
- [12] Guo L M, Wang G X, Song C L, et al. Ground thermal regime changes caused by integrated warming, wetting, and greening in permafrost regions of the Qinghai-Xizang Plateau [J]. Catena, 2025, 249: 108658.
- [13] Corporal-Iodangco I L, Leslie L M. Cluster analysis of Philippine tropical cyclone climatology: applications to forecasting [J]. Journal of Climatology and Weather Forecasting, 2016, 4: 1-17.
- [14] Fukunaga K, Hostetler L. The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1975, 21(1): 32-40.
- [15] Cai L, Li Y B, Chen M, et al. Tropical cyclone risk assessment for China at the provincial level based on clustering analysis [J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2020, 11(1): 869-886.
- [16] 张云菲,张泽旭,朱芳琪.利用时空密度聚类的高速公路交通事故黑点路段鉴别[J].测绘通报,2022(10):73-79.
Zhang Y F, Zhang Z X, Zhu F Q. Identification of highway accident black spots based on spatio-temporal density clustering [J]. Bulletin of Surveying Mapping, 2022(10): 73-79. (in Chinese)
- [17] 黄杰忠,杨健,李东升.环境影响下基于模糊C均值聚类和高斯混合模型的隐式损伤识别方法[J].振动工程学报,2026,39(1):249-259.
Huang J Z, Yang J, Li D S. Implicit damage identification method based on fuzzy C-means clustering and Gaussian mixture model under environmental influence [J]. Journal of Vibration Engineering, 2026, 39(1):249-259. (in Chinese)
- [18] 黄艳国,张升升,刘红军.基于高斯混合模型聚类算法的交通状态划分[J].现代电子技术,2022,45(7):168-173.
Huang Y G, Zhang S S, Liu H J. Urban road traffic state identification based on Gaussian mixture model clustering algorithm [J]. Modern Electronics Technique, 2022, 45(7): 168-173. (in Chinese)