# 网络嵌入对中国沿海城市海洋经济外向服务功能的影响

郭建科[1,2]，韩韦冰[1]，张一川[2]，罗皓[1]，邓芷晴[1]

（1. 教育部人文社会科学重点研究基地辽宁师范大学海洋可持续发展研究院 大连 116029；
2. 辽宁师范大学地理科学学院 大连 116029）

**摘要：**在流空间重塑海洋经济空间组织的背景下，识别沿海城市海洋经济功能的演化特征及网络驱动机理至关重要。文章利用 2017 年与 2022 年中国沿海城市海洋经济多元流数据，通过引入网络效率因子改进外向服务功能测度模型，划分等级梯队与要素主导类型，并构建回归模型探讨网络嵌入对中国沿海城市海洋经济外向服务功能的影响机理。研究发现：（1）沿海城市外向服务能级呈显著的“金字塔型”梯队格局，核心城市多表现为复合要素主导型，而中低能级城市依赖单一要素；（2）网络嵌入程度是驱动功能提升的核心变量；（3）网络结构优势引发“功能外溢与中转损耗”效应，对沿海枢纽城市外向服务功能的提升产生抑制作用；（4）异质性分析发现网络嵌入对低层级城市的促进效应显著优于高层级城市，融入网络是边缘城市实现功能突破的关键路径。

**关键词：**海洋经济；流空间；外向服务功能；网络嵌入；层级异质性

**中图分类号：**K902；F124；P74 **文献标志码：**A **文章编号：**1005-9857（2026）04-0102-18

# Impact of Network Embeddedness on the Outward Service Functions of Marine Economy in China’s Coastal Cities

GUO Jianke[1,2]，HAN Weibing[1]，ZHANG Yichuan[2]，LUO Hao[1]，DENG Zhiqing[1]

（1. Key Research Base of Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education，Institute of Marine Sustainable Development，Liaoning Normal University，Dalian 116029，China；2. School of Geography，Liaoning Normal University，Dalian 116029，China）

**Abstract**：Under the background of the “space of flows” reshaping the spatial organization of the marine economy，it is crucial to identify the evolutionary characteristics and network-driven mechanisms of coastal city functions．Utilizing multi-dimensional flow data of the marine economy from Chinese coastal cities in 2017 and 2022，this study improves the outward service function measurement model by introducing a network efficiency factor．It classifies hierarchical echelons and factor-dominant types，and constructs a regression model to explore the influence mechanisms of network embeddedness on the outward service functions of China’s coastal cities．The findings indicate that：（1）The

**收稿日期：**2026-02-15；**修订日期：**2026-04-20

**基金项目：**教育部人文社科重点研究基地重大项目“区域海洋经济高质量发展的资源与要素配置效率及网络优化研究”（22JJD790028）.

**作者简介：**郭建科，教授，博士生导师，研究方向为区域海洋经济与空间规划、港口航运网络与交通地理、海洋地缘经济等

outward service energy levels of coastal cities exhibit a significant “pyramid-shaped” echelon pattern; core cities are mostly characterized as multi-factor-driven, while middle-and-low-level cities rely on single factors.（2）Network embeddedness is the core variable driving functional improvement.（3）Structural advantage in the network triggers a “functional spillover and transfer loss” effect, exerting a negative impact on the functional enhancement of coastal hub cities.（4）Heterogeneity analysis reveals that the promotion effect of network embeddedness on lower-level cities is significantly superior to that on higher-level cities; integrating into the network is a key path for peripheral cities to achieve functional breakthroughs.

**Keywords**: Marine economy; Space of flows; Outward service function; Network embeddedness; Hierarchical heterogeneity

## 0　引言

伴随全球化深入发展和数字技术迅速演进，地理空间内的人流、物流、资金流、信息流、技术流等要素的跨区域流动愈发频繁[1]。在此背景下，以地缘空间邻近性为基础的区域联系模式逐渐弱化，区域发展从“场所空间”向“流空间”转型，城市或区域间的联系越来越依赖要素的流动及其形成的网络化组织结构[2-3]。在国家深入推进“陆海统筹”与高质量建设海洋强国战略的背景下，中国沿海城市也正经历从传统“场所空间”向“流空间”的深刻转型，依托港口门户、枢纽通道及产业开放的内生优势，沿海城市已成为多元流要素跨区域汇聚与配置的核心节点，沿海地区也因此形成了开放性和网络化的海洋经济联系模式[4-5]。在此背景下，沿海城市的功能内涵正经历从本地要素集聚向区域网络配置的转型。传统的以属地产值规模为核心的评价体系已难以准确刻画沿海城市在网络中的实际影响力，精准识别流动要素对城市经济发展的赋能效应，对于优化陆海统筹布局、提升沿海城市群的区域协同管理能级具有重要现实意义。如何测度城市在流空间中的真实服务能级，并识别网络结构对其功能的驱动机理，已成为深化海洋经济空间组织研究的关键科学命题。

城市外向服务功能源于经典城市经济基础理论，本质上是城市基本部门面向外部市场提供相关产品与服务，并通过要素输出获得收益的能力[6]。在流空间时代，其内涵已由传统的物质商品输出转型为以多元要素深度耦合驱动的跨区域功能辐射，其载体也由“地理区位”转向了“网络联系”。城市的功能能级不再仅取决于内部资源的存量，更取决于其在流要素网络嵌入过程中对要素流动的控制力与组织效率。长期以来，学术界围绕城市功能评价开展了大量研究。国外学者 Harris[7] 首次以人均批发销售额和人均零售额作为城市有无对外联系功能的指标，许多学者以此为基础对城市与其腹地的经济联系展开定量评价与实证研究。Muller[8] 通过增长模型研究了美国北部城市间物流、人流、交通运输流动态变化对经济发展的影响，强调城市不是孤立的点，而是通过各种“流”相互连接的系统，城镇的经济增长并非孤立发生，而是取决于它在区域贸易网络中的地位。国内学者则更多地发展和应用了以城市流强度模型为代表的测度体系。该模型由朱英明等[9] 早期提出，其核心思想是通过城市间各种“流”的强度来刻画城市的对外服务能力。在后续的大量实证研究中，由于直接流动数据难以获取，研究者通常采用城市的行业就业人口、经济规模等“属性数据”作为对外输出功能的替代指标，并结合引力模型来估算城市间的联系强度。这一模型被广泛应用于中国城市群、区域、省域等不同尺度的外向服务功能研究[10-13]，涵盖了从整体经济到生产性服务业、物流业、金融业等多个特定行业[14-16]。主要研究内容涉及外向功能的空间格局、动态演变、影响因素以及区域协同效应[17-20]。然而，依赖属性数据和距离衰减假设的方法，一方面难以充分体现要素流动的网络组织对服务能力的影响；另一方面，其本质上仍是一种“自上而下”的引力推演，而非对真实流量的直接刻画。近年来，研究趋

势指向将真实流量数据与网络结构分析相结合。研究者开始尝试利用企业投资、航空客运等真实的流量数据，来替代传统的就业人口或经济规模指标，以更精确地测度外向服务功能[14]。然而，既有研究仍有进一步深化的空间。传统测度模型忽视网络组织效率。流要素网络为城市外向服务功能提供了结构性支撑，流要素通过网络在城市节点汇聚，经过城市内部产业的加工与整合，转化为外向服务能级。流要素网络是城市功能的骨架，而外向服务功能是城市在网络中价值实现的产物。传统城市流强度模型多侧重于从业规模或流量的绝对规模，忽略了城市在复杂网络中获取、转运和传播流动要素的组织能效，难以准确反映城市的实际服务水平。关于网络嵌入这一结构性因素如何具体驱动城市服务功能的演变，仍缺乏系统且量化的实证分析，尤其是针对不同嵌入层级城市是否存在响应异质性的实证检验匮乏。

针对上述不足，本文利用 2017 年和 2022 年中国沿海城市的涉海多元流数据，通过引入网络效率指标改进传统测度模型，科学界定海洋经济外向服务功能的等级格局，为后续的影响机制回归分析提供了核心被解释变量。在此基础上，构建回归模型，深入探讨网络嵌入程度与结构优势对外向服务功能的动态驱动机理。本文旨在回答：在网络化组织背景下，城市外向服务功能呈现何种特征？网络嵌入的提升是否具有普遍的驱动效应？研究旨在为分类指导沿海城市功能定位和优化区域协同管理提供决策依据。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区概况

本文以中国沿海地区为研究区域，基于海洋经济基础和流要素活跃度，从环渤海、长三角、珠三角等区域中筛选出具有代表性的沿海城市作为样本。具体筛选过程为：以涉海企业异地投资规模、港口航线连通性、互联网信息流通强度和技术流动频率为主要指标，初步确定候选城市。结合国家海洋强国战略布局及指标数据的可获得性，剔除海洋经济活动较弱或数据缺失的城市，最终筛选出 50 个城市。北部海洋经济圈（大连、锦州、丹东、营口、盘锦、葫芦岛、秦皇岛、唐山、沧州、天津、青岛、威海、日照、烟台、潍坊）；东部海洋经济圈（上海、南京、无锡、苏州、南通、连云港、镇江、扬州、泰州、盐城、温州、宁波、舟山、台州）；南部海洋经济圈（福州、厦门、泉州、莆田、广州、深圳、珠海、东莞、惠州、江门、阳江、潮州、揭阳、汕头、汕尾、湛江、北海、钦州、防城港、海口、儋州）。这些城市覆盖了中国海洋经济的主要功能区，具备较强的区域代表性与数据可得性。此外，针对数据处理的一致性问题，本文对空间单元进行了必要的归并。2015 年，宁波舟山港实现实质性一体化运营，两市在物流、资金及信息交互上已呈现高度同质化特征，故本文将宁波与舟山视作统一的海洋经济流要素网络节点，以增强实证分析的科学性与客观性。为方便研究表述，以下分析将宁波—舟山视为一个研究单元。

### 1.2 数据来源与预处理

基于流动空间理论，选取涉海人流、物流、信息流、资金流和技术流作为测度沿海城市海洋经济外向服务功能强度与构建流要素网络的指标，具体数据来源、描述及时间范围如表 1 所示。为确保数据的可比性和代表性，数据预处理分为以下步骤：首先，统一量纲并突出主要联系，以 2017 年和 2022 年各类流要素联系强度的均值作为阈值，剔除低于均值的弱联系，保留网络中的主要结构，避免次要联系对分析的干扰；其次，标准化各流要素数据，生成网络矩阵，分别构建五类单一流要素网络；最后，将每种流要素视为同等重要，赋予各矩阵等权重（0.2）合成折叠矩阵，构造聚合网络，形成综合流。

回归模型所用经济指标与人口指标主要来源于《中国城市统计年鉴》及各地统计公报等公开统计资料；部分缺失数据通过同口径年鉴或地方统计年鉴补充。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 外向服务功能测度模型

城市流强度用于描述城市或区域之间人流、物流、资金流、信息流、技术流相互作用产生的外向

**表 1　海洋经济流要素数据来源**

**Table 1　Data sources for marine economic flow elements**

| 流要素 | 数据来源 | 数据描述 | 时间范围 |
|---|---|---|---|
| 人流 | 高德迁徙平台 | 根据高德地图用户定位数据，提取城市间人口迁徙指数，作为人流联系指标 | 2017 年、2022 年 |
| 物流 | AIS（船舶自动识别系统） | 通过筛选中国沿海港口间的船舶航行记录，提取城市间物流联系强度 | 2017 年、2022 年 |
| 信息流 | 百度指数平台 | 以“城市 + 海洋经济”为关键词，获取城市间搜索量指数，量化互联网信息流通的广度与关联强度 | 2017 年、2022 年 |
| 资金流 | 天眼查平台 | 提取经营范围含“海洋”“港口”“船舶”的企业跨城市投资数据（注册资本≥ 200 万元，存续 / 在业状态），作为资金流量 | 2017 年、2022 年 |
| 技术流 | 国家知识产权局及 incoPat 数据库 | 提取海洋产业相关专利的跨城市转移记录，表征技术联系 | 2011—2017 年、2018—2022 年 |

注：专利转移和技术合作具有显著时滞效应，单一年度数据难以反映技术流动的累积趋势，因此，选取 2011—2017 年和 2018—2022 年两个较长周期以捕捉专利转移趋势。

功能影响量，表征城市与外界联系的强弱，反映城市的对外服务能力，计算公式为：

$$F = N \times E \tag{1}$$

式中：$F$ 为城市流强度；$N$ 为功能效率，模型以海洋经济多元流网络节点网络效率代替传统城市流模型的功能效率，体现城市节点在网络中整体联系的传递效率和辐射能力；$E$ 为城市外向功能量，以城市人流、物流等流要素联系量代替传统城市流强度模型的就业人口。判断城市是否具有外向服务功能，取决于该城市流要素联系量的区位商，$i$ 城市在 $j$ 类流要素上的区位商为 $\mathrm{LQ}_{ij}$。

$$\mathrm{LQ}_{ij} = \frac{G_{ij} / G_i}{G_j / G} (i = 1, 2, \cdots, n;\ j = 1, 2, \cdots, m) \tag{2}$$

式中：$G_{ij}$ 为 $i$ 城市 $j$ 类流要素的联系量，$G_i$ 为 $i$ 城市的总联系量，$G_j$ 为区域内 $j$ 类流要素的联系量，$G$ 为区域的总联系量。若 $\mathrm{LQ}_{ij} < 1$，则 $i$ 城市 $j$ 类流要素不存在外向功能，$E_{ij}$ 为 0；若 $\mathrm{LQ}_{ij} > 1$，则 $i$ 城市 $j$ 类流要素存在外向功能，即 $i$ 城市 $j$ 类流要素相对于全国对外形成位差，可为外界提供服务。

$$E_{ij} = G_{ij} - G_i (G_j / G) \tag{3}$$

城市 $i$ 海洋经济流要素总外向功能量为：

$$E_i = \sum_{j=1}^{m} E_{ij} \tag{4}$$

在传统“场所空间”视角下，模型功能效率侧重于本地生产要素的投入产出比；但在“流空间”视角下，海洋经济外向服务功能的本质是城市对跨区域流动要素的组织、集聚与再分配能力。节点网络效率（节点在拓扑网络中的最短路径倒数的平均值）反映了该城市节点获取全网流动要素的便捷程度，是流空间视角下城市跨域组织效率的直接体现。最短路径越短，意味着要素流转成本越低，从而显著提升了流动要素向外向服务功能转化的效能。因此，本文使用节点网络效率代替传统城市流模型中的功能效率，计算公式为：

$$N_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq 1} \frac{1}{d_{ij}} \tag{5}$$

式中：$N_i$ 为节点 $i$ 的网络效率；$d_{ij}$ 为节点 $i$ 和节点 $j$ 之间的最短路径；$n$ 为网络中的节点总数。

1.3.2　普通最小二乘回归模型

普通最小二乘法（Ordinary Least Squares，OLS）是实证研究中估计变量间线性关系最基础且应用最广泛的计量模型。本文采用静态结构效应模型与变化量模型，旨在识别在既定网络结构下，城市的网络嵌入程度与结构优势是否对其外向服务功能产生显著影响。

外向服务功能的形成过程可以理解为：各类涉海要素通过跨城市流动形成网络关系结构，城市在网络中的位置越接近核心，节点的联系越密切，其在要素集聚、资源整合和服务辐射等方面的能力也越强，从而表现为更高水平的外向服务功能。反之，若城市处于网络边缘，其获取要素信息、资源

联通与服务外溢的能力均受到限制，外向服务功能水平也相对较低。因此，海洋经济流要素网络结构不仅影响要素流向与传播效率，而且通过改变城市的空间组织方式与职能分工格局，进而影响其外向服务功能。

为了系统检验海洋经济流要素网络结构对沿海城市外向服务功能的影响机制，本文从外向服务功能、网络结构特征以及城市基本经济属性三个方面构建指标体系，并在城市尺度上进行量化分析。相关变量均在 2017 年与 2022 年两个时间截面上进行测度，并在部分模型中进一步计算跨期变化值，以反映动态调整过程。

（1）被解释变量：外向服务功能（$F$）

外向服务功能用于衡量城市通过组织、配置和辐射海洋相关要素，为城市经济发展提供服务的综合能力。本文基于前文构建的外向服务功能测度模型，利用涉海人流、物流、资金流、信息流和技术流等要素流强度，对 49 个研究单元（原 50 个城市经宁波—舟山合并后）进行计算，得到城市外向服务功能指数。为削弱异方差性并便于系数解释，本文采用自然对数形式进行回归分析。

（2）核心解释变量：网络结构特征

网络嵌入程度（NE）：反映城市参与海洋经济要素流网络的深度与广度。本文采用加权度中心性测度，其理论内涵侧重于要素吸纳与资源获取能力。指标值越大，意味着城市通过直接联系获取的流动要素规模越大，越有利于形成规模效应并转化为本地外向服务功能。

网络结构优势指数（$E$）：刻画城市在网络全局结构中的通道控制力与枢纽地位。该指标综合了介数中心性、接近中心性与聚类系数，其理论内涵侧重于中转组织职能。具有高结构优势的城市在网络中扮演要素中转站角色，不仅负责本地服务，更承担着跨区域要素的协调与流转职能。

$$E_i = \frac{1}{3}\left(Z_i^C Z_i^B Z_i^{CC}\right) \tag{6}$$

式中：$E_i$ 为城市网络结构优势指数；$Z_i^C$为标准化后的接近中心性，衡量城市资源获取与信息传递的效率；$Z_i^B$为标准化后的中介中心性，体现城市枢纽地位与结构控制力；$Z_i^{CC}$为标准化后的局部聚类系数，反映城市在局部网络中的协同特征。指标值越大，表明城市在海洋经济流要素网络中兼具较高的路径效率、枢纽优势与局部协同能力，其网络结构位置越具有综合性优势。

（3）控制变量：城市基本经济指标

为避免遗漏变量偏误，本文选取反映城市经济发展基础与要素承载能力的指标作为控制变量。

经济发展水平（GDPpc）：采用人均地区生产总值，衡量城市经济发展程度及市场规模。经济基础雄厚的城市往往具备更完善的服务体系和更强的对外辐射能力，因此，经济发展水平可能显著影响外向服务功能。

产业结构优势（IS）：采用产业结构高级化指数衡量城市产业由低端向高端形态升级的程度，反映生产性服务业和现代制造业的发展水平。产业结构越高级，意味着城市越具备高附加值和高端服务功能，更有利于形成外向型功能优势。

人口规模（POP）：采用年末常住人口规模衡量城市的人口集聚程度与要素集散能力。人口越多，说明城市具有更充足的劳动力供给、消费需求和潜在服务市场，也可能强化其外向服务能力。为避免量纲影响，后续回归中采用对数化处理。

基于变量体系，本文从静态结构效应、结构变化效应以及嵌入程度异质性差异三个方面，对海洋经济流要素网络结构与外向服务功能之间的关系进行多角度识别与检验。鉴于数据形式为跨期截面数据（2017 年与 2022 年），本文采用静态结构效应模型与变化量模型相结合的方法，以尽可能刻画网络结构在不同阶段及不同调整情境下对外向服务功能的作用机制。其中，静态结构效应模型采用普通最小二乘法（OLS）进行回归分析，变化量模型采用一阶差分回归方法对所有变量进行处理，即对各变量的变化量进行 OLS 回归。

静态结构效应模型。为识别不同年份网络结构对外向服务功能的静态影响，本文分别在 2017 年与 2022 年两个时间截面上构建多元线性回归模型。

$$\ln F_{it} = \alpha + \beta_1 \mathrm{NE}_{it} + \beta_2 E_{it} + \gamma_1 \mathrm{GDPpc}_{it} + \gamma_2 \mathrm{IS}_{it} + \gamma_3 \ln \mathrm{POP}_{it} + \varepsilon_{it} \tag{7}$$

式中：$i$ 为城市；$t$ 为年份；$\ln F_{it}$ 为城市外向服务功能的对数形式；$\mathrm{NE}_{it}$ 与 $E_{it}$ 分别为城市在网络中的嵌入程度与结构优势；$\mathrm{GDPpc}_{it}$、$\mathrm{IS}_{it}$、$\ln\mathrm{POP}_{it}$ 分别为经济发展水平、产业结构高级化指数和人口规模控制变量；$\varepsilon_{it}$ 为随机扰动项。

变化量模型。考虑到外向服务功能的形成与演化往往是一个累积性过程，网络结构的变化可能对功能调整产生持续影响。为识别网络结构变化对外向服务功能变化的作用机制，本文构建变化量模型：

$$\Delta\ln F_i = \theta_1\Delta\mathrm{NE}_i + \theta\Delta E_i + \phi_1\Delta\mathrm{GDPpc}_i + \phi_2\Delta\mathrm{IS}_i + \phi_3\Delta\ln\mathrm{POP}_i + \mu_i \quad (8)$$

式中：$\Delta\ln F$ 为外向服务功能变动幅度，$\Delta\mathrm{NE}$、$\Delta E$ 分别为网络嵌入程度与结构优势的变化，其余变量同理；$\mu$ 为随机扰动项。

考虑到网络结构效应可能随城市嵌入层级不同而存在差异，本文进一步引入异质性分析框架。以网络嵌入程度（NE）为划分标准，将样本城市分为“高嵌入组”和“低嵌入组”，分别估计静态结构效应模型，并比较核心变量系数差异，以识别网络结构在不同嵌入层级下对外向服务功能的作用是否存在显著分化。

## 2　沿海城市海洋经济外向服务功能特征

### 2.1　外向服务功能的总体水平与空间分布

2017 年，沿海城市外向服务功能在总体规模上表现出较为显著的集中态势，如表 2 所示，全国沿海城市外向服务功能总值为 2 762.89，从城市间差异看，外向服务功能在不同城市之间分布极不均衡，变异系数达到 126.51%，表明城市间外向服务功能水平差距较大。就空间分布而言，外向服务功能呈现出明显的核心—边缘格局，外向服务功能高值城市主要集中分布于少数沿海核心城市，在全国海洋经济对外联系中占据重要地位。如表 3 所示，上海、广州等枢纽节点的集聚效应显著；而多数沿海城市外向服务功能水平相对较低，呈现出向核心城市集聚的空间特征。从位序规模看，2017 年外向服务功能在沿海地区呈现出较为典型的等级分布特征，少数城市集聚了较高比例的外向服务功能，而外向服务功能处于中低水平的城市数量较多，整体分布具有明显的长尾特征。如图 1 所示，位序在 10

**表 2　外向服务功能总体水平**

**Table 2　Overall level of outward service functions**

| 年份 | 均值 | 中位数 | 最大值 | 最小值 | 标准差 | 变异系数 /% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 56.39 | 24.21 | 289.48 | 0.76 | 71.33 | 126.51 |
| 2022 | 45.97 | 22.99 | 407.07 | 0.82 | 66.75 | 145.22 |

**表 3　沿海城市海洋经济外向服务功能空间分布**

**Table 3　Spatial distribution of outward service functions of coastal cities**

| 海洋经济圈 | 排名 | 2017 年城市 | 2017 年外向服务功能值 | 2022 年城市 | 2022 年外向服务功能值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 北部海洋经济圈 | 第 1 位 | 青岛 | 264.47 | 青岛 | 128.47 |
| | 第 2 位 | 天津 | 207.50 | 天津 | 119.99 |
| | 第 3 位 | 大连 | 107.09 | 唐山 | 81.65 |
| | 第 4 位 | 烟台 | 89.96 | 大连 | 77.71 |
| | 第 5 位 | 秦皇岛 | 50.06 | 日照 | 41.20 |
| 东部海洋经济圈 | 第 1 位 | 南通 | 337.37 | 上海 | 407.07 |
| | 第 2 位 | 上海 | 289.48 | 宁波—舟山 | 204.47 |
| | 第 3 位 | 宁波—舟山 | 191.30 | 苏州 | 141.55 |
| | 第 4 位 | 苏州 | 177.02 | 南通 | 118.10 |
| | 第 5 位 | 南京 | 131.73 | 南京 | 118.07 |

续表 3

| 海洋经济圈 | 排名 | 2017 年城市 | 2017 年外向服务功能值 | 2022 年城市 | 2022 年外向服务功能值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 南部海洋经济圈 | 第 1 位 | 广州 | 176.61 | 东莞 | 148.85 |
| | 第 2 位 | 东莞 | 137.38 | 惠州 | 81.33 |
| | 第 3 位 | 厦门 | 128.22 | 深圳 | 78.69 |
| | 第 4 位 | 深圳 | 110.22 | 福州 | 75.73 |
| | 第 5 位 | 惠州 | 86.89 | 厦门 | 62.97 |

注：外向服务功能值基于外向服务功能测度模型计算所得，宁波—舟山作为统一研究单元处理。

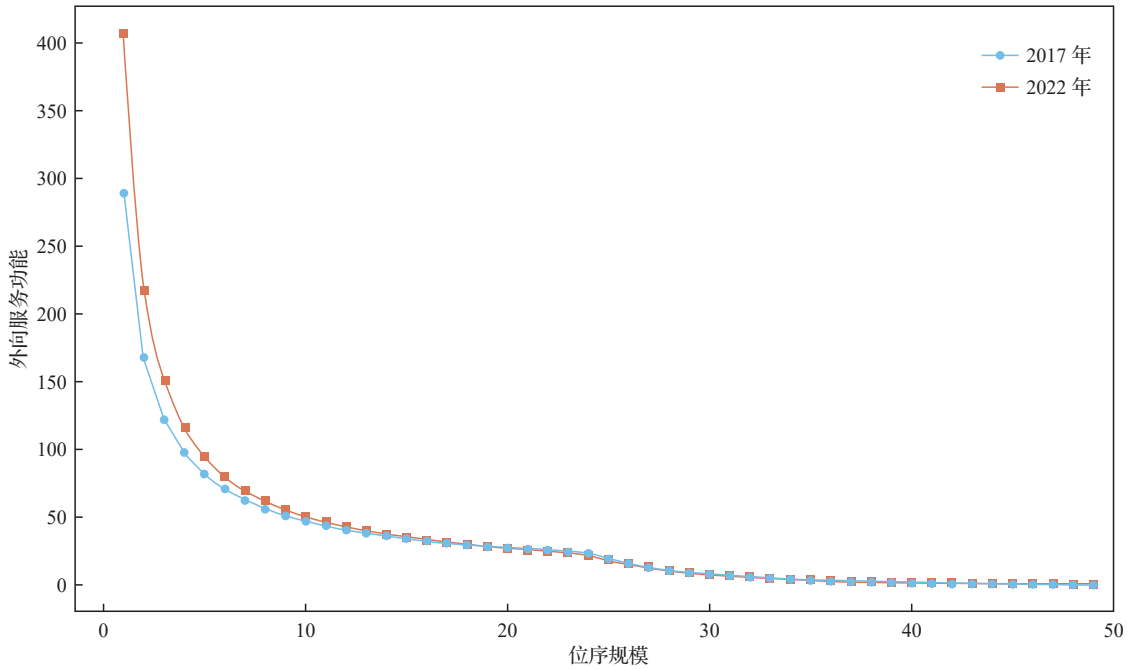


图 1 沿海城市外向服务功能位序规模情况

Fig.1 Rank-size distribution of outward service functions in coastal cities

之后的城市曲线趋于平缓，表明外向服务功能处于中低水平的城市存在较大同质性，沿海城市外向服务功能在空间上并非均衡分布，而是呈现出较强的层级性和集中性。

2022 年，沿海城市外向服务功能在总体规模上为 2 252.37，城市间差异依然显著，变异系数为 145.22%。从空间分布看，外向服务功能同样表现出明显的空间不均衡特征，高值城市仍主要集中于少数沿海核心城市，其在区域海洋经济对外服务体系中发挥着重要支撑作用。与此同时，外向服务功能水平较低的城市在空间上分布较为广泛，整体格局仍表现出明显的核心—边缘结构。在分布形态上，2022 年沿海城市外向服务功能同样呈现出等级化和集中化特征，外向服务功能在少数城市中高度集聚更加显著。整体来看，无论是总体水平还是空间分布形态，沿海城市外向服务功能均表现出显著的空间分异特征，体现出沿海城市在海洋经济对外服务体系中的功能分工差异。

为进一步揭示沿海城市海洋经济外向服务功能在空间组织上的等级性特征，分别以 2017 年和 2022 年为时间截面，基于综合外向服务功能测度结果，采用 K-means 聚类方法对沿海城市进行分层分析。以外向服务功能强度为输入变量，在保证聚类结果稳定性与可解释性的前提下，将沿海城市划分为高水平、中水平和低水平三类，从而系统刻画不同时间截面上海洋经济外向服务功能的梯队结构格局。

2017 年的聚类结果表明（表 4），沿海城市外向服务功能在空间上呈现出明显的等级分化特征，不同层级城市在数量规模、功能集聚程度及空间分布上均存在显著差异。高水平外向服务功能城市共 6 个，包括上海、南通、青岛、天津、宁波—舟山和广州。该层级城市在数量上占比较少，但在外向服务功能体系中处于核心位置，占全国外向服务功能总量的 47%，体现出显著的功能集中性。这类城市通常在全国或区域海洋经济体系中承担着综合性对外服务职能，是多种海洋经济要素流动的重要集散节点，其外向服务功能在空间组织中具有明显的枢纽型特征。中水平外向服务功能城市共 6 个，包括苏州、南京、东莞、深圳、厦门和大连。该层级城市在功能规模上处于中等水平，在整体外向服务功能体系中发挥着承上启下的作用。从空间结构上看，这类城市多分布于高水平城市周边或区域性经济核心区域，在一定程度上承担着对高水平城市功能的分担和补充职能，是沿海城市外向服务功能体系中的重要支撑层。低水平外向服务功能城市数量最多，共 37 个，构成了沿海城市外向服务功能体系的基础层级。该类城市外向服务功能强度整体偏低，单个城市在全国外向服务功能总量中的占比较小，但在空间上分布广泛，覆盖几乎全部沿海区域。从结构上看，低水平城市更多承担的是区域性、基础性或辅助性的外向服务职能，其在数量上的优势与功能规模上的相对弱势形成鲜明对比。整体而言，2017 年沿海城市外向服务功能呈现出典型的“金字塔型”等级结构：高水平城市数量少但功能高度集中，中水平城市数量适中并发挥区域支撑作用，低水平城市数量占绝对多数但单体功能规模有限，等级分化特征显著。

**表 4　2017 年外向服务功能 K-means 分层结果**

**Table 4　K-means clustering results of outward service functions，2017**

| 梯队 | 数量 | 城市 | 平均值 |
|---|---|---|---|
| 高水平 | 6 | 上海、南通、青岛、天津、宁波—舟山、广州 | 217.72 |
| 中水平 | 6 | 苏州、南京、东莞、深圳、厦门、大连 | 113.40 |
| 低水平 | 37 | 福州、烟台、惠州、扬州、连云港、台州、温州、秦皇岛、海口、唐山、湛江、泉州、盐城、汕头、镇江、潍坊、无锡、珠海、泰州、北海、儋州、江门、沧州、莆田、营口、威海、揭阳、潮州、阳江、汕尾、葫芦岛、丹东、锦州、日照、盘锦、钦州、防城港 | 20.98 |

2022 年的聚类结果显示（表 5），沿海城市外向服务功能在空间上依然呈现出明显的等级分化格局，但不同层级的结构形态表现出新的特征。高水平外向服务功能城市仅 1 个，即上海，其在外向服务功能强度上明显高于其他沿海城市，在空间结构中形成高度集中的核心层级，在新冠疫情背景下承担着连接国内国际双循环的核心门户作用，表现出显著的单核集聚特征，在沿海城市外向服务功能体系中具有不可替代的枢纽地位。中水平外向服务功能城市共 8 个，包括宁波—舟山、苏州、青岛、东莞、天津、南京、南通和深圳。该层级城市构成了 2022 年外向服务功能体系中的中坚力量，在功能规模上明显高于低水平城市，但与核心城市之间仍存在较为明显的功能差距。从空间分布看，这类城市多位于沿海经济较为发达的区域，是连接核心城市与广大沿海城市的重要功能节点。低水平外向服务功能城市共 40 个，数量占比进一步提高。这类城市外向服务功能强度整体较低，在空间上呈现出广泛分布的特征，是沿海城市外向服务功能体系的基础组成部分。从结构上看，低水平城市在数量上的高度集中与功能规模上的分散并存，体现出其外向服务功能在空间组织上的显著不均衡性。总体来看，2022 年沿海城市外向服务功能呈现清晰的等级结构，在层级构成上表现出“核心集中—中间扩展—底层占优”的结构特征，空间层级分化依然显著。

**表 5 2022 年外向服务功能 K-means 分层结果**

**Table 5 K-means clustering results of outward service functions，2022**

| 梯队 | 数量 | 城市 | 平均值 |
|---|---|---|---|
| 高水平 | 1 | 上海 | 407.07 |
| 中水平 | 8 | 宁波—舟山、苏州、青岛、东莞、天津、南京、南通、深圳 | 117.91 |
| 低水平 | 40 | 大连、福州、唐山、惠州、厦门、台州、广州、连云港、无锡、儋州、温州、泉州、汕头、日照、扬州、湛江、营口、潍坊、镇江、盐城、秦皇岛、珠海、泰州、江门、揭阳、威海、海口、沧州、莆田、潮州、烟台、北海、丹东、汕尾、阳江、盘锦、锦州、钦州、葫芦岛、防城港 | 22.55 |

综合 2017 年与 2022 年两个时间截面的聚类结果可以看出，沿海城市外向服务功能在不同年份均呈现出稳定而清晰的等级分化格局。无论是研究初期还是后期，高水平城市数量始终有限，而中低水平城市构成了外向服务功能体系的主体，空间上的集聚性和层级性特征突出。从空间组织结构上看，沿海城市外向服务功能整体呈现出“少数核心城市—若干中等支撑城市—大量基础城市”的多层级体系，等级化梯队格局反映出沿海城市在海洋经济对外服务体系中的功能分工状态。

### 2.2 外向服务功能的要素主导类型特征分析

在前文分析沿海城市海洋经济外向服务功能的总体水平和空间格局的基础上，进一步从要素结构层面考察不同城市外向服务功能的内在差异。为此，本文利用区位商（Location Quotient，LQ）指标，对沿海城市在不同海洋经济流要素外向服务功能中的相对专业化取向进行识别，进而刻画外向服务功能的要素主导类型及其变化特征。当某城市在某一要素上的区位商大于 1 时，表明该要素在其外向服务功能结构中的占比高于全国平均水平，可视为该城市外向服务功能的主导要素。基于上述判定原则，本文进一步按照城市在不同要素上的区位商表现，对外向服务功能的要素主导类型进行划分：当仅有一类要素的区位商大于 1 时，将其界定为单一要素主导型；当两类要素的区位商大于 1 时，界定为双要素主导型；当三类及以上要素的区位商大于 1 时，则界定为复合要素主导型。该分类方式有助于从结构层面揭示沿海城市外向服务功能的类型差异。

基于区位商测算结果，可以从要素层面与类型层面对沿海城市外向服务功能的结构特征进一步分析。总体来看，沿海城市在不同海洋经济流要素上的相对专业化取向存在显著差异，外向服务功能在要素结构层面呈现出较为明显的分化格局。

从要素层面看，2017 年，不同要素对应的主导型城市数量差异较大（表 6）。其中，在信息流要素上区位商大于 1 的城市数量最多，共有 35 个城市在外向服务功能结构中呈现出信息流主导取向，表明信息流要素在沿海城市外向服务功能中具有较为广泛的结构性重要性。人流要素主导型城市数量次之，共有 25 个城市的人流区位商大于 1，显示人流要素在较多沿海城市的外向服务功能中占据相对较高的比重。相比之下，资金流和技术流要素的主导型城市数量相对较少，分别为 14 个和 13 个，反映出资本配置和技术输出等要素的外向服务功能更集中于部分城市。物流要素主导型城市数量最少，仅有 11 个城市的物流区位商大于 1，表明海洋物流外向服务功能在结构上呈现出较强的集中性，其专业化取向主要分布于少数具备枢纽港口作用和地理区位优势的城市。

从要素主导类型结构来看，2017 年，沿海城市外向服务功能呈现出以双要素主导型城市为主的特征。在 49 个沿海城市中，共有 29 个城市两类要素的区位商大于 1，占比较高，表明多数城市的外向服务功能并非依赖单一要素，而是由两类要素共同支撑。与此同时，单一要素主导型城市共有 10 个，其外向服务功能在结构上对某一类要素的依赖程度较高；另有 10 个城市表现为复合要素主导型，即在 3 类及以上要素上呈现相对专业化取向，显示其外向服务功能结构相对多元。

**表 6　2017 年沿海城市海洋经济外向服务功能要素主导特征**

**Table 6　Dominant characteristics of marine economic outward service function elements，2017**

| 分类维度 | 子类 / 要素类型 | 城市数量 | 占比 /% | 代表性城市 |
|---|---|---|---|---|
| 要素主导取向 | 信息流 | 35 | 71.4 | 深圳、南京、福州 |
| | 人流 | 25 | 51.0 | 苏州、东莞、珠海 |
| | 资金流 | 14 | 28.6 | 上海、广州、天津 |
| | 技术流 | 13 | 26.5 | 广州、南通、海口 |
| | 物流 | 11 | 22.4 | 上海、宁波—舟山、青岛 |
| 主导类型结构 | 单一要素主导型 | 10 | 20.4 | 南通、东莞、福州 |
| | 双要素主导型 | 29 | 59.2 | 上海、广州、青岛 |
| | 复合要素主导型 | 10 | 20.4 | 深圳、大连、唐山 |

从整体结构特征来看，2017 年，沿海城市外向服务功能在要素结构上以双要素主导型为主体，同时单一要素主导型与复合要素主导型并存，呈现出结构多样化的特征。在研究初期，沿海城市外向服务功能尚未形成高度单一化或高度多元化的结构格局，而是处于多种要素共同作用和结构差异并存的发展阶段。

从要素层面来看，2022 年，不同要素对应的主导型城市数量仍呈现明显分化特征（表 7）。其中，信息流要素中区位商大于 1 的城市数量最多，共有 33 个城市在外向服务功能结构中呈现出信息流主导取向，表明信息流要素在沿海城市外向服务功能中的结构性重要性依然突出。人流要素主导型城市数量为 23 个，显示出较多城市在对外服务中仍较为依赖人力要素流动。资金流要素中区位商大于 1 的城市数量为 19 个，较 2017 年有所增加，反映出部分城市在资本要素外向服务功能中的相对专业化程度有所提升。相比之下，技术流要素主导型城市数量为 14 个，物流要素主导型城市数量仍为 11 个，这两类要素的主导型城市数量相对较少，表明涉海技术输出与海洋物流外向服务功能在结构上依然集中于少数城市。这一结果显示，在 2022 年外向服务功能结构中，不同要素的专业化扩散程度存在明显差异。

从要素主导类型结构来看，2022 年，沿海城市外向服务功能仍以双要素主导型城市为主体。在 49 个沿海城市中，共有 27 个城市两类要素的区位商大于 1，占据主导地位；复合要素主导型城市数量增至 12 个，显示部分城市外向服务功能的要素结构呈现出更为多元的特征；单一要素主导型城市数量

**表 7　2022 年沿海城市海洋经济外向服务功能要素主导特征**

**Table 7　Dominant characteristics of marine economic outward service function elements，2022**

| 分类维度 | 子类 / 要素类型 | 城市数量 | 占比 /% | 代表性城市 |
|---|---|---|---|---|
| 要素主导取向 | 信息流 | 33 | 67.3 | 宁波—舟山、南京、大连 |
| | 人流 | 23 | 46.9 | 苏州、东莞、深圳 |
| | 资金流 | 19 | 38.8 | 上海、天津、大连 |
| | 技术流 | 14 | 28.6 | 上海、苏州、青岛 |
| | 物流 | 11 | 22.4 | 上海、宁波—舟山、青岛 |
| 主导类型结构 | 单一要素主导型 | 10 | 20.4 | 东莞、南通、福州 |
| | 双要素主导型 | 27 | 55.1 | 宁波—舟山、苏州、青岛 |
| | 复合要素主导型 | 12 | 24.5 | 上海、深圳、大连 |

为 10 个，其规模与 2017 年相比保持稳定。这表明，在新冠疫情冲击背景下，沿海城市外向服务功能的要素结构并未出现明显的单一化趋势，反而在部分城市中表现出结构多元化的特征。

总体来看，2022 年，沿海城市外向服务功能在要素结构层面延续了以信息流和人流要素为重要支撑的基本格局，同时资本要素的相对专业化取向有所增强。不同城市在要素主导类型上的差异，反映了沿海城市在外向服务功能体系中的结构分工特征。

在前文分别分析 2017 年与 2022 年沿海城市外向服务功能要素主导类型特征的基础上，通过对两期区位商结果的对比，可进一步揭示研究期内沿海城市外向服务功能在要素结构层面的调整特征。2017—2022 年，沿海城市外向服务功能的要素主导类型并未发生根本性转变，但在具体要素分布和类型结构上呈现出一定程度的重组与分化。

从要素层面来看，不同要素对应的主导型城市数量变化方向存在明显差异（表 8）。信息流要素主导型城市数量由 2017 年的 35 个小幅下降至 2022 年的 33 个，但仍然是主导型城市数量最多的要素类型，表明信息流要素在沿海城市外向服务功能结构中的基础性地位保持相对稳定。人流要素主导型城市数量由 25 个减少至 23 个，变化幅度较小，人流要素在外向服务功能结构中的相对重要性总体保持稳定。

**表 8　2017—2022 年沿海城市外向服务功能要素主导类型演变**

**Table 8　Evolution of dominant types of outward service function elements，2017—2022**

| 维度 | 子类 / 要素 | 2017 年数量 | 2022 年数量 | 增减 |
|---|---|---|---|---|
| 要素主导取向 | 信息流 | 35 | 33 | −2 |
| | 人流 | 25 | 23 | −2 |
| | 资金流 | 14 | 19 | +5 |
| | 技术流 | 13 | 14 | +1 |
| | 物流 | 11 | 11 | 0 |
| 主导类型结构 | 单一要素主导型 | 10 | 10 | 0 |
| | 双要素主导型 | 29 | 27 | −2 |
| | 复合要素主导型 | 10 | 12 | +2 |

相比之下，资金流要素主导型城市数量由 2017 年的 14 个增加至 2022 年的 19 个，增幅较为明显，反映出研究期内，部分沿海城市在外向服务功能结构中对资本要素的相对依赖程度有所增强。技术流要素主导型城市数量由 13 个增至 14 个，变化幅度较小，表明涉海技术外向服务功能的专业化有一定程度的扩散。物流要素主导型城市数量在两期均为 11 个，显示出海洋物流外向服务功能在结构上的集中性较强，其主导型城市分布相对稳定。从要素主导类型结构来看，沿海城市外向服务功能在研究期内仍以双要素主导型为主体，但内部结构发生了一定调整。双要素主导型城市数量由 2017 年的 29 个减少至 2022 年的 27 个，占比略有下降；与此同时，复合要素主导型城市数量由 10 个增加至 12 个，显示出部分城市外向服务功能的要素结构趋于多元化。单一要素主导型城市数量两期均为 10 个，整体保持稳定，说明在外向服务功能要素结构中，仍有一部分城市对单一要素保持较高程度的结构依赖。

进一步从类型转换特征看，研究期内既存在主导类型保持稳定的城市，也存在主导类型发生变化的城市。首先，一部分城市两期均保持相同的要素主导集合，体现出外向服务功能要素结构的相对稳定性。例如，宁波—舟山在 2017 年与 2022 年均表现为“信息—物流双要素主导型”，南京两期均为“信息—技术双要素主导型”，苏州两期均为“人流—技术双要素主导型”，南通两期均为技术单一主导型，表明这些城市的外向服务功能在要素结构层面具有较强的延续性。与此同时，部分城市由单一要素主导型或双要素主导型转变为复合要素主导型，反映其外向服务功能结构在要素层面呈现出一定的多元化趋势。例如，上海由“资金—物流双要素主导”转变为“资金—物流—技术复合主导”；广州由“资金—技术双要素主导”转变为“资金—人流—技术复合主导”；镇江由“信息—人流双要素主导”转变为“资金—人流—技术复合主导”；烟台由“资金—技术双要素主导”转变为“资金—信息—技术复合主导”。这些城市的变化共同表明，研究期内沿海城市外向服务功能存在由“集中要素

组合”向“多要素组合”扩展的结构表现。此外，也有少数城市虽未发生主导要素数量层级的改变，但主导要素的具体构成发生调整，体现出外向服务功能要素结构的重组特征。台州由“信息单一主导型”转变为“技术单一主导型”；无锡由“人流—技术双要素主导型”转变为“信息—人流双要素主导型”；深圳两期均属于复合主导型，但主导要素由“信息—物流—人流”调整为“物流—人流—技术”。总体而言，沿海城市外向服务功能要素主导类型的变化并非同步发生，而是呈现出差异化调整特征。

综合来看，研究期内沿海城市外向服务功能在要素结构层面表现为“总体稳定、局部调整”的演变特征。一方面，信息流和人流要素在外向服务功能结构中的基础性地位保持不变；另一方面，资本要素主导型城市数量的增加以及复合要素主导型城市的扩展，表明沿海城市外向服务功能结构正在向多元化要素组合方向发展。

## 3　网络结构对外向服务功能的影响机制分析

### 3.1　静态结构效应模型实证分析

表 9 展示了 2017 年沿海城市外向服务功能水平的多元线性回归结果。模型（1）至模型（4）逐步纳入经济发展水平、产业结构和人口规模等控制变量，以检验网络结构特征对外向服务功能的稳健影响。在回归之前，对主要解释变量进行了多重共线性检验。结果显示，各变量的方差膨胀系数（VIF）均小于经验判断阈值 10，说明模型不存在共线性问题，变量设定具有较好的统计识别性。

**表 9　2017 年基准回归结果**

**Table 9　Baseline regression results，2017**

| 变量 | ln$F$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 模型（1） | 模型（2） | 模型（3） | 模型（4） |
| NE | 0.347*** | 0.047 | — | 0.147** |
| $E$ | −7.873* | — | −4.356* | −8.840** |
| GDPpc | — | 0.928** | 1.323*** | 1.019*** |
| IS | — | 0.469* | 0.698*** | 0.526** |
| lnPOP | — | 0.903*** | 1.157*** | 0.853*** |
| $R^2$ | 0.594 | 0.702 | 0.721 | 0.762 |
| Adj$R^2$ | 0.577 | 0.675 | 0.696 | 0.734 |

注：*** $p < 0.01$，** $p < 0.05$，* $p < 0.1$。

从网络结构变量看，网络嵌入程度在不含控制变量的模型（1）中显著为正（$\beta$=0.347，$p < 0.01$），表明在仅考虑网络因素时，城市嵌入程度越高，其外向服务功能水平越强。然而，在逐步纳入控制变量后，网络嵌入程度的系数下降，并在模型（2）中变为不显著，仅在模型（4）中仍保持显著（$\beta$=0.147，$p < 0.05$）。这一结果说明，网络嵌入程度对外向服务功能的促进作用在一定程度上受经济发展水平等因素的共同影响，其独立解释力在控制经济发展基础条件后有所减弱，但仍具有阶段性显著性，表明网络联通性仍是外向服务功能形成的重要结构性基础。而网络结构优势指数在全部模型中均表现出显著负向影响，其中，模型（4）的系数为 −8.840（$p < 0.05$），表明处于高度集聚、结构核心位置的城市，其外向服务功能并未同步增强，反而呈现出显著的“功能外溢与中转损耗”效应。原因在于核心型节点承担大量中转职能，其服务产出更多在网络空间向周边节点辐射分散，产生“功能外溢”；同时，伴随高昂的组织协调成本与网络拥挤所产生的“中转损耗”，进而削弱其外向服务功能发展。这也从侧面印证了外向服务功能并非完全等同于节点在网络中的核心地位。

从控制变量看，人均 GDP 在各模型中始终显著为正，模型（4）中系数为 1.019（$p < 0.01$），表明经济发展水平越高，越有能力形成完善的服务供给体系和开放型资源配置能力，是支撑外向服务功能的重要基础条件。产业结构高级化指数和人口规模同样表现为显著正向影响，产业结构越高级，生产性服务部门集聚程度越高，人口资源越集中，越有利于形成对外服务能力，尤其是人口规模的系数较大，反映出外向服务功能仍具有明显的人口规模依赖属性。

从模型整体拟合效果看，逐步纳入控制变量后，模型解释力由 0.594 提升至 0.762，调整后的 $R^2$ 由 0.577 上升至 0.734，说明经济社会基础变量显著提升了模型解释力。与经济发展水平和人口规

模等城市经济发展基础相比，网络结构变量更多体现为一种结构层面的附加影响，即在既有发展条件基础上，通过提升节点在网络中的嵌入深度和结构位置，从而进一步增强外向服务功能。综合来看，2017 年的实证结果表明网络嵌入程度是增强城市外向服务功能的重要促进因素，而网络结构优势越强并不必然带来更高水平的外向服务功能，甚至在一定条件下会产生抑制效应。网络结构与外向服务功能之间并非线性正相关，而是呈现出结构差异与功能分化的显著特征。

2022 年沿海城市外向服务功能的多元线性回归结果如表 10 所示。与 2017 年相同，模型（1）至模型（4）逐步纳入经济发展水平、产业结构和人口规模等控制变量，以检验网络结构因素对外向服务功能的影响。

**表 10　2022 年基准回归结果**

**Table 10　Baseline regression results，2022**

| 变量 | ln$F$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 模型（1） | 模型（2） | 模型（3） | 模型（4） |
| NE | 0.282*** | 0.086* | — | 0.168** |
| $E$ | −4.438* | — | 0.579 | −4.333* |
| GDPpc | — | 0.602* | 0.849*** | 0.664* |
| IS | — | −0.027 | 0.137 | −0.037 |
| lnPOP | — | 0.200** | 0.838*** | 0.589** |
| $R^2$ | 0.538 | 0.648 | 0.617 | 0.672 |
| Adj$R^2$ | 0.517 | 0.616 | 0.582 | 0.634 |

注：*** $p < 0.01$，** $p < 0.05$，* $p < 0.1$。

从网络结构变量看，网络嵌入程度在模型（1）中系数显著为正（$\beta$=0.282，$p < 0.01$），在逐步加入控制变量后显著性有所下降，但在模型（4）中仍保持显著正向影响（$\beta$=0.168，$p < 0.05$）。这表明，即便在加入控制变量之后，网络嵌入程度仍能够稳定促进外向服务功能水平，城市在海洋经济流要素网络中的连接深度和参与广度依然是塑造外向服务能力的重要结构性基础。而网络结构优势指数在模型（1）与模型（4）中均表现为显著负向关系（分别为 −4.438 与 −4.333，$p < 0.1$），仅在个别模型中转为不显著。这一结果与 2017 年的结论大体一致，再次印证处于结构核心或高度集聚位置的城市，其外向服务功能并未实现线性增长，反而受到“功能外溢与中转损耗”效应的共同制约，使其外向服务功能水平发展受到一定抑制。换言之，城市在网络结构中的地位提升并不等同于外向服务职能的强化，甚至可能伴随部分功能向周边节点的再分配。

从控制变量看，人均 GDP 在模型（4）中仍保持显著正向影响（$\beta$=0.664，$p < 0.1$），表明经济发展基础仍是外向服务功能的重要支撑。而人口规模在 2022 年的作用进一步增强，在模型（4）中系数达到 0.589（$p < 0.05$），明显高于 2017 年的水平，反映出在新冠疫情冲击及复杂外部环境背景下，人口规模带来的市场韧性与需求腹地，对维系城市外向服务功能发挥了更加突出的缓冲与支撑作用。产业结构高级化指数在各模型中均不显著，说明短期内服务型产业结构升级与外向服务功能之间尚未形成充分联动，具有明显的阶段性特征，需进一步分析。

综合解释力方面，模型 $R^2$ 由 0.538 逐步提升至 0.672，调整后的 $R^2$ 达到 0.634，说明模型具有较好的拟合效果，网络结构与经济社会基础因素对外向服务功能具有共同解释力。

实证结果显示，网络嵌入程度（NE）对功能提升具有显著促进作用，而网络结构优势指数（$E$）则呈现显著的负向影响，这一差异揭示了海洋经济网络中的枢纽悖论效应。网络嵌入程度的正向驱动源于规模累积，即直接联系的增加带来了更多的要素支撑，而网络结构优势的负向作用则源于功能外溢与中转损耗。占据结构核心位置的枢纽城市，其海洋经济活动呈现出强烈的通道化特征。大量流动要素在其节点仅作短暂停留或中转，便向周边层级较低的城市发生功能外溢，使得本地外向服务功能的转化受到制约。此外，维持高强度枢纽控制职能需承担组织协调成本和基础设施压力，结构性负担在要素转化过程中导致边际效率递减。因此，对于核心节点城市而言，结构位置优越反而可能越会抑制其本地外向服务功能的增长。

### 3.2　网络结构变化对外向服务功能的跨期响应

前文已基于 2017 年与 2022 年时间截面数据，分析了海洋经济流要素网络结构对城市外向服务功能水平的静态影响。然而，静态模型尚不足以揭示网络结构变化是否会在跨期尺度上引致外向服务功能的同步调整，以及这种调整过程是否具有差异化特征。为此，本文进一步构建变化量模型，从动态视角检验海洋经济流要素网络结构调整对城市外向服务功能变化的影响机制。具体而言，分别计算 2017 年与 2022 年外向服务功能、网络结构指标以及控制变量的变化量进行回归分析，能够更直接反映网络结构调整能否带来外向服务功能的同步提升，从而揭示机制作用的动态属性。

根据前文构建的变化量模型，以 2017—2022 年外向服务功能变化量 $\Delta \ln F$ 为被解释变量，分别从网络结构变化与经济发展基础变化两个层面展开回归分析，回归结果如表 11 所示。

**表 11　变化量回归结果**

**Table 11　Regression results of changes in variables**

| 变量 | $\Delta \ln F$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 模型（1） | 模型（2） | 模型（3） | 模型（4） |
| ΔNE | 0.421*** | 0.387*** | — | 0.147*** |
| $\Delta E$ | −4.71** | — | −3.649 | −4.414** |
| ΔGDPpc | — | 0.451 | 0.563 | 0.359 |
| ΔIS | — | −0.127 | 0.698 | −0.114 |
| ΔlnPOP | — | −0.947 | 1.157 | −0.567 |
| $R^2$ | 0.353 | 0.283 | 0.114 | 0.371 |
| Adj$R^2$ | 0.326 | 0.218 | 0.034 | 0.298 |

注：*** $p < 0.01$，** $p < 0.05$。

从模型（1）可以看出，在仅引入网络嵌入程度变化（ΔNE）和网络结构优势变化（$\Delta E$）的情形下，两者对外向服务功能变化均具有显著影响。其中，ΔNE 的回归系数为正且通过了显著性检验，表明在未控制其他因素时，城市在海洋经济流要素网络中的嵌入程度若在研究期内得到提升，其外向服务功能水平相应呈现出同步增强趋势。而 $\Delta E$ 的系数为负，说明在研究期内，若城市在网络中的结构优势进一步加强，即向核心位置进一步集中，其外向服务功能变化反而趋于下降。整体来看，仅依靠结构变量即可解释相当比例的外向服务功能变化，网络结构调整在功能演化中的作用不容忽视。在引入经济发展基础变化控制变量的模型（4）中，ΔNE 仍保持正向，$\Delta E$ 依然为负，均通过显著性检验，结构变量的方向与模型（1）保持一致，网络嵌入程度提升对外向服务功能改善的促进作用以及网络结构优势强化对功能调整的抑制效应依然存在，网络结构变化对外向服务功能调整的影响具有较强的稳健性。

模型（2）与模型（3）分别考察了在网络嵌入程度变化或网络结构优势变化与经济发展基础变化变量共同作用下的结果，但显著性水平相对有限。结果表明，经济发展、产业结构和人口规模为外向服务功能提供了必要的物质与需求基础，但单纯依靠经济基础的发展改善不足以充分解释城市外向服务功能的差异化调整，与前文静态截面模型相比，经济发展基础变量在变化量模型中的统计作用有所削弱，一定程度上反映出城市经济发展基础更多决定的是外向服务功能的存量水平，而功能增量的形成则更依赖于网络连接关系的变化及其带来的要素流动。

从模型整体拟合效果看，各模型均处于合理区间，在仅使用网络结构变量的情形下即可获得较好的解释力，在加入经济发展基础变化变量后模型拟合程度有所提升但边际增量有限，表明网络结构变化在解释外向服务功能变化方面处于核心地位，而经济发展基础变化更多地起到补充性作用。

基于上述变化量回归结果，可以进一步从机制层面对海洋经济流要素网络结构调整与城市外向服务功能演化之间的关系进行解释。实证结果表明，网络嵌入程度变化对外向服务功能变化具有显著正向影响，在研究期内，城市若能够持续提高其在网络中的联通程度、参与程度以及互动活跃度，其外向服务功能水平更可能呈现同步增长趋势。这一结果可从联通性增强机制加以理解，随着城市在网络中的嵌入程度不断提升，其所处的要素联系半径不断扩大、流要素资源获取能力增强、跨区域合作关系更加密集，从而提高了要素流动的配置效率与匹

配程度，使得城市的外向服务供给能力与辐射能力得到强化。该结果进一步验证了外向服务功能显著依赖于网络互动关系的结构基础，本质上体现了一种“嵌入—互动—能力强化”的累积效应。结构优势变化对外向服务功能变化具有显著的负向作用，这表明城市在网络中的核心地位若继续增强，不一定能带来外向服务功能的同步提升，反而可能削弱其功能调整空间。该现象进一步印证了“功能外溢与中转损耗”效应：当城市在网络结构中进一步向核心节点集中时，其承担的过境中转与分发职能加重。此时，资源的投入更多被高昂的组织与拥挤成本所消耗（中转损耗），且服务效能更多向外围节点释放（功能外溢），导致本地外向服务功能的边际改善幅度受到抑制。此外，结构优势的进一步集中还可能加剧区域结构分化，使核心城市承担的网络压力增大，整体上呈现出外向服务功能弹性下降的趋势。

相比之下，经济发展基础的控制变量在变化量模型中的显著性明显弱于网络结构变量，这与静态模型中经济发展基础对外向服务功能水平具有重要影响的结论形成对比。说明经济发展基础因素更多影响城市外向服务功能的“存量水平”，而外向服务功能的“增量变化”更依赖于网络结构的调整与重组。在城市发展已达到一定阶段后，单纯依赖经济规模或产业升级并不足以带来外向服务功能的显著跃升，必须通过提升网络嵌入程度和改善要素联通结构，才能实现功能结构的动态优化。相较于传统的“规模驱动”模式，沿海城市外向服务功能的提升更依赖于其在网络中的嵌入广度与资源配置潜力。

为检验网络结构效应在不同嵌入层级城市中的差异性，本文以 2017 年网络嵌入指数的中位数为阈值，将样本城市划分为高嵌入层级城市组与低嵌入层级城市组。随后，分别采用变化量模型对两类城市 2017—2022 年外向服务功能变化进行估计，以识别网络结构变化在不同嵌入层级下的异质性影响。

回归结果表明（表 12），无论城市处于何种初始嵌入层级，网络嵌入程度提升对外向服务功能增强均表现为显著的正向作用，说明嵌入海洋经济流要素网络本身具有较强的普遍促进效应。然而，正向效应在不同嵌入层级城市之间存在显著强度差异：低嵌入层级城市明显高于高嵌入层级城市。结果显示，低嵌入层级城市的效应系数为 1.011，而高嵌入层级城市为 0.346，前者约为后者的 3 倍，嵌入程度提升对低嵌入层级城市的促进作用更为显著。在交互项模型中，交互项 ΔNE × High 系数显著为负（−0.701），表明嵌入层级对外向服务功能的演化具有显著的负向调节作用。具体而言，虽然要素流的增加普遍提升了城市的外向服务功能，但这种驱动效应在高层级城市中表现出明显的边际效用递减特征。相比之下，处于较低层级的城市在承接要素流增长时，能产生更高的功能转化效率。对于初始嵌入程度较低的外围城市而言，其原有联系基础较为薄弱，当网络联通性得到改善后，城市能够显著提升资源获取能力、合作机会与要素匹配效率，从而带来更大幅度的外向服务功能增量。因此，嵌入提升是低嵌入城市实现功能突破的关键路径。嵌入提升意味着跨区域要素整合能力与流通网络实现跨越式扩展，从而在外向服务功能上呈现显著的增量改善。这类城市处于流要素网络化加速建设阶段，通过加强与枢纽节点的连接，可以在相对较短的时间内激活并释放其潜在的外向服务功能，体现出明显的网络正外部性。

**表 12　嵌入层级异质性回归结果**

**Table 12　Regression results of heterogeneity in embedded hierarchy**

| 变量 | Δln*F* | | |
|---|---|---|---|
| | 高嵌入组 | 低嵌入组 | 交互项模型 |
| ΔNE | 0.346* | 1.011* | 1.031* |
| ΔNE×High | — | — | −0.701* |
| Δ*E* | −1.851 | −6.413 | — |
| $R^2$ | 0.525 | 0.354 | 0.484 |
| Adj$R^2$ | 0.393 | 0.284 | 0.381 |

注：* $p < 0.1$，High 为虚拟变量，以 2017 年网络嵌入指数的中位数为阈值，高于中位数的城市赋值为 1（高嵌入层级组），低于中位数的城市赋值为 0（低嵌入层级组）；ΔNE × High 为网络嵌入程度变化量与高嵌入层级虚拟变量的交互项，用于识别嵌入层级对网络嵌入效应的调节作用。

高嵌入层级城市表现出规模收益递减与功能相对稳定的特征。对于初始嵌入程度较高的城市而言，其网络连接结构在基期已趋于饱和与高度集聚，后续嵌入程度的提升更多体现为联系结构的边际优化，而非连通性的质的突破。因此，在同一单位嵌入提升下，高嵌入层级城市的外向服务功能增量相对有限，出现了典型的规模收益递减现象。同时，从模型拟合优度来看，高嵌入层级城市组的解释力相对较高，说明其外向服务功能变化更大程度上受制于整体网络结构的稳健性与既有功能体系的内生调整，而不是单一联系数量的进一步扩张，反映出较强的功能稳定性与路径依赖特征。

在嵌入层级分组回归中，结构优势变化 $\Delta E$ 在高、低嵌入层级城市中均未通过显著性检验，虽然系数方向仍为负值，但统计意义较弱。这一结果与前文的静态与变化量分析形成互证，在动态调整过程中，实际的网络嵌入程度 ΔNE 相较于抽象的网络结构优势指数 $\Delta E$ 更能直接推动外向服务功能的变迁。换言之，在研究期内城市外向服务功能的提升，主要依赖于网络实际联通关系的改善，而网络结构优势的进一步集中并未表现为显著的增量驱动因素。

总体来看，网络嵌入程度的提升对低嵌入层级城市具有更强的溢出效应和功能重塑作用，对高嵌入层级城市则更多体现为对既有功能体系的稳健支撑。这表明，当前我国海洋经济流要素网络正处于由少数枢纽城市主导向外围节点加速渗透和扩散的阶段，网络外部性正逐步由核心区域向更广泛的沿海城市扩展。在此背景下，强化中小节点的网络嵌入和联通质量，是实现区域海洋外向服务功能协同提升，推动海洋经济空间结构由单中心集聚向多节点协同演进的关键路径。

## 4　结论与政策建议

### 4.1　结论

本文立足“流空间”理论，利用涉海人流、物流、信息流、资金流和技术流的海洋经济多元要素流数据，通过引入网络效率因子改进外向服务功能测度模型，测算了 2017 年和 2022 年中国沿海城市海洋经济外向服务功能的能级水平，划分了其等级梯队并识别了要素主导类型。以此为基础，进一步运用回归模型系统探讨了 2017 年和 2022 年我国沿海城市网络嵌入对外向服务功能的影响机理，主要研究结论如下。

（1）外向服务功能呈现显著的层级梯队格局与要素主导差异。沿海城市外向服务能级呈明显的“金字塔型”分布，核心城市作为绝对枢纽，引领作用突出。同时，各城市的功能构成存在明显的要素主导特征，核心城市多表现为信息流、资金流和技术流主导的复合要素驱动型，而中低能级城市则多依赖单一流要素驱动。从演变情况来看，沿海城市外向服务功能呈现出从“单一要素依赖”向“多元要素耦合”转化的特征。

（2）网络嵌入程度是驱动城市外向服务功能水平提升的核心变量。静态回归与变化量回归均证实，网络嵌入程度显著促进了城市外向服务能级的增强。城市在多元流网络中的连接深度与参与广度为其获取要素资源并转化为对外服务产出提供了重要的结构性基础。

（3）网络结构优势引发“功能外溢与中转损耗”复合效应。实证结果显示，网络结构优势指数的提升对本地外向服务功能产生了显著的制约。其内在机理在于，处于网络核心位置的枢纽城市因承担大量要素的过境分发职能，导致服务效能向周边腹地发生“功能外溢”；维持高强度网络控制力又带来了拥挤压力与高额组织成本，导致要素转化的“中转损耗”。两者叠加，共同制约了枢纽城市外向服务功能的增长。

（4）网络嵌入的驱动效应具有明显的层级异质性与边际效用递减特征。异质性分析发现，网络嵌入提升对低嵌入层级城市的边际促进效应显著高于高嵌入层级城市。处于较低层级的城市在承接要素流增长时，具有更高的功能转化效率，融入网络是边缘城市实现功能突破的关键。

### 4.2　政策建议

基于上述研究结论，本文从沿海城市功能定位、网络结构优化与区域协同提升等维度提出政策建议，旨在为差异化推进沿海城市海洋经济外向服

务功能的提升提供决策参考。

（1）因地制宜，推动要素主导类型向高端化转型。沿海城市应根据自身在人流、物流、信息流、资金流和技术流等维度上的优势，明确功能定位。低能级城市应在巩固传统物流、人流优势的基础上，通过数字化转型引入信息流与技术流，推动功能结构从单一要素向多元复合演进。

（2）优化布局，缓解核心城市的“中转损耗”压力。枢纽城市应通过功能剥离与溢出，引导传统服务功能向外围城市转移，自身则聚焦于高附加值的虚拟流动要素配置，构建层级有序、分工明确的海洋经济网络体系。

（3）分类提升，利用网络外部性的加速扩散特征。鉴于低嵌入层级城市具备更高的功能转化效率，政策制定应侧重于强化中小节点的网络联通质量，利用网络溢出效应推动区域海洋经济协同提升。

（4）深化剖析，关注产业结构升级对功能驱动的滞后性。回归结果显示，产业结构高级化在 2022 年未能产生预期的显著驱动作用，主要源于海洋产业与陆域经济在结构演化上的弱耦合特征，即现阶段海洋外向服务仍高度依赖实体流要素，而指标更多反映陆域三产变动。此外，受限于外部环境冲击带来的功能传导受阻，产业结构优势无法及时、充分地转化为服务能级，呈现出明显的阶段性联动滞后。

**参考文献（References）：**


[1] 杨延杰，尹丹，刘紫玟，等．基于大数据的流空间研究进展[J]．地理科学进展，2020，39(8)：1397-1411．
YANG Yanjie，YIN Dan，LIU Zimin，et al．Research progress on the space of flow using big data[J]．Progress in Geography，2020，39(8)：1397-1411．

[2] 裴韬，舒华，郭思慧，等．地理流的空间模式：概念与分类[J]．地球信息科学学报，2020，22(1)：30-40．
PEI Tao，SHU Hua，GUO Sihui，et al．The concept and classification of spatial patterns of geographical flow[J]．Journal of Geo-Information Science，2020，22(1)：30-40．

[3] CASTELLS M．Globalisation，networking，urbanisation：reflections on the spatial dynamics of the information age[J]．Urban Studies，2010，47(13)：2737-2745．

[4] 李彦平，刘大海，罗添．国土空间规划中陆海统筹的内在逻辑和深化方向：基于复合系统论视角[J]．地理研究，2021，40(7)：1902-1916．
LI Yanping，LIU Dahai，LUO Tian．The internal logic and developing direction of land-sea coordination in land space planning：from the perspective of complex system theory[J]．Geographical Research，2021，40(7)：1902-1916．

[5] 陈明宝．要素流动、资源融合与开放合作：海洋经济在粤港澳大湾区建设中的作用[J]．华南师范大学学报（社会科学版），2018(2)：21-26．
CHEN Mingbao．Factor flow，resource integration and open cooperation：understanding the role of marine economy in the construction of Guangdong-Hong Kong-Macao Bay area[J]．Journal of South China Normal University (Social Science Edition)，2018(2)：21-26．

[6] HOYT H．The structure and growth of residential neighborhoods in American cities[M]．Washington，D.C.：U.S. Government Printing Office，1939．

[7] HARRIS C D．A functional classification of cities in the United States[J]．Geographical Review，1943，33(1)：86．

[8] MULLER E K．Regional urbanization and the selective growth of towns in North American regions[J]．Journal of Historical Geography，1977，3(1)：21-39．

[9] 朱英明，于念文．沪宁杭城市密集区城市流研究[J]．城市规划汇刊，2002(1)：31-33．
ZHU Yingming，YU Nianwen．Urban flows in the Hu-Ning-Hang urban compact district[J]．Urban Planning Forum，2002(1)：31-33．

[10] 闫小培，钟韵．区域中心城市生产性服务业的外向功能特征研究：以广州市为例[J]．地理科学，2005，25(5)：537-543．
YAN Xiaopei，ZHONG Yun．Characteristics of external function of producer services of regional centers：case of Guangzhou，China[J]．Geographical Science，2005，25(5)：537-543．

[11] 姜博，修春亮，赵映慧．环渤海地区三大城市群外向服务功能测度与比较[J]．人文地理，2009，24(4)：62-65．
JIANG Bo，XIU Chunliang，ZHAO Yinghui．Measurement and comparison on the extrovert service function of three urban groups

in Bohai rim[ J ]. Human Geography，2009，24(4)：62-65.

[ 12 ] 王录仓，严树娟，王静．欠发达地区城市流强度及中心度研究：以甘肃省为例[ J ]．现代城市研究，2016(4)：95-99.
WANG Lucang，YAN Shujuan，WANG Jing．Research of urban flow intensity and the degree in less developed areas：a case study of Gansu Province[ J ]．Modern Urban Research，2016(4)：95-99.

[ 13 ] 郭建科，秦茂森，曹凡．基于口岸视角的中国门户城市体系分析[ J ]．世界地理研究，2023，32(10)：14-27.
GUO Jianke，QIN Maosen，CAO Fan．Analysis on China's gateway-city system based on portal perspective[ J ]．World Regional Studies，2023，32(10)：14-27.

[ 14 ] 张文琪，郭建科，王绍博．我国不同省区客货流对外服务功能差异及变动[ J ]．资源开发与市场，2016，32(9)：1093-1099.
ZHANG Wenqi，GUO Jianke，WANG Shaobo．Contrast and alteration of external service capability of passenger and cargo flow in Chinese different provinces[ J ]．Resource Development & Market，2016，32(9)：1093-1099.

[ 15 ] 林晓，韩增林，赵林，等．我国省域金融联系的空间格局及其变化[ J ]．经济地理，2013，33(9)：87-92.
LIN Xiao，HAN Zenglin，ZHAO Lin，et al．The spatial framework and change of Chinese provincial region financial links[ J ]．Economic Geography，2013，33(9)：87-92.

[ 16 ] 柳坤，申玉铭．中国生产性服务业外向功能空间格局及分形特征[ J ]．地理研究，2014，33(11)：2082-2094.
LIU Kun，SHEN Yuming．Spatial pattern and fractal characteristics of producer services' external function in China[ J ]．Geographical Research，2014，33(11)：2082-2094.

[ 17 ] 白永亮，石磊，党彦龙．长江中游城市群空间集聚与扩散：基于 31 个城市 18 个行业的劳动力要素流动检验[ J ]．经济地理，2016，36(11)：38-46.
BAI Yongliang，SHI Lei，DANG Yanlong．Spatial agglomeration and diffusion of urban agglomerations in middle reaches of Yangtze River：a flow test based on labor factors of 18 industries in 31 cities[ J ]．Economic Geography，2016，36(11)：38-46.

[ 18 ] 李慧玲，戴宏伟．京津冀与长三角城市群经济联系动态变化对比：基于城市流强度的视角[ J ]．经济与管理，2016，30(2)：9-16.
LI Huiling，DAI Hongwei．Economic ties dynamic comparison between Beijing-Tianjin-Hebei and Yangtze River Delta urban agglomeration：from the perspective of urban flow intensity[ J ]．Economy and Management，2016，30(2)：9-16.

[ 19 ] 赵宏波，张鹏，邵田田，等．吉林省中部城市群城市流强度的时空演变及影响因素分析[ J ]．云南师范大学学报（哲学社会科学版），2015，47(4)：80-87.
ZHAO Hongbo，ZHANG Peng，SHAO Tiantian，et al．Spatial-temporal evolution of the intensity of the urban flow of the urban agglomeration in central Jilin Province and its influencing factors[ J ]．Journal of Yunan Normal University (Humanities and Social Sclences)，2015，47(4)：80-87.

[ 20 ] 叶磊，欧向军．我国主要城市群的城市流动态比较[ J ]．城市发展研究，2012，19(6)：6-11.
YE Lei，OU Xiangjun．Dynamic comparison of urban flow in main urban agglomerations in China[ J ]．Urban Studies，2012，19(6)：6-11.