

# 环渤海经济圈经济联系强度及其网络结构时空异质性

毛文洁<sup>1</sup>,边莉莉<sup>2</sup>,胡琳悦<sup>1</sup>,赵玉梅<sup>1</sup>,秦伟山<sup>1</sup>,孙海燕<sup>1</sup>

(1.鲁东大学 资源与环境工程学院,山东 烟台 264039;2.淄博市交通建设发展中心,山东 淄博 255000)

**摘要:**环渤海经济圈作为拉动我国经济增长的新引擎,在新时代经济高质量发展中肩负着重大使命。以环渤海经济圈所在的三省两市共计43个城市为研究对象,依托ArcGIS 10.8及Ucinet 6.0平台,运用修正引力模型、社会网络分析方法探究2010—2021年各城市之间的经济联系强度及其网络结构的时空异质性。结果表明:1)环渤海经济圈经济联系强度逐渐提升,增长速度由快变慢,区域分化较为明显,经济联系高值城市集中且稳定,大部分城市处于较低联系水平;2)网络密度值整体偏低、缓慢增长,由高到低呈现中部、南部、北部的空间分布特征,网络结构趋于复杂,紧密化程度显著提升;3)中心性呈现整体提升、经济辐射不均衡的时空异质性;4)经济圈内城市二级层面形成4个凝聚子群,三级层面在研究时段前期形成8个子群,后期减少至7个,子群呈现三区多点的空间分布格局。在此基础上提出了加强区域合作、明确核心城市以及打造交通运输圈等建议,以期环渤海经济圈区域协调及高质量发展提供参考。

**关键词:**经济联系;网络结构;引力模型;环渤海经济圈

**中图分类号:**F061.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-8020(2024)04-0309-10

经济圈是指一定地域范围内以辐射能力较强的大城市为核心、多个城市集聚的新型城市功能地域<sup>[1]</sup>。区域经济圈一般是一个国家经济发展的重点地域。环渤海经济圈是继珠三角和长三角经济圈之后我国又一经济发展的新热点区域,被视为拉动21世纪中国经济增长的新引擎<sup>[2]</sup>。习近平总书记在党的二十大报告中强调推动高质量发展,为促进环渤海经济圈的发展提供根本遵循。《环渤海地区合作发展纲要》中提出力争到2030年基本形成京津冀区域一体化格局,这为加快环渤海地区合作发展指明了方向。《京津冀协同发展规划纲要》也强调要加强京津冀对环渤海地区的辐射带动能力。基于国家宏观发展战略,区域内各省市深入挖掘优势资源、积极融入经济圈,着力推动经济圈一体化发展新局面。然而,环渤海经济圈同长三角、珠三角经济圈相比,囿于产业基础、资源禀赋等条件,仍然存在着产业同质化严重、区域发展不平衡、经济合作机制不完善等问题。因此,从区域视角出发分析环渤海经济圈经济联系强度及其网络结构演变特征,对促进区域

一体化协作发展、增强区域经济整体竞争力具有重要意义。

国外关于经济联系的研究起步较早,成果丰富。1929年Reilly<sup>[3]</sup>将牛顿引力模型引入地理学领域,为研究城市经济联系奠定了基础。早期,国外学者对城市经济联系的研究多侧重于理论层面,Zipf<sup>[4]</sup>将引力模型引入城市体系空间相互作用的研究中,E.L.Ullman(1957)和T.Hagerstrand(1968)相继提出“空间相互作用理论”和“空间扩散理论”,为城市群经济联系研究提供充足的理论基础。随着研究视角和研究方法的多元化,国外城市经济联系的研究内容更加丰富,已经由单纯的理论分析逐渐转向联系过程的动态分析以及定量模型的应用,主要包括城市群经济联系等级规模结构研究<sup>[5-6]</sup>、城市群经济联系的空间结构与地域系统空间特征研究<sup>[7-9]</sup>、城市群空间通达性研究<sup>[10-11]</sup>等。国内学者从20世纪90年代开始进行有关区域经济联系的研究。研究内容主要包括城市与区域城市体系的主要经济联系方向<sup>[12]</sup>、经济联系空间格局演化<sup>[13]</sup>、城市可达

收稿日期:2024-01-08;修回日期:2024-04-25

基金项目:山东省自然科学基金面上项目(ZR2023MD126);山东省高校青年创新团队项目(2021RW042);山东省优质教育教学资源建设项目(SDYKC2023157)

通信作者简介:赵玉梅(1976—),女,讲师,硕士,研究方向为区域发展与地理信息科学。E-mail:924929757@qq.com

性<sup>[14]</sup>和旅游经济联系<sup>[15-16]</sup>等;研究方法上,主要以修正引力模型<sup>[17]</sup>、社会网络分析法<sup>[18]</sup>和优势流分析法<sup>[19]</sup>为主;研究区域包括宏观层面的中国口岸城市对外经济联系<sup>[20]</sup>、中国城市空间相互作用<sup>[21]</sup>及中观、微观层面的安徽省旅游空间结构研究<sup>[22]</sup>、上海与苏锡常地区的经济联系<sup>[23]</sup>等。可以发现,城市经济联系相关研究内容丰富、视角多元、对象多样,引力模型应用较广,但是存在模型构建程式落后于经济发展现实、研究对象较少涉及跨区域或某一经济圈尺度、研究时间过短、样本数量太少等不足。

基于此,本文选取2010、2013、2017和2021年4个时间截面,以环渤海经济圈43个城市为研究对象,通过修正引力模型构建城市经济联系强度矩阵,运用社会网络分析法对环渤海经济圈城市经济联系网络的时空异质性进行分析,以此明晰环渤海经济圈经济交流的发展历程,并为其未来经济协同及区域一体化发展提供相应科学依据和决策参考。

## 1 研究区概况

环渤海经济圈地处东北、华北和华东三大区的交接处,主要是指环绕着渤海全部以及黄海的部分沿岸地区所组成的广大经济区域,本文所研究的环渤海经济圈地域范围主要涉及河北、辽宁、山东、北京、天津三省二市。该区域对内深入我国中西部乃至亚欧大陆内部,对外面向太平洋,联系朝鲜、韩国和日本,起着贯通南北、承东启西的作用。作为世界生产要素与产业“东移”和我国经济重心北上的汇合处<sup>[24]</sup>,环渤海经济圈依托优越的地理区位与便利的交通条件,在我国经济发展及内外部交流过程中扮演着重要角色。截至2021年,环渤海经济圈GDP总额206 817亿元,人口24 648万人,分别占我国总值的18.0%和17.4%,未来发展潜力巨大。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 修正引力模型

引力模型是衡量地区间经济联系强度的一种

主要手段<sup>[25]</sup>。本文借助修正引力模型构建环渤海经济圈城市经济整体网络空间关联矩阵,测度2010、2013、2017和2021年环渤海经济圈43个城市间的经济联系,以此分析环渤海经济圈城市经济联系强度及网络结构的时空异质性。考虑到指标与研究内容的匹配性以及数据的可获取性,参考钟业喜等<sup>[26]</sup>、方大春等<sup>[27]</sup>的研究,本文从经济、人口及土地3个方面,分别选取地区生产总值、年末户籍人口数和建成区面积作为质量修正的主要指标,计算各城市间的经济联系强度。综上,修正引力模型如下:

$$F_{ij} = K_{ij} \frac{\sqrt[3]{G_i P_i S_i} \times \sqrt[3]{G_j P_j S_j}}{D_{ij}^b}, \quad (1)$$

式中: $F_{ij}$ 为环渤海经济圈城市*i*和城市*j*之间的经济联系强度; $G$ 、 $P$ 、 $S$ 分别表示某一城市的地区生产总值(万元)、年末户籍人口数(万人)、建成区面积( $\text{km}^2$ ); $D$ 代表两城市之间的地理距离( $\text{km}$ ); $b$ 为距离摩擦系数<sup>[25]</sup>,通常情况下 $b = 2$ 。

$K$ 为引力系数,可使经济联系强度的测度既体现空间联系,又包括产业联系。不同学者对其取值与计算标准各异,本研究参考孙海燕等<sup>[28]</sup>的研究,考虑到产业间的分工互补是城市间经济联系的基础,结合不同处理方法,立足研究实际,将 $K$ 值采用测算地区间产业结构差异度的克格鲁曼指数来表示。具体计算公式如下:

$$K_{ij} = \sum_{k=1}^n |B_{ik} - B_{jk}|. \quad (2)$$

$K_{ij}$ 值越高,说明环渤海经济圈城市间的专业化程度与产业分工越为理想<sup>[28]</sup>;  $B_{ik}$ 为环渤海经济圈*i*城市第*k*产业产值在该城市生产总值中的比重, $n$ 为全部产业数。

#### 2.1.2 社会网络分析方法

社会网络分析方法将“关系”视为一个重要的分析要素,并将这种关系模式视为“结构”(即社会结构、经济结构等),着重于该结构对网络中个体行为的影响及其影响大小的分析<sup>[29]</sup>。借助Ucinet 6.0分析工具,通过网络密度、网络中心性和凝聚子群三个方面对环渤海经济圈经济网络的时空异质性进行分析。

1) 网络密度。网络密度能够体现出不同地区间经济联系的紧密程度,代表研究区域内各城市间经济关联的平均互动程度<sup>[30]</sup>,具体是指环渤海经济圈经济联系网络中包含的实际关系数与理

论上可能存在的最大关系数的比值,计算公式<sup>[30]</sup>如下:

$$D = \frac{2L}{N(N-1)}, \quad (3)$$

式中:  $D$  为研究区域整体网络密度,  $D \in [0, 1]$ ,  $D$  值越大, 环渤海经济圈各城市间关联性越强;  $N$  为该区域内可能包含的最大关系数;  $L$  为研究区域经济联系网络中包含的实际关系数。

2) 网络中心性。网络中心性是指单个节点在整个网络中的中心性程度<sup>[31]</sup>。本文选取度数中心性作为主要指标, 并以绝对度数中心度进行衡量。点度中心度是指环渤海经济圈某一城市与其它城市节点直接连接的节点数目<sup>[32]</sup>, 指标数值越大, 表明该城市节点在经济圈中占据更为核心的位置。计算公式<sup>[25]</sup>如下:

$$C_D(i) = \sum_{j=1}^n X_{ij}, \quad (4)$$

式中:  $C_D(i)$  为城市  $i$  的绝对度数中心度;  $X_{ij}$  为城市  $i$  和  $j$  之间的经济联系量;  $n$  为网络中与城市  $i$  存在经济联系的城市数目。

3) 凝聚子群。凝聚子群是指成员之间具有相对较强的、直接的、紧密的、经常的或者积极的关系所构成的一个成员的子集合<sup>[30]</sup>。凝聚子群可用于揭示和刻画环渤海经济圈内部子结构状态<sup>[30]</sup>, 以此区分该区域经济联系的不同派系, 从新的维度考察环渤海经济圈经济联系网络的空间组团演变特征。

## 2.2 数据来源

为探究环渤海经济圈经济联系强度及其网络结构时空异质性, 本文选取的环渤海经济圈城市的年末户籍人口数、地区生产总值、建成区面积和各产业产值占地区生产总值的比重数据均为市辖区数据, 来源于2011、2014、2018和2022年《中国城市统计年鉴》。需要指出的是: 由于2018年《中国城市统计年鉴》中青岛市年末户籍人口数据缺失, 故采用青岛市相应年份统计年鉴数据; 2022年《中国城市统计年鉴》中北京市建成区面积数据缺失, 采用2020年《北京市统计年鉴》中的相应数据; 环渤海经济圈各城市间最短公路距离数据为高德地图驾车最短距离。此外, 2019年莱芜划归济南管辖, 为保证研究区域的一致性及

研究数据的可对比性, 本文将2010、2013和2017年济南市和莱芜市的数据进行合并处理。

## 3 环渤海经济圈经济联系强度及时空分异特征

### 3.1 经济联系逐年提升, 增长速度由快转慢

本文根据修正引力模型测算环渤海经济圈各城市间的经济联系强度, 构建经济联系网络矩阵, 首先测得2010、2013、2017、2021年研究区域内整体经济联系强度均值(表1)。从整体上看, 环渤海经济圈经济联系强度的均值由2010年的31 227.42提升至2021年的66 208.55, 年均增长3 180.10, 环渤海经济圈经济联系强度逐渐上升, 经济联系愈加紧密; 从增长速度来看, 2010—2017年经济联系紧密化程度较快, 年均增速大, 2017年后年均增速下降至15.50%, 呈现缓慢增长的态势。

表1 2010—2021年环渤海经济圈经济联系强度值  
Tab.1 Value of economic contact intensity in Bohai economic circle from 2010 to 2021

年份	经济联系强度均值	年均增速/%
2010	31 227.42	
2013	40 928.47	31.07
2017	57 323.28	40.06
2021	66 208.55	15.50

在各城市经济联系强度值的基础上, 将某一省份与其他省份的经济联系强度值进行归纳计算得到省际经济联系强度值, 并测算其在各年份中所占比重(表2)。省际经济联系与整体变化一致, 强度值逐渐提高, 联系愈加紧密。2010—2017年, 半数以上关联省份包括北京—天津、北京—河北、天津—河北、北京—山东、天津—山东、河北—辽宁的经济联系强度增长速度较快, 经济联系强度值迅速增加, 经济联系紧密化程度显著; 2017—2021年, 经济联系强度值增速减缓, 经济联系缓慢增加。值得注意的是, 个别省份组合增速变化频繁, 北京—辽宁、河北—山东呈现“快—慢—快”的波动增长, 天津—辽宁与之相反, 呈现“慢—快—慢”的变化特征, 辽宁—山东虽然增速整体偏慢, 但持续稳步增长, 经济联系不断强化。

表2 环渤海经济圈省际经济联系强度值  
Tab.2 The intensity of inter-provincial economic ties in Bohai economic circle

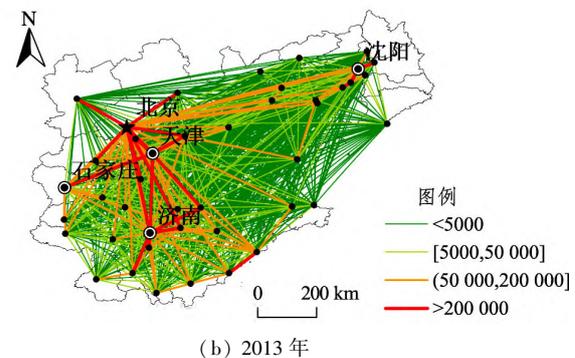
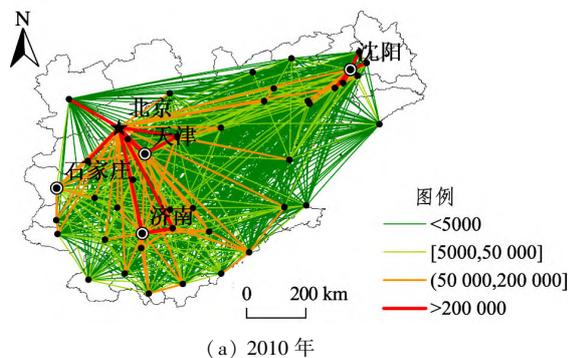
关联省份	2010		2013		2017		2021	
	强度值	比重/%	强度值	比重/%	强度值	比重/%	强度值	比重/%
北京-天津	6 500 056	88.53	8 862 809	88.88	11 668 210	86.30	12 435 719	86.16
北京-河北	535 801	7.30	652 685	6.55	1 141 743	8.44	1 191 820	8.26
天津-河北	110 237	1.50	191 240	1.92	320 367	2.37	368 483	2.55
北京-山东	100 438	1.37	139 039	1.39	214 844	1.59	244 966	1.70
北京-辽宁	46 738	0.64	61 210	0.61	62 876	0.47	78 341	0.54
天津-山东	35 774	0.49	48 034	0.48	89 014	0.66	81 214	0.56
天津-辽宁	6 665	0.09	7 416	0.07	11 915	0.09	16 580	0.11
河北-山东	4 517	0.06	6 631	0.07	8 420	0.06	12 055	0.08
河北-辽宁	1 361	0.02	1 923	0.02	2 357	0.02	2 753	0.02
辽宁-山东	824	0.01	1 058	0.01	1 349	0.01	1 770	0.01

### 3.2 空间分异特征显著,高值分布相对稳定

由表2可知,2010年省际经济联系强度值100 000以上的关联省份依次是北京-天津、北京-河北、天津-河北、北京-山东,这4个关联省份直到2021年仍稳居前四,其强度值在环渤海经济圈所占比重高达98.7%,说明这4个关联省份经济联系尤为密切并且稳步增长,在该区域经济联系发展中起着龙头作用。前五名中有4个是关于北京的关联省份,说明北京与其他省份的联系较为紧密,对于周围省份的经济发展具有明显的辐射带动作用。河北-山东、河北-辽宁、辽宁-山东经济联系强度值垫后,研究时段内经济联系强度值均不及北京-天津的0.01%,说明环渤海经济圈经济联系发展不均衡,集中于北京或天津为中心的省际联系,河北、辽宁和山东三省之间的经济联系有待加强。

将城市经济联系强度值导入 ArcGIS 10.8 空间分析工具,得到各时点的环渤海经济圈经济联系强度空间可视化结构图(图1)。环渤海经济圈各城市经济联系强度逐渐提高,经济联系日趋紧密,存在均衡化方向发展的趋势,但城市间的经济联系分化较为明显,经济联系高值城市较为集中,大部

分城市仍处于较低联系水平。中部地区北京、天津和济南与其周边地市内经济联系较为紧密,以辽东半岛城市群和山东半岛城市群为核心的南北两翼地区经济联系强度较低,在空间上呈现中部地区城市联系强度高于两翼地区的非均衡性分布特征。具体来看,经济联系数量显著提升,如北京市与周边城市的经济联系强度进一步增强,一级联系范围愈加扩大,逐渐辐射到山东省中东部乃至辽宁省的中部地区,山东省各城市经济联系也逐渐以三级、四级联系为主转变为二级、三级为主的较高联系水平。经济联系增长速度不一,以北京为首的京津冀地区经济联系增长最快,其次是山东省,以沈阳为核心的辽宁省内外经济联系逐步增强,但增长速度较慢,且聚焦于与京津冀地区的联系,增长潜力较大。高值主要集中于环渤海经济圈的京津冀地区,空间分布相对稳定,2010年网络结构呈现以北京、天津、济南和沈阳为核心的放射状分布特征,经济联系水平较低;2017—2021年高值城市明显增加,与周边城市的联系显著加强,但高值区域分布较为稳定,仍以京津冀地区为主。青岛、石家庄等城市也与周边城市构成小型放射状的分布特征,但辐射范围及带动能力仍有较大发展空间。



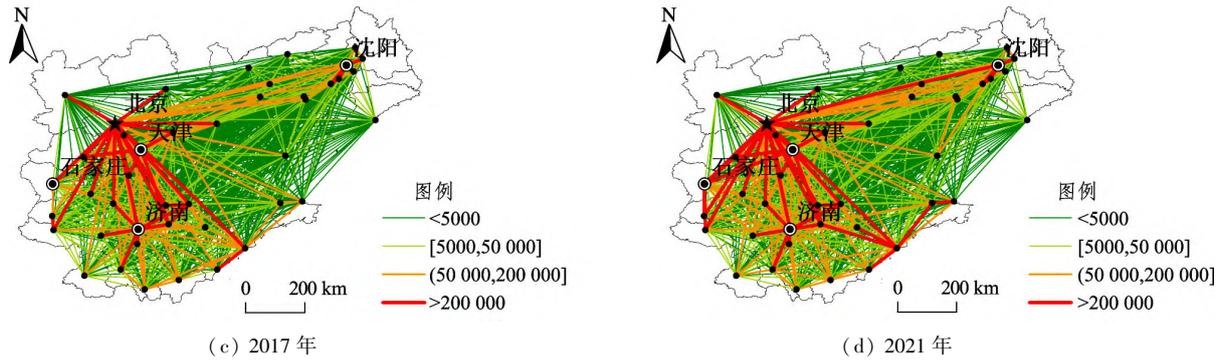


图1 2010—2021年环渤海经济圈经济联系强度空间分布

Fig.1 Spatial distribution of economic connection intensity in Bohai economic circle from 2010 to 2021

注:本地图根据自然资源部标准地图服务网站下载审图号为GS(2024)0650号的标准地图制作,底图无修改。

## 4 环渤海经济圈经济联系强度的网络结构时空异质性

为全面剖析环渤海经济圈经济联系网络结构的时空异质性,本文将环渤海经济圈城市经济联系强度矩阵数据进行二值化处理,借助 Ucinet 6.0 软件工具,从网络密度、网络中心性、凝聚子群 3 个方面对环渤海经济圈经济联系网络结构进行测度,并分析其时空异质性特征。

### 4.1 网络密度缓慢增长,省际网络结构复杂

网络密度分析可直观反映整体经济网络联系的紧密程度。以 2010 年环渤海经济圈总体经济联系强度的均值作为切分阈值对矩阵进行二值化处理<sup>[33]</sup>,利用 Ucinet 6.0 软件计算出各时点的环渤海经济圈经济联系的网络密度,定量分析结果显示:2010、2013、2017、2021 年网络密度值分别为 0.110 7、0.130 7、0.148 4、0.168 3,密度值逐渐增大,增长速度减慢,说明环渤海经济圈经济联系紧密度整体呈现缓慢增长的态势,城市之间的经济联系得到了加强,城市节点能够在网络中获得更多的资源。但网络密度值始终低于 0.2,城市经济联系仍处于偏低水平,节点城市间经济发展要素的共享程度较低,需进一步加强。

利用 Ucinet 6.0 中的 NetDraw 绘图软件,绘制出 4 个时间节点的环渤海经济圈经济联系网络结构基本形态图(图 2)。2010—2021 年环渤海经济圈经济联系的网络结构变化较为明显,网络结构趋于复杂和均衡,各城市间经济联系逐渐增强且呈现紧密化的发展态势。经济空间联系的中心由 2010 年的北京、济南双中心逐渐发展为 2021

年的北京、济南、天津、石家庄等多中心,经济联系中心显著增加。处于网络结构边缘的朝阳、菏泽等城市伴随着区域经济的不断发展,经济联系进一步提升,逐渐纳入有效联系网络中。

为进一步探讨地区间的经济交流情况,本文以省份间经济联系强度矩阵数据为基础进行网络密度分析并绘制图 3。从时间来看,在 4 个研究节点中各城市组合网络密度值较为稳定,虽稍有波动,但整体呈现上升趋势;从空间来看,北京-天津网络密度遥遥领先,北京-山东、天津-山东以及河北-山东虽与其差异较大,但与其他组合相比,网络密度值较高,经济联系较为紧密,而天津-辽宁、河北-辽宁等关联省份网络密度值有较大发展空间。中部地区以北京-天津为核心的网络密度值显著高于以山东为核心的南部地区,北部地区经济联系的网络密度最为落后,经济联系网络密度发展不均衡,整体由高到低呈现中部、南部、北部的空间分布特征。

### 4.2 中心性整体提升,经济辐射不均衡

对环渤海经济圈各节点城市的经济联系矩阵进行网络中心性分析,可得度数中心度,如表 3 所示。由表 3 可知:2010—2021 年研究区域内各城市的度数中心度整体呈现上升的趋势,但增长速度显著不同,其中天津、石家庄、东营和青岛等城市在经济联系网络中快速与其他城市建立积极而稳定的联系,以促进区域核心地位的提高,增长速度较快。4 个时间截面下,度数中心度始终位于前三位的是北京、济南和天津,这些高值城市主要是环渤海经济圈或对应省份的核心城市,大致位于各省份的中心地带,借助优越的地理区位及发达的交通基础设施,对周边城市产生了较强的辐

射作用。其中,北京市作为中心度最高的城市,其中心度值是威海、承德等城市的 10 倍以上,经济圈内度数中心度水平差异巨大,经济发展不均衡问题显著。北京市是环渤海经济圈的经济核心,

处于网络枢纽地位,具有较强的辐射和支配能力,对环渤海经济圈经济发展的空间关联具有较强影响力。丹东、朝阳和阜新等城市处于经济联系网络中的边缘地带,经济协同发展有待增强。

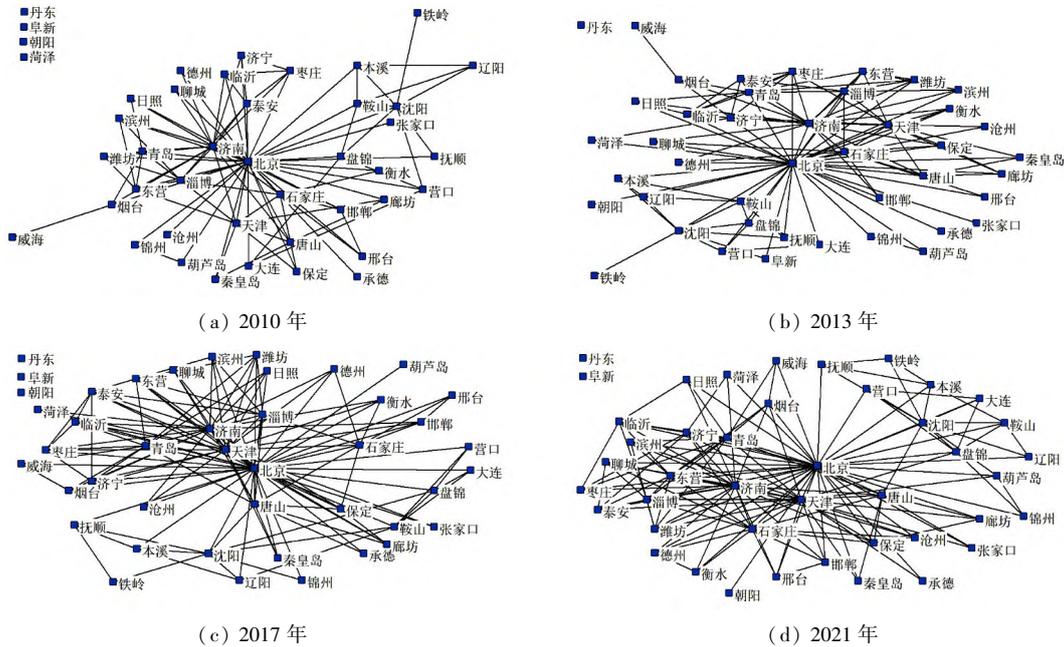


图 2 2010—2021 年环渤海经济圈经济联系网络结构图

Fig.2 Structure diagram of economic contact network of Bohai economic circle from 2010 to 2021

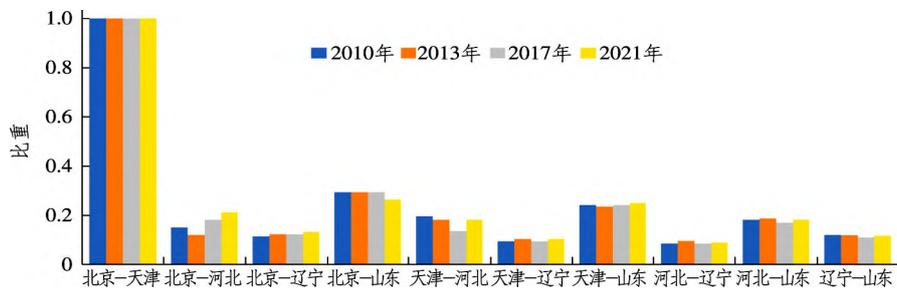


图 3 环渤海经济圈省份间经济联系网络密度图

Fig.3 Density map of economic contact network among provinces in Bohai economic circle

### 4.3 凝聚子群呈现三区多点的分布格局

利用 Ucinet 6.0 软件中的 CONCOR 算法,基于经济联系矩阵数据对各时间点环渤海经济圈城市进行聚类划分,并将块模型数据导入 ArcGIS 10.8 软件进行可视化分析,得到环渤海经济圈凝聚子群的空间分布(图 4),据此系统梳理环渤海经济圈凝聚子群的空间构成关系及时空分布特征。2010—2021 年城市凝聚子群结构并未发生显著变化,二级层面划分为以北京-山东半岛城市群、环首都城市群(天津-河北)、辽东半岛城市群和东部边缘城市为核心的 4 个凝聚子群。凭借地理位置相近、交

通通行便捷、产业发展互补、政策呼应有力等优势,北京、山东、天津、河北两两之间交流频繁,核心城市辐射带动效应明显,囿于以上条件制约,京津冀城市群、山东半岛城市群与辽东半岛联系相对较少。三级层面在 2010、2013 年分为 8 个凝聚子群,2017、2021 年为 7 个凝聚子群,子群数目较多,随着时间的演变,在京津冀、山东半岛、辽东半岛这 3 个地区的基础上发生相应变化,子群数量逐渐减少,内部成员(各城市)构成相对稳定,部分城市同周边城市经济联系加强,总体使得子群数目减少,基本符合城市地理位置临近性原则。在凝聚子群网络密度矩阵中,2010、2017 和 2021 年子群一密度值

最大,分别为0.905、0.833、0.857,表明子群一内部经济联系最为紧密,2013年子群三密度值以0.500居于榜首,子群二次之,可见子群二、子群三内部经济联系也较为紧密,其他子群的内部经济联系则较为松散。4个时间节点下,子群一与子群二间的网络密度值始终最高,说明子群一和子群二之间存在着强联系关系,此外,子群一也与其他子群联系密切,存在着较强联系关系;除子群一以外,2010年

各子群只与单一子群联系甚至是没有联系,随着时间演变,子群间联系加强,如子群二与子群三、四、五建立联系,子群四与子群二、三、五逐渐互联互通,由无联系转为弱联系、弱联系转为较强联系关系。整体来看,环渤海经济圈凝聚子群呈现三区多点的分布格局,不同子群之间的联系尚很薄弱,子群内部的联系较为松散且核心城市的拉动作用不显著,空间结构一体化的潜力较大。

表3 环渤海经济圈城市的度数中心度

Tab.3 Degree centrality of cities in Bohai economic circle

城市	度数中心度																		
	2010	2013	2017	2021		2010	2013	2017	2021		2010	2013	2017	2021		2010	2013	2017	2021
北京	35	39	38	39	枣庄	5	7	7	5	辽阳	3	4	4	3	德州	2	3	4	5
济南	18	21	21	22	潍坊	5	5	6	7	日照	3	4	4	4	张家口	1	1	2	3
石家庄	9	11	9	14	盘锦	5	5	5	7	保定	3	5	6	6	沧州	1	2	3	4
淄博	9	9	10	11	烟台	4	4	5	6	大连	3	3	3	4	铁岭	1	1	2	3
天津	9	12	24	24	邯郸	4	3	5	5	廊坊	3	4	4	4	承德	1	1	2	2
沈阳	8	9	9	11	济宁	4	6	6	9	邢台	3	2	3	5	威海	1	1	3	3
东营	7	7	8	11	本溪	4	4	4	5	锦州	2	2	2	3	菏泽	0	2	3	3
青岛	7	9	12	13	滨州	4	4	5	7	衡水	2	4	4	4	朝阳	0	1	0	1
泰安	6	6	8	7	临沂	4	6	6	8	葫芦岛	2	2	1	4	阜新	0	2	0	0
唐山	6	6	11	10	营口	4	4	3	4	抚顺	2	3	4	4	丹东	0	0	0	0
鞍山	5	6	6	5	秦皇岛	3	3	3	3	聊城	2	3	3	6					

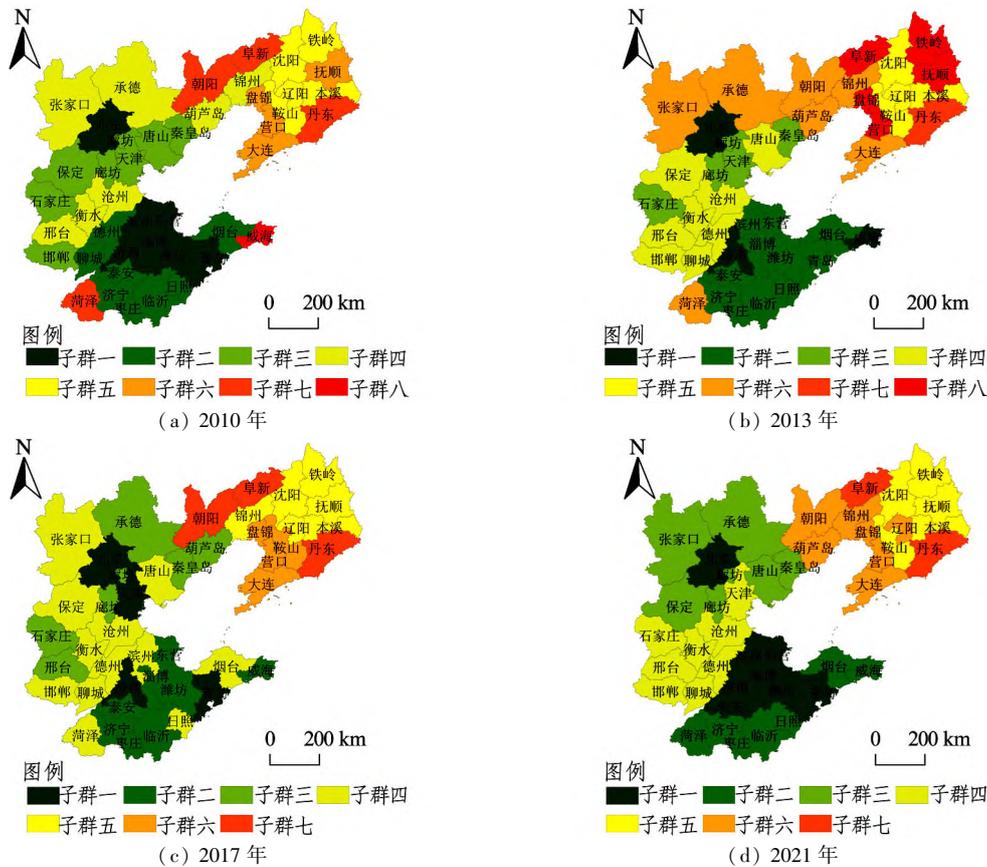


图4 2010—2021年环渤海经济圈凝聚子群的空间分布

Fig.4 Spatial distribution of condensed subgroups in Bohai economic circle from 2010 to 2021

注:本地图根据自然资源部标准地图服务网站下载审图号为GS(2024)0650号的标准地图制作,底图无修改。

## 5 结论与展望

### 5.1 结论

本文以修正引力模型为基础,运用社会网络分析方法,对环渤海经济圈43个城市2010、2013、2017以及2021年4个时间截面的经济联系强度及网络结构异质性开展了实证研究,得出以下结论。

1) 从经济联系强度来看,研究时段内环渤海经济圈经济联系强度逐渐上升,联系愈加紧密,但经济联系增长速度不一,2017年之前增长速度较快,随后增速放缓,呈现“先快后慢”的增长态势;经济联系空间分异特征较为显著,联系发展不均衡问题突出,集中于北京、天津为核心的省际联系,其他组合联系有待加强,联系强度高值空间分布相对稳定,以京津冀地区为主,整体呈现多核心的放射状空间分布格局。

2) 从网络密度来看,环渤海经济圈经济联系紧密度整体呈现缓慢增长的态势,网络结构趋于复杂,城市之间的经济联系得到了加强,但仍处于偏低水平,节点城市间经济发展要素的共享程度较低;经济圈省际联系在时间上呈现稳定且略有增长的态势,在空间上经济联系密度发展不均衡,呈现中部、南部、北部由高到低的分布特征。

3) 从中心性来看,环渤海经济圈各城市的中心性呈现整体提升、经济辐射不均衡的异质性特征。北京市在环渤海经济圈中处于核心地位,对其他城市有较强的经济影响力,存在较强的辐射效应,边缘城市丹东、朝阳等经济联系水平有待进一步提升。

4) 从凝聚子群来看,二级层面主要包括北京-山东半岛城市群、环首都城市群(天津-河北)、辽东半岛城市群和东部边缘城市为核心的4个凝聚子群,三级层面在2010、2013年分为8个凝聚子群,2017、2021年为7个凝聚子群,子群整体呈现三区多点的分布格局,子群间交流较少,子群内部的联系较为松散且核心城市的拉动作用不显著。

### 5.2 展望

环渤海经济圈经济联系强度稳中有进,逐步实现由点到线再到面的多维联系格局,以网络密

度、中心性和凝聚子群3个指标为基准进行测度,网络结构具有放射状、差异性、三区多点等时空异质性特征,并呈现均衡化、复杂化的发展态势。但该地区尚处于经济联系低水平、较慢增长阶段,并存在城市群内部中心城市不突出且拉动作用不显著,城市间经济发展不均衡的问题。基于此,本文提出以下建议。

1) 加强区域合作,强化产业分工。中央政府可以制定和完善地方相关的法律法规,用法律的形式规范区域之间的合作,给经济要素自由流动的空间;地方政府淡化行政界线,明确3大城市群(京津冀城市群、山东半岛城市群、辽东半岛城市群)功能定位,强化产业分工,发挥地方优势,形成结构完善、分工合理、竞争力强的产业体系,实现区域效益最大化。

2) 明确核心城市,发挥带动作用。北京是该地区实力最强的城市,但是由于行政因素等的限制,尚未形成以北京为中心的强有力发展格局。天津作为环渤海地区的经济中心,具有港口、航空、科技创新等多重优势,应继续加强与北京联动,加快承接北京非首都功能转移,提升经济发展的辐射带动能力。同时将经济圈东部实力最强的沿海开放城市大连和青岛作为环渤海中心的“左膀右臂”,南北呼应,以期共促发展。

3) 打造交通运输圈,提高区域可达性。未来应加强交通基础设施建设,努力打造环渤海快速交通运输圈,以缩短各城市的时空距离,为经济内外交流提供条件。北京是全国交通的枢纽中心,交通运输压力过大,天津应努力发展交通运输体系,成为环渤海经济圈的第二个交通核心。山东半岛和辽东半岛隔海相望,渤海海峡跨海通道的建设可以显著提升两者经济联系强度,实现环渤海经济圈闭合环状的交通路线<sup>[34]</sup>。航空方面,积极巩固北京的航空客运中心地位以及天津的航空货运中心地位。港口是环渤海地区的重要优势,以各港口为节点建造环海公路带,以实现海洋资源的整合,同时带动临港工业、物流等相关产业的兴起和发展,提高港口的竞争力。

环渤海经济圈是我国经济增长的新重点,是区域经济由南向北、由东向西发展的枢纽地区。“十四五”规划和2035年远景目标纲要中提到的我国19个城市群,京津冀城市群属于第一梯队,山东半岛和辽中南城市群分属于第二、三梯队,并强调以京津冀为重点引领经济高质量发展,推动

城市群一体化发展。环渤海经济圈包含的3大城市群分属于三个梯队,经济发展差异较大,研究经济圈内经济联系现状对加强区内联系、缩小区内发展差距,促进区域协调发展等具有重要意义。本文以城市属性数据为基础,运用修正引力模型和社会网络分析方法,测度环渤海经济圈经济联系强度,探究其网络结构的时空异质性,以此推动环渤海地区一体化发展。然而城市经济联系不仅与经济生产总值、人口规模、产业结构、地理临近性等要素有关,还与经济发展基础如教育水平、卫生服务,经济商贸水平如外资利用、商业经济等因素有关,在今后的研究中可以通过丰富指标体系对引力模型进行修正以更符合实际情况。另外,本研究仅对环渤海经济圈经济整体网络及其形成的子网络的关系进行分析,而对与系统外部经济发展的互馈关系尚未进行深入探讨,未来可以进一步对环渤海经济圈城市与周围城市的区域经济联系等方面开展深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 顾朝林.城市群研究进展与展望[J].地理研究,2011,30(5):771-784.
- [2] 秦芬.环渤海地区经济发展战略分析[J].商业文化,2010(4):233.
- [3] REILLY W J.Methods for the study of retail relationships[M].Bulletin;University of Texas,1931:1-9.
- [4] ZIPF G K.Human behavior and the principle of least effort: an introduction to human ecology [M].Cambridge: Addison-Wesley,1949.
- [5] DAVIES W K D, LEWIS C R.Regional structures in Wales: two studies of connectivity[M]//CARTER M, DAVIES W K D. Urban essays: studies in the geography of Wales, Harlow: Longmans, 1970:22-48.
- [6] PRED A.City systems in advanced societies[M].London: Hutchinson, 1977.
- [7] GARZA G.Global economy, metropolitan dynamics and urban policies in Mexico[J].Cities, 1999, 16(3): 149-170.
- [8] MAGGIONI M A, NOSVELLI M, UBERTI T E.Space versus networks in the geography of innovation: a European analysis [J].Papers in Regional Science, 2007, 86(3): 471-493.
- [9] ANTONOV E V, MAKHROVA A G.Largest urban agglomerations and forms of settlement pattern at the supra-agglomeration level in Russia [J]. Regional Research of Russia, 2019, 9: 370-382.
- [10] CHEN W X, BIAN J J, LIANG J L, et al.Traffic accessibility and the coupling degree of ecosystem services supply and demand in the middle reaches of the Yangtze River urban agglomeration, China [J]. Journal of Geographical Sciences, 2022, 32(8): 1471-1492.
- [11] LUO K, LIU Y B, ZENG M L, et al.The impact of transportation accessibility on industrial investment in the urban agglomeration around Poyang Lake in China-based on the perspective of ecological security constraints [J].Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30(24): 65728-65745.
- [12] 周一星.主要经济联系方向论[J].城市规划, 1998(2): 22-25.
- [13] 涂建军, 罗运超, 张骞, 等.改革开放40年来中国城市经济联系空间格局演化[J].经济地理, 2019, 39(3): 1-11.
- [14] 杨悦, 钱勇生, 曾俊伟, 等.城市群可达性及经济质量时空演变的研究:以粤港澳大湾区为例[J].城市勘测, 2023(4): 6-10.
- [15] 郭建科, 王绍博, 李博, 等.哈大高铁对东北城市旅游经济联系的空间影响[J].地理科学, 2016, 36(4): 521-529.
- [16] 吴志才, 张凌媛, 黄诗卉.粤港澳大湾区旅游经济联系的空间结构及协同合作模式[J].地理研究, 2020, 39(6): 1370-1385.
- [17] 吴常艳, 黄贤金, 陈博文, 等.长江经济带经济联系空间格局及其经济一体化趋势[J].经济地理, 2017, 37(7): 71-78.
- [18] 王圣云, 宋雅宁, 温湖炜, 等.双向联系视域下长江经济带城市群网络结构:基于时间距离和社会网络分析方法[J].经济地理, 2019, 39(2): 73-81.
- [19] 王少剑, 高爽, 王宇渠.基于流空间视角的城市群空间结构研究:以珠三角城市群为例[J].地理研究, 2019, 38(8): 1849-1861.
- [20] 周一星, 张莉.中国大陆口岸城市外向型腹地研究[J].地理科学, 2001(6): 481-487.
- [21] 王姣娥, 焦敬娟, 金凤君.高速铁路对中国城市空间相互作用强度的影响[J].地理学报, 2014, 69(12): 1833-1846.
- [22] 张洪, 夏明.安徽省旅游空间结构研究:基于旅游中心度与旅游经济联系的视角[J].经济地理, 2011, 31(12): 2116-2121.
- [23] 王德忠, 庄仁兴.区域经济联系定量分析初探:以上海与苏锡常地区经济联系为例[J].地理科学, 1996(1): 51-57.
- [24] 张硕.环渤海经济圈经济发展战略研究[D].武汉:华中师范大学, 2014.
- [25] 王瑞莉, 刘玉, 王成新, 等.黄河流域经济联系及其

- 网络结构演变研究[J].世界地理研究,2022,31(3):527-537.
- [26] 钟业喜,冯兴华,文玉钊.长江经济带经济网络结构演变及其驱动机制研究[J].地理科学,2016,36(1):10-19.
- [27] 方大春,孙明月.高铁时代下长三角城市群空间结构重构:基于社会网络分析[J].经济地理,2015,35(10):50-56.
- [28] 孙海燕,陆大道,孙峰华,等.渤海海峡跨海通道建设对山东半岛、辽东半岛城市经济联系的影响研究[J].地理科学,2014,34(2):147-153.
- [29] 刘军.社会网络分析导论[M].北京:社会科学文献出版社,2004.
- [30] 王春艳,李从容,王益君,等.基于社会网络分析的丝绸之路经济带经济网络动态演化特征研究[J].商业经济研究,2022(21):142-145.
- [31] 刘军.整体网分析:UCINET软件使用指南[M].上海:格致出版社,2019.
- [32] 吕波,王辉,何悦,等.辽宁城市间旅游经济联系的空间结构及发展模式[J].统计理论与实践,2021(3):57-61.
- [33] 刘晓玲.环长株潭城市群经济网络结构时空演变研究[J].湖北经济学院学报,2022,20(6):112-119.
- [34] 孙海燕,李少琦,时超,等.近30年渤海海峡跨海通道建设研究进展及展望[J].经济地理,2022,42(2):64-73.

## Spatial-temporal Heterogeneity of Economic Connection Intensity and Its Network Structure in Bohai Economic Circle

MAO Wenjie<sup>1</sup>, BIAN Lili<sup>2</sup>, HU Linyue<sup>1</sup>, ZHAO Yumei<sup>1</sup>, QIN Weishan<sup>1</sup>, SUN Haiyan<sup>1</sup>

(1.School of Resources and Environmental Engineering,Ludong University,Yantai 264039,China;

2.Zibo Traffic Construction and Development Center,Zibo 255000,China)

**Abstract:** As a new engine to stimulate China's economic growth, the Bohai economic circle shoulders an important mission in the high-quality economic development in the new era. Based on ArcGIS 10.8 and Ucinet 6.0, this paper takes 43 cities in three provinces and two cities where the Bohai economic circle is located as the research object, and uses the modified gravity model and social network analysis method to explore the spatial-temporal heterogeneity of economic ties and network structure between cities from 2010 to 2021. The results are as follows. 1) The intensity of economic ties in the Bohai economic circle has gradually increased, the growth rate has slowed down from fast to slow, the regional differentiation is obvious, the cities with high economic ties are concentrated and stable, and most cities are at a low level of ties. 2) The overall network density value is low and slowly increasing. From high to low, it presents the spatial distribution characteristics of the middle, south and north. The network structure tends to be complex and the degree of compactness is significantly improved. 3) Centrality presents the spatial-temporal heterogeneity of overall improvement and unbalanced economic radiation. 4) Within the economic circle, four agglomerative subgroups are formed at the secondary level of the city, and eight subgroups are formed at the tertiary level in the early stage of the study period, and then reduced to seven at the later stage. The subgroups show a spatial distribution pattern of three areas and multiple points. On this basis, some suggestions are put forward, such as strengthening regional cooperation, defining core cities and building transportation circles, in order to provide reference for regional coordination and high-quality development of Bohai economic circle.

**Keywords:** economic linkage; network structure; gravity model; Bohai economic circle

(责任编辑 李秀芳)