

# 长三角地区城市能级网络结构演变及影响因素研究

刘阳慧<sup>1,2</sup>, 杨 山<sup>1,2</sup>, 范擎宇<sup>3</sup>, 林金萍<sup>1,2</sup>, 朱广昊<sup>4</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

(2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 江苏 南京 210023)

(3. 江苏第二师范学院地理科学学院, 江苏 南京 211200)

(4. 南京师范大学公共管理学院, 江苏 南京 210023)

**[摘要]** 从创新功能、协调功能、开放功能和支撑功能 4 个维度构建城市能级测度指标体系, 利用能级综合评价结果修正城市引力模型, 探析长三角地区城市空间联系特征, 进一步采用 QAP 回归法分析影响因素。结果表明: (1) 2010 年以来长三角地区城市能级整体不断上升并向均衡化态势发展。空间上表现出“中心—外围”形态, 上海、南京、杭州等多个中心城市组成“Z”字型高值集中区, 低能级城市主要分布在外围区域。城市能级功能系统中支撑功能是区域高质量发展的优势维度, 协调功能为短板维度。(2) 长三角城市能级网络中节点联系程度不断增强, 城市相互作用空间格局与城市能级格局呈现空间趋同性, 多中心空间结构特征不断凸显。整个地区城市能级网络呈现密集化态势, 网络的稳健性和通达性得到提升, 节点集聚力强于扩散力。安徽省表现为以合肥为中心的单核辐射引领形态, 江苏、浙江两省表现为以多个城市为中心的多核辐射引领形态。(3) 多种因素共同作用于城市空间联系的发展, 经济规模、社会资源、地理区位和空间距离对城市空间联系具有显著影响。

**[关键词]** 城市能级, 网络结构, 空间联系, 时空演变, 影响因素, 长三角地区

**[中图分类号]** F125; K921 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2023)02-0034-10

## Study on the Structural Evolution and Influencing Factors of Urban Energy Level Network in the Yangtze River Delta Region

Liu Yanghui<sup>1,2</sup>, Yang Shan<sup>1,2</sup>, Fan Qingyu<sup>3</sup>, Lin Jinping<sup>1,2</sup>, Zhu Guanghao<sup>4</sup>

(1. School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

(3. School of Geography, Jiangsu Second Normal University, Nanjing 211200, China)

(4. School of Public Administration, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** The index system of urban energy level is constructed from four dimensions of innovation function, coordination function, openness function, and support function, and the comprehensive evaluation results of energy level is used to revise urban gravity model. The spatial connection characteristics of cities in the Yangtze River Delta region are analyzed, and QAP regression method is further used to analyze the influencing factors. The research results show that: (1) Since 2010, the overall urban energy level in the Yangtze River Delta region has been rising and developing towards a balanced situation. The spatial “center-periphery” form has been displayed, and many central cities such as Shanghai, Nanjing, and Hangzhou have formed “Z” high-value concentration areas, and low-energy cities are mainly distributed in the outer areas. In the urban energy level function system, the support function is the advantage dimension of high-quality regional development, and the coordination function is the short board dimension. (2) The connection degree of nodes in the urban energy level network in the Yangtze River Delta region is constantly strengthened. The spatial pattern of urban interaction and the pattern of urban energy level show spatial convergence, and the characteristics of multi-center spatial structure are constantly highlighted. The urban energy level network in the whole region presents a dense trend, and the robustness and accessibility of the network are improved. The concentration of urban nodes is stronger than the diffusion. Anhui Province shows the leading form of single nuclear radiation with Hefei as the center, while Jiangsu Province and

收稿日期: 2022-05-31.

基金项目: 国家自然科学基金项目(42171200、42101195)、江苏省科研创新计划项目(KYCX21\_1289).

通讯作者: 杨山, 博士后, 教授, 博士生导师, 研究方向: 城乡发展与空间规划. E-mail: yangshan@njnu.edu.cn

Zhejiang Province show the leading form of multiple nuclear radiation with multiple cities as the center. (3) Many factors work together on the development of urban spatial connection. Economy, social, geographical location and spatial distance have significant influence on urban spatial connection.

**Key words:** urban energy level, network structure, spatial connection, spatial-temporal evolution, influencing factors, Yangtze River Delta region

“能级”本是现代物理学的一个重要概念,而后被引入到区域经济学领域并围绕城市能级比较评价、具体功能能级分析及城市能级提升发展策略等方面开展相关研究<sup>[1]</sup>。国外学者有关城市能级的探索研究经历了由单个城市向城市体系的转变<sup>[2]</sup>,其中 Hennemann 等<sup>[3]</sup>对东京、悉尼、墨尔本和卡拉奇等多个城市能级进行比较分析,Kresl 等<sup>[4]</sup>探析了美国 24 个大都市区的城市能级发展状况。国内有关城市能级的研究可分为功能能级、联系能级和场能能级三方面<sup>[5]</sup>。城市功能能级方面:施祖辉<sup>[6]</sup>和孙志刚<sup>[7]</sup>最早将能级引入到城市功能的研究中,明确提出城市能级是一个城市的综合实力及其某种功能或多种功能对该城市以外区域的辐射能力,主要体现于经济实力、发展潜力和基础支撑力等方面。此后,学者们相继依据城市功能等理论,通过构建城市能级评价指标体系,对环渤海城市群、皖江区域和长江经济带的城市能级开展了实证研究<sup>[8-10]</sup>。研究显示,通过城市的基本功能评判能级高低,能够较好地反映城市综合发展水平及对外辐射影响程度。城市联系能级方面:研究者基于百度指数<sup>[11]</sup>、嵌套网络模型<sup>[12]</sup>和城市—公司数量矩阵<sup>[13]</sup>等对城市网络联系能级进行评价,研究指出城市联系能级可表征城市间联系的强弱。城市场能能级方面:学者在电磁场理论的基础上提出“旅游场”<sup>[5]</sup>“城市场”<sup>[14]</sup>等概念,并探讨其科学性与现实性。本研究将功能能级与联系能级两者相结合,对城市能级的研究作进一步的理论与实证探索。

随着区域一体化的深入推进,城市作为区域间相互联系网络中重要的节点和载体,与周围的广大区域保持着密切的关联,具有调控和服务相邻区域的功能,城市之间的空间联系成为区域协调发展的重要表征,并可通过社会网络的相关理论和方法进行评估,同时也是城市地理学研究的热点<sup>[15]</sup>。城市空间联系的相关研究有利于了解区域空间组织,进而推动区域协调发展新格局的形成。研究方法上,城市间联系主要通过相互作用强度来测度,重力模型是较为常用的一种测度方法<sup>[16]</sup>,Zipf<sup>[17]</sup>进一步将其应用于城市空间相互作用研究并建立了引力模型。从 20 世纪 90 年代开始,以重力模型测算区域城市间经济联系强度的方法在我国得到广泛应用。结合城市发展实际需求,学者们还提出了众多引力模型的修正方法<sup>[18-19]</sup>,进而综合考虑人口、经济水平、基础设施等因素的影响,构建城市质量指标体系来系统评价区域城市的综合实力<sup>[20-21]</sup>。

2019 年国务院发布了《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》,明确指出形成“创新共建、协调共进、绿色共保、开放共赢、民生共享”的区域协调发展新格局是长三角地区实现高质量一体化发展的核心和方向<sup>[22]</sup>。新发展理念既为城市的发展指明了方向,也为城市能级的提升规定了具体内容,即城市能级的提升是城市综合功能完善的过程,包括城市经济实力的提升、城市基础设施的完善、城市创新能力的增强和城市间分工协作的优化等<sup>[23]</sup>。鉴于此,为更能贴合长三角地区的现实需求,本文将新发展理念的内涵与城市能级的功能特征相结合共同构建评价指标体系,利用城市能级测算结果修正传统引力模型,对长三角地区城市之间的空间联系特征进行研究,并基于 QAP 回归模型定量识别长三角地区城市空间联系的影响因素,以期丰富城市空间联系特征及机理的研究,推动长三角地区实现一体化高质量发展。

## 1 指标体系与研究方法

### 1.1 研究区概况

2010 年以来,《长江三角洲地区区域规划》《长江三角洲城市群发展规划》及《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》等政策陆续出台,长三角地区在国家现代化建设和全方位对外开放中的战略地位日益突出,成为推动全国高质量发展的重要引擎。《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》将长三角规划范围正式定为上海市、江苏省、浙江省和安徽省全域。其中,27 个城市为长三角一体化区域的中心区。将中心区以外的 14 个城市定义为长三角地区的外围区(表 1)。

表 1 研究区域划分  
Table 1 Division of study area

区域	城市
中心区	上海市
	江苏省 南京市、苏州市、无锡市、常州市、镇江市、南通市、扬州市、泰州市、盐城市
	浙江省 杭州市、绍兴市、宁波市、湖州市、嘉兴市、温州市、金华市、台州市、舟山市
	安徽省 合肥市、芜湖市、马鞍山市、宣城市、滁州市、铜陵市、池州市、安庆市
外围区	江苏省 徐州市、淮安市、宿迁市、连云港市
	浙江省 衢州市、丽水市
	安徽省 蚌埠市、淮南市、阜阳市、淮北市、亳州市、宿州市、六安市、黄山市

1.2 指标选取与数据来源

在遵从数据的可获取性、时效性及针对性原则的基础上,根据“创新、协调、绿色、开放和共享”新发展理念的内涵与经济实力、发展潜力和基础支撑力等城市能级功能特征,从城市创新功能、协调功能、开放功能和支撑功能 4 个维度构建城市能级指标体系. 具体为:①创新功能主要用以表征城市科研创新的投入力度和创新成果对城市高质量发展的贡献程度<sup>[24]</sup>,选用 R&D 经费投入强度、科学技术支出占公共财政支出的比重、万人拥有高等学校专任教师数、万人专利授权量等指标来描述. ②协调是城乡、产业和区域等多方面协调发展的重要体现,协调功能主要从产业结构、城乡结构和经济稳定性等方面考虑<sup>[25-26]</sup>,指标包括产业结构高级化、城乡人均可支配收入差距、城镇化率和 GDP 增长率. ③开放功能涵盖城市内外投资、对外贸易和交通往来方面<sup>[23]</sup>,指标包括对外贸易依存度(进出口总额/地区 GDP)、实际利用外商直接投资额、年货运总量和年客运总量. ④绿色发展与基础设施的共享是支撑城市发展的重要基础,共同构成城市支撑功能. 支撑功能涵盖绿地建设、环境污染和治理方面,以及城市基础设施建设、社会保障和公共服务方面<sup>[23,27]</sup>. 指标包括建成区绿化覆盖率、人均公园绿地面积、可吸入细颗粒物年平均浓度和污水处理厂集中处理率、人均铺装道路面积、每万人拥有公共汽电车数、万人拥有病床数、人均拥有公共图书馆图书藏量. 为避免主观赋权的不足,每个指标的权重采用熵值法确定,各指标数据主要来源于《中国城市统计年鉴》(2011—2020),创新能级的部分数据通过三省一市统计年鉴与相应地级市的统计公报进行补充完善.

1.3 研究方法

首先,对原始数据进行 Min-Max 标准化处理,运用熵值法得出各项指标权重  $w_j$ ,构建城市能级测算模型,并采用变异系数测度不同区域城市能级的均衡水平<sup>[28]</sup>,测算公式如下:

$$E_i = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \times 100, \tag{1}$$

式中: $x_{ij}$ 为第  $i$  个城市的  $j$  项指标原始数据同趋化后的标准值.

其次,构建修正的引力模型以表征长三角地区各城市能级之间的联系量,其表达式为:

$$I_{ij} = k \frac{P_i P_j}{(D_{ij})^b}, \tag{2}$$

式中: $I_{ij}$ 为两个城市间的空间相互作用力; $P_i$ 、 $P_j$ 分别为城市  $i$ 、 $j$  的综合质量,本文从长三角地区区域协调发展新格局出发,使用所得的城市能级  $E_i$  来表征城市实力; $D_{ij}$ 为城市  $i$ 、 $j$  间的距离,本文以两城市之间的最短交通时间代替两城市之间的直线距离<sup>[29-30]</sup>(基于高德地图 API 与 Python 获取); $b$ 为距离摩擦系数,在参考相关研究<sup>[30-32]</sup>基础上,本文取  $b=2$  以表征跨省区尺度的空间联系; $k$ 为引力系数,本文设定为

$$k = \frac{E_i}{E_i + E_j}.$$

再次,运用社会网络分析法探究区域城市能级之间的互动关系和网络结构<sup>[33]</sup>. 本文采用网络密度指标反映城市能级网络中各城市之间的紧密程度<sup>[20]</sup>,网络关联度指标反映长三角地区城市能级网络的稳健性或脆弱性<sup>[34]</sup>,点度中心度指标反映节点的重要程度<sup>[35]</sup>.

最后,结合二次指派程序(QAP)研究长三角地区城市基于能级空间联系与影响因素的相关关系,以探析长三角地区城市能级空间联系网络结构时空演变的影响因素.

## 2 结果分析

### 2.1 长三角地区城市能级测度结果分析

#### 2.1.1 城市能级时序特征

采用城市能级模型测算得出 2010—2019 年长三角地区 41 所城市的能级指数及相关统计数据(图 1). 长三角地区城市能级的总体发展水平不断得到提升,不同区域呈现不同幅度上升趋势;城市能级发展水平差距不断缩小,但仍处于高度不均衡状态. 从城市能级均值来看,全区域 2019 年能级均值较于 2010 年增长了 41.46%;中心区能级均值增长幅度为 37.70%;外围区能级均值增长幅度为 58.81%;江苏省能级均值增长了 33.41%;浙江省能级均值增长了 44.82%;安徽省能级均值增长了 53.91%. 从城市能级变异系数来看,研究期内全区域变异系数由 0.696 下降至 0.605;中心区变异系数由 2010 年 0.536 下降至 2015 年 0.476,2016—2019 年数值在 0.475~0.485 之间波动;外围区变异系数由 2010 年 0.261 波动下降至 2019 年 0.187;江苏省变异系数由 2010 年 0.592 波动下降至 2019 年 0.503;浙江省由 2010 年 0.384 波动下降至 2019 年 0.338;安徽省变异系数 2010—2015 年由 0.464 降至 0.342,2016—2019 年波动上升至 0.374,省内差距经历了先缩小后扩大的过程.

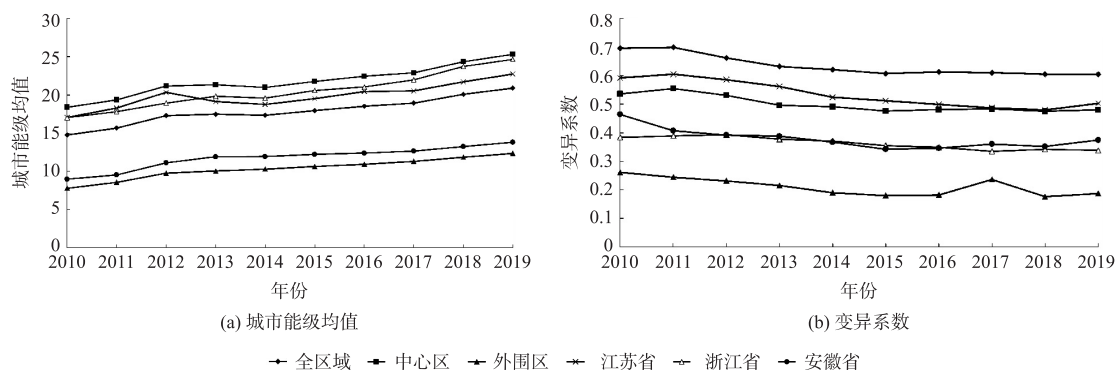


图 1 长三角地区城市能级统计指标

Fig. 1 The statistical indexes of urban energy level in the Yangtze River Delta region

#### 2.1.2 城市能级空间特征

为更好从空间上表现城市能级发展情况,使用 SigmaPlot12.5 软件进行可视化分析(图 2). 2010 年,除上海、苏州、南京和杭州等城市能级发展水平显著突出外,绝大多数城市能级处于低水平状态,代表较低城市能级的蓝色在区域中占据主导. 2019 年各市城市能级不断增强,代表较高城市能级的黄绿色覆盖范围相较于 2010 年不断扩大,高能级城市集中于中心区,上海、苏州、无锡、常州、南京、合肥、嘉兴、杭州和宁波等高能级城市形成“Z”字型高值集中区;低能级城市主要集中于外围区,包括江苏北部、浙江南部及安徽南北部地区. 从各个省城市能级形态来看:江苏省整体上呈“南北高中间低”形态,南部苏锡常和南京等市形成能级高值集聚区,北部的徐州为较小的高值区;浙江省呈现北高南低形态,以杭州和宁波为中心形成高值区;安徽省形成以合肥为单高值中心的中间高南北低的形态. 相较于多高值中心的江苏、浙江两省,安徽省整体的城市能级水平较低,是长三角区域低值区占比最大的省份.

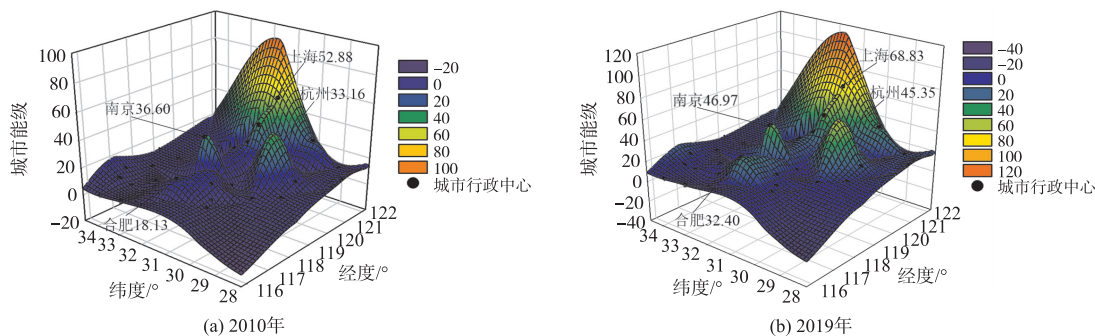


图 2 长三角地区城市能级空间格局

Fig. 2 Spatial pattern of urban energy level in the Yangtze River Delta region



### 2.1.3 城市能级各子系统

创新、协调、开放和支撑功能系统在城市能级发展过程中发挥不同程度的作用(图3)。从功能系统的比较分析来看:支撑功能是长三角地区高质量发展的优势维度,其2019年的整体发展水平相较于2010年呈显著性增长,表明区域城市生态文明和基础设施建设成效显著,使其成为长三角地区能级增长的重要奠基,其中浙江省的平均增势最高;协调功能是区域高质量发展的短板维度,尽管其在近十年的发展进程中有所提升,但一直处于低水平发展态势,说明产业结构的调整及城乡一体化的发展是长三角地区提高城市能级的重要突破瓶颈,其中上海增势最好;开放功能的极差值最大,反映区域城市的开放水平差异明显,离散程度大,且部分城市受外部环境变化影响开放能级略有下降趋势,其中安徽省的平均增势最高;区域雄厚的经济基础与发达的科教文化给创新功能的发展提供优势,部分城市创新功能发展水平的突增致使区域城市创新发展水平的差异加剧,同时表现出巨大的创新驱动发展潜力,其中上海创新功能增长最明显。从区域发展来看:中心区与外围区城市能级功能系统发展水平增速存在差异;外围区协调和开放功能的整体增幅优于中心区,其中亳州、宿州和阜阳等市提升最快;中心区的创新和支撑功能整体增幅优于外围区。

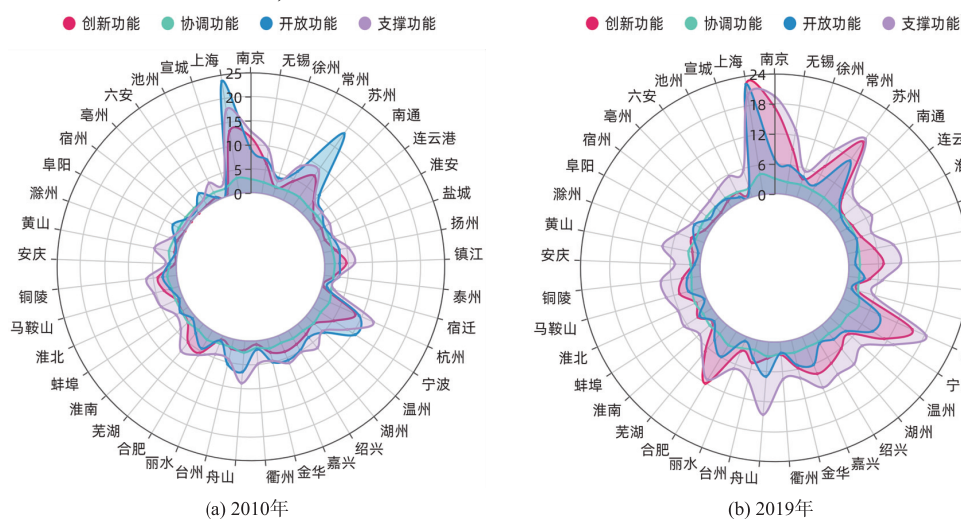


图3 长三角地区城市能级不同功能系统

**Fig. 3** Different functional systems of urban energy level in the Yangtze River Delta region

## 2.2 长三角地区城市能级网络结构演变

### 2.2.1 空间联系强度特征

城市间联系的强度越大,表明该城市与其他城市间相互作用程度越密切. 基于城市能级使用修正的引力模型,得出长三角地区城市空间联系量及各市与区域内其他城市之间相互作用总量,并利用 Sigma Plot12.5 软件将长三角地区城市对外空间联系总量绘制成等值线图(图 4). 2010—2019 年上海、苏州、南

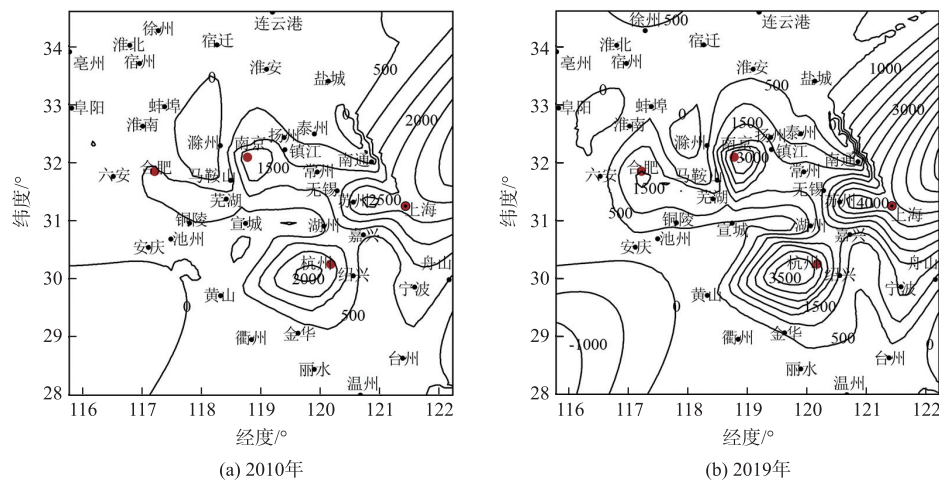


图4 长三角地区城市空间联系总量等值线

**Fig. 4** Contour of the total intensity of urban spatial connection in the Yangtze River Delta region

京、杭州和无锡对外空间联系总量位列前 5,其中,2010 年苏州对外空间联系总量最高,2019 年上海对外空间联系总量最高。2010 年长三角地区城市对外空间联系总量的等值线整体较为稀疏,表明地区城市间总量的差距较小;中心区等值线显著密集于外围区,中心区所含对外空间联系总量较高的城市数量多,区域内城市间的总量差异更大;外围区大多数城市位于 0~500 等值线之间,外围区对外空间联系的整体水平明显低于中心区。随着长三角地区各市对外空间联系的加强,至 2019 年总量超过 500 的城市占比从 34.15% 增加到 48.78%。2019 年等值线的密度增加,城市间总量的差异加剧,研究区域内等值线最高值由 2 500 升至 4 000。纵观等值线的空间布局,等值线的数值以上海、苏州、南京、杭州和合肥为中心向四周降低,长三角地区多中心空间结构特征不断凸显。

### 2.2.2 整体联系网络特征

通过对各区域城市能级网络密度和关联度的测算,发现研究期间长三角地区各城市之间基于城市能级的空间联系日益紧密,联系范围不断扩张,全区域网络密度值由 0.263 上升至 0.456,区域空间联系网络化逐渐显现,但整体联系较弱,紧密度不高。中心区与外围区城市空间联系的紧密程度存在差异,2010—2019 年中心区联系网络密度由 0.511 升至 0.717,外围区联系网络密度由 0.099 升至 0.280,外围区城市空间联系紧密程度明显低于中心区,区域整体表现出“中心区紧密、外围区松散”的不均衡格局。2010—2019 年长三角各区域网络稳健性加强,至 2019 年全区和中心区网络关联度均达到 1,区域网络具有很好的通达性(图 5)。相比于中心区和全区,外围区城市间可达性较差,发展至 2019 年,外围区空间联系网络关联度为 0.812。中心区为城市能级高值集中区,随着上海、苏州、南京和杭州等高能级中心城市的辐射效应与带动能力提高,中心区网络密集性不断加强,网络结构更为稳健;外围区城市受地理区位及经济发展水平等众多因素的制约,尽管联系网络得到一定的改善,但网络结构相对脆弱,城市间的交互作用仍具有较大的提升空间。

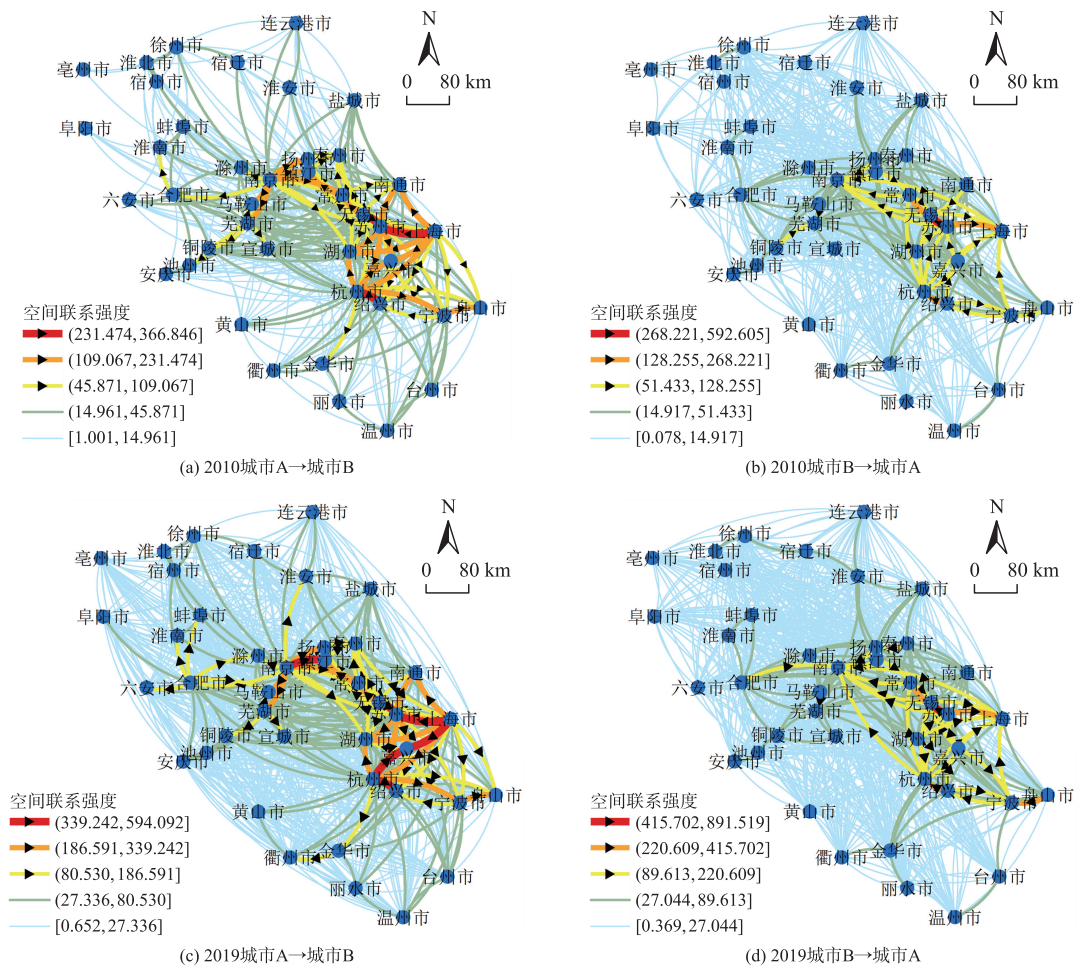


图 5 长三角地区城市双向空间联系网络  
Fig. 5 Urban two-way spatial connection network in the Yangtze River Delta region

2.2.3 联系网络节点特征

以长三角全区为单位得出 41 个城市的点度中心度,并将 2010 年和 2019 年点度中心度排名前 10 的城市及全区均值情况进行表征(表 2). 整体来看,长三角地区城市空间联系网络中城市点入度大于点出度,表明区域空间联系网络中各城市的吸引力强于对外辐射力. 随着城市能级水平的提升,中心度均值从 2010 年 13.122 增至 2019 年 21.707,点出度与点入度的均值由 2010 年 10.537 增至 2019 年 18.244,其中南京市和合肥市点出度增量大于点入度,城市对外的辐射能力得到显著提升. 点度中心度排名前 10 的城市主要位于长三角地区高能级集中区,以江苏、浙江两省城市居多,合肥市的名次明显走高,成为安徽省内最重要集聚—扩散节点,再次印证了安徽省表现为以合肥为主的单核辐射引领形态及江苏、浙江两省表现为以江苏南部、浙江北部多个城市为主的多核辐射引领形态. 上海是长三角地区城市能级最高的城市,但其辐射力和吸引力往往会随着城市间距离的增加而逐渐减弱. 相比之下,同样具有高能级水平的南京,在区域中占据地理位置优势,处长三角地区的地理中心,其点度中心度位居首位.

表 2 城市空间联系网络点度中心度相关统计指标

Table 2 The statistical indexes related to degree centrality of urban spatial connection networks

城市	2010 年			城市	2019 年		
	点出度	点入度	中心度		点出度	点入度	中心度
南京市	19	35	35	南京市	29	40	40
上海市	16	32	32	上海市	23	39	39
苏州市	19	32	32	苏州市	25	39	39
杭州市	18	27	27	无锡市	23	36	36
无锡市	18	23	23	杭州市	25	35	35
芜湖市	16	22	23	合肥市	26	35	35
常州市	19	21	22	常州市	23	30	30
镇江市	16	19	20	湖州市	23	28	28
宁波市	14	20	20	镇江市	23	27	28
合肥市	14	18	20	嘉兴市	24	28	28
均 值	10.537	10.537	13.122	均 值	18.244	18.244	21.707

2.3 长三角地区城市能级联系网络的影响因素

2.3.1 回归模型构建

城市空间联系作为复杂网络系统,其形成和演变受经济、资源、区位和政策等多种因素综合驱动. 参考已有研究<sup>[36-38]</sup>,本文主要从城市属性和地理空间两方面选取指标,对影响因素进行解析. ①城市属性,包括经济规模(PGDP)、社会资源(Social)、资源基础(Resource). 具体为:经济规模以城市市辖区人均地区生产总值(万元/人)来计算;社会资源为行政级别虚拟变量:直辖市、省会城市及计划单列市赋值为 1,其他城市赋值为 0;资源基础为虚拟变量:资源型城市赋值为 1,非资源型城市赋值为 0,其名单来自《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020 年)》. ②地理空间,包括地理区位(Zone)、时间距离(Time)、空间距离(Distance). 具体为:地理区位为虚拟变量(中心区城市赋值为 1,外围区城市赋值为 0);时间距离为每一对城市之间最短驾车时间(h);空间距离为每一对城市之间最短驾车距离(km). 数据均基于高德地图 API,使用 Python 获取. 基于此建立影响因素计量模型:

$$F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6\},$$

式中:因变量  $F$  为长三角地区城市空间联系矩阵;等式右侧为各变量构建的关系矩阵,其中,  $f_1$  代表经济规模,  $f_2$  代表社会资源,  $f_3$  代表资源基础,  $f_4$  代表地理区位,  $f_5$  代表时间距离,  $f_6$  代表空间距离.

2.3.2 影响因素分析

运用 Ucinet 软件对 2010 年和 2019 年影响因子矩阵与城市空间联系矩阵进行 QAP 回归分析,结果见表 3. 回归模型得到的  $R$ -square 值介于 0.464~0.501 之间,表明影响因子整体的拟合效果较好,从  $P$  值来看,各影响因子的拟合系数可信度较高.

回归结果显示,不同的影响因子对长三角地区城市空间联系影响在方向和程度上存在差异,其中经济规模、社会资源、地理区位和空间距离是关键影响因子. 具体而言,①经济规模的系数均显著为正,表明城市的经济发展规模越大,城市间的空间联系越密切;相较于 2010 年,2019 年系数变小,城市空间联系的影



响因素更加复杂,经济发展水平对其影响所占比例有所减少。②社会资源的系数均显著为正,表明区域内行政级别高的城市对于内部资源<sup>[32]</sup>配置及财政支配有着更高的权限,对城市间空间联系的方向具有导向作用。③资源基础的系数均为不显著负数,未通过显著性检验,不同的资源禀赋和产业基础影响城市产业类型的发展,传统农业和工业型城市在区域中对外空间联系往往相对薄弱。④地理区位的系数均显著为正数且不断增加,表明区位条件是区域城市空间联系发展的积极因素,优越的地理区位有利于城市自身的发展及与其他城市之间合作交流。城市在区域中所处空间位置影响其与其他城市之间的交互作用,越接近中心区高能级城市,将越有利于其承接高能级城市的产业外溢。中心区高能级城市的辐射带动能力会随着城市间距离的增加而逐渐减弱,位于外围区的城市大多数远离上海、苏州等中心区高能级城市,接受到的辐射带动作用较弱。⑤时间距离的系数均为较显著负数,意味着时间距离越小的城市之间拥有更强的空间联系。⑥空间距离的系数均为显著负数,空间距离对区域城市之间人流、物流等生产要素的高速流动产生抑制作用,空间距离越远,城市间相互作用的阻碍越大。

表 3 QAP 矩阵回归分析结果  
Table 3 Analysis results of QAP regression

因子	2010 年			2019 年		
	回归系数	<i>P</i> (Large)	<i>P</i> (Small)	回归系数	<i>P</i> (Large)	<i>P</i> (Small)
PGDP	0.375 ***	0.000	1.000	0.193 ***	0.000	1.000
Social	0.072 ***	0.006	0.994	0.062 ***	0.009	0.991
Resource	-0.015	0.684	0.316	-0.045	0.933	0.067
Zone	0.157 ***	0.001	0.999	0.178 ***	0.000	1.000
Time	-0.098 **	0.981	0.019	-0.078 **	0.957	0.043
Distance	-0.248 ***	1.000	0.000	-0.436 ***	1.000	0.000
<i>R</i> <sup>2</sup>		0.464			0.501	
Adj- <i>R</i> <sup>2</sup>		0.463			0.500	

注:变量的系数为标准化回归系数;\*\*\*、\*\*、\* 分别代表在 1%、5%和 10%的水平上显著。

3 结论与建议

本文基于城市能级功能特征,从创新功能、协调功能、开放功能和支撑功能 4 个维度构建城市能级评价指标体系,对长三角地区城市间的空间联系特征进行分析,通过 QAP 回归模型分析城市空间联系的影响因子。主要结论如下:

(1)从城市能级特征来看,2010 年以来长三角地区各市能级得到不同程度的提升,离散程度逐渐缩小,区域趋向均衡化态势发展。空间呈现“中心—外围”两极分化发展格局,高能级城市集中于中心区,上海、苏州、南京、杭州和合肥等多个中心城市组成“Z”字型高值集中区,其中合肥是区域新高值中心,其强辐射力带动安徽全员全面融入长三角地区;低能级城市主要集中于外围区,位于江苏北部、浙江南部及安徽北部和南部地区。城市能级功能系统中支撑功能是区域高质量发展的优势维度,协调功能为短板维度。

(2)从能级联系空间特征看,空间关联是使城市能级功能特征由“无形”化为“有形”的有力表征,其空间格局与城市能级具有趋同性。随着城市能级辐射力不断增强,辐射范围不断扩增,城市间联系总量迅速增加,安徽省表现为以合肥为主的单核辐射形态,江苏、浙江两省表现为以江苏南部、浙江北部多个城市为主的多核辐射形态。长三角地区城市空间联系网络化特征明显,网络密度不断增加,各区域网络的稳健性和通达性得到提升,节点集聚力强于扩散力。

(3)城市联系网络受经济、资源、区位和政策等多种因素共同作用。经济规模、社会资源和地理区位对区域城市空间联系的增强具有显著的正向影响,资源基础、时间距离和空间距离对空间联系产生负向影响,其中经济规模、社会资源、地理区位和空间距离的影响显著。

根据研究结论,本文提出以下政策建议:(1)长三角一体化发展的短板在外围区,提升外围区城市能级是推进长三角一体化高质量发展的重点任务。外围区低能级城市应在自身不同发展阶段内,立足自身条件,找准自己的正确定位,加强与高能级城市的空间联系,激发区域发展动力,补齐区域协调发展中的短板;中心区高能级城市应充分发挥辐射作用,带动低能级城市发展,不断缩小中心区与外围区经济社会发展差距。(2)协调功能系统中产业结构的调整及城乡融合发展是提升城市能级水平和推动长三角地区高质量发展的关键。



城乡融合发展应从国家、区域、地方、社区等多尺度采取城乡共治联合措施,促进行政管理、户籍、土地和社会保障等多维制度联动发展<sup>[39]</sup>。(3)发达的交通设施是有效带动城市内部及城市之间生产要素高速流动的重要保障,能够缩短城市之间的时空距离,提高城市内在发展活力和对外联系水平。应不断完善各区域交通基础设施,增强城市内外部通达性,促使区域形成纵横交错的现代化快速交通网络,推动城市之间分工合作、优势互补、资源共享,在经济、产业、交通和设施等多方面相互衔接形成区域联动。

### [参考文献]

- [1] 叶南客,王聪. 长三角区域中心城市能级:内涵、测度与评价[J]. 中共南京市委党校学报,2019(5):1-8.
- [2] PUGLISI M, MARVIN S. Developing urban and regional foresight: exploring capacities and identifying needs in the North West[J]. Futures, 2002, 34(8): 761-777.
- [3] HENNEMANN S, DERUDDER B. An alternative approach to the calculation and analysis of connectivity in the world city network[J]. Environment and planning B: planning and design, 2014, 41(3): 392-412.
- [4] KRESL P K, SINGH B. Competitiveness and the urban economy: twenty-four large US metropolitan areas[J]. Urban studies, 1999, 36(5): 1017-1027.
- [5] 陆相林,马凌波,孙中伟,等. 基于能级提升的京津冀城市群旅游空间结构优化[J]. 地域研究与开发, 2018, 37(4): 98-103.
- [6] 施祖辉. 上海与国际中心城市的功能能级比较[J]. 预测, 1997(1): 30-32.
- [7] 孙志刚. 城市功能论[M]. 北京: 经济管理出版社, 1998.
- [8] 赵全超,汪波,王举颖. 环渤海经济圈城市群能级梯度分布结构与区域经济发展战略研究[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2006(2): 28-32.
- [9] 韩玉刚,曹贤忠. 皖江区域城市能级与生态环境协调度的测度和发展趋势研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(6): 909-916.
- [10] 方大春,孙明月. 长江经济带核心城市影响力研究[J]. 经济地理, 2015, 35(1): 76-81.
- [11] 陈震,赵映慧,陈琪. 长江中游城市群网络联系能级研究——基于百度指数的探索[J]. 现代城市, 2016, 11(2): 34-39.
- [12] 刘江会,贾高清. 上海离全球城市有多远? ——基于城市网络联系能级的比较分析[J]. 城市发展研究, 2014, 21(11): 30-38.
- [13] 姚永玲,董月,王韞涵. 北京和首尔全球城市网络联系能级及其动力因素比较[J]. 经济地理, 2012, 32(8): 36-42.
- [14] 庄汝龙,宓科娜,赵彪,等. 基于可达性的中心城市市场能与经济关联格局——以浙江省为例[J]. 经济地理, 2016, 36(9): 58-65.
- [15] FANG C, YU X, ZHANG X, et al. Big data analysis on the spatial networks of urban agglomeration[J]. Cities, 2020, 102: 102735.
- [16] REILLY W J. Method for the study of retail relationships[M]. Austin: University of Texas, 1929.
- [17] ZIPF G K. The P1P2/D hypothesis: on the intercity movement of persons[J]. American sociological review, 1946, 11(6): 677-686.
- [18] 姜莉莉,袁家冬,邸玉双,等. 吉林省城市空间结构及地方中心城市腹地范围界定[J]. 地理科学, 2020, 40(8): 1319-1327.
- [19] 徐建斌,占强,刘春浩,等. 基于经济联系与空间流的长株潭城市群空间异质性分析[J]. 经济地理, 2015, 35(10): 36-43.
- [20] 刘庆芳,王兆峰. 粤港澳大湾区经济空间关联特征演变及网络效应[J]. 地理与地理信息科学, 2022, 38(2): 55-62.
- [21] 谢诗光. 浙江省县际经济联系网络结构演化分析[J]. 世界地理研究, 2020, 29(4): 738-749.
- [22] 曹卫东,曾刚,朱晟君,等. 长三角区域一体化高质量发展:问题与出路[J]. 自然资源学报, 2022, 37(6): 1385-1402.
- [23] 焦欢. 对19个副省级及以上城市的城市能级测评[J]. 国家治理, 2019(6): 3-23.
- [24] 吕拉昌,谢媛媛,黄茹. 我国三大都市圈城市创新能级体系比较[J]. 人文地理, 2013, 28(3): 91-95.
- [25] 欧进锋,许抄军,刘雨骐. 基于“五大发展理念”的经济高质量发展水平测度——广东省21个地级市的实证分析[J]. 经济地理, 2020, 40(6): 77-86.
- [26] 陈子曦,青梅,杨玉琴. 成渝地区双城经济圈高质量发展水平测度及其时空收敛性[J]. 经济地理, 2022, 42(4): 65-73.
- [27] 李金艳. 中三角城市群多维能级梯度分析与绿色崛起路径研究[J]. 统计与决策, 2012(9): 121-124.
- [28] 蒋海兵,李业锦. 京津冀地区制造业空间格局演化及其驱动因素[J]. 地理科学进展, 2021, 40(5): 721-735.
- [29] 李梦程,王成新,刘海猛,等. 黄河流域城市发展质量评价与空间联系网络特征[J]. 经济地理, 2021, 41(12): 84-93.
- [30] 汤放华,时新镇,龚蓉. 快速交通对城市可达性及经济联系影响研究——以湖南省为例[J]. 长江流域资源与环境,

2022,31(1):49-58.

- [31] 赵东霞,韩增林,赵彪. 东北地区城市经济联系的空间格局及其演化[J]. 地理科学,2016,36(6):846-854.
- [32] 刘少丽,陆玉麒. 江苏省沿江地区城镇空间布局构想[J]. 南京师大学报(自然科学版),2010,33(2):109-114.
- [33] 苏海洋. 基于联系能级的粤港澳大湾区城市旅游网络结构及其效应研究[J]. 暨南学报(哲学社会科学版),2021,43(11):62-76.
- [34] 徐晨璐,钟业喜. 基于列车时刻表的长江中游城市群空间联系格局变化研究[J]. 南京师大学报(自然科学版),2017,40(4):148-153.
- [35] 张华,孙鹏. 多维邻近性对陕西泾阳茯茶产业集群创新的影响研究[J]. 南京师大学报(自然科学版),2022,45(2):34-43.
- [36] 王雪微,赵梓渝,曹卫东,等. 长三角城市群网络特征与省际边界效应——基于人口流动视角[J]. 地理研究,2021,40(6):1621-1636.
- [37] 盛科荣,李扬,孙威. 中国城市网络腹地空间格局及影响因素[J]. 经济地理,2021,41(3):66-76.
- [38] 江孝君,杨青山,刘杰,等. 东北三省区域经济差异的多尺度与多机制研究[J]. 地理科学,2020,40(3):383-392.
- [39] 叶超,于洁. 迈向城乡融合:新型城镇化与乡村振兴结合研究的关键与趋势[J]. 地理科学,2020,40(4):528-534.

[责任编辑:丁 蓉]