

“等级—网络”双维度下长三角城市关联性的演变模式*

——基于人口流动大数据的分析

邵云通 吴 晓

Evolution Models of Urban Connectivity in the Yangtze River Delta in the Perspectives of Urban Hierarchy and Network: An Analysis of Big Data on Population Flows

SHAO Yuntong, WU Xiao

Abstract: This paper examines inter-city population flows in the perspectives of urban hierarchy and network through leveraging spatial and temporal big data. Based on a theoretical analysis of the methodology and standards for measuring urban connectivity as well as an assessment of their applicability, the paper highlights the focal point of urban connectivity and proposes an index system for measurement. Utilizing the Yangtze River Delta urban agglomeration as an example, the paper quantitatively tracks the changes in urban connectivity from 2015 to 2020. Through hierarchy analysis and cluster analysis, it distills six evolution models of urban connectivity in the Yangtze River Delta and identifies exemplary cities for each model. Major findings are summarized in three aspects. First, the overall development trend of the Yangtze River Delta urban agglomeration is characterized by a weakening hierarchical structure and stable network connectivity. Second, a relatively balanced hierarchical structure has been formed within the Yangtze River Delta urban agglomeration, and in the national population mobility network, a few provincial capitals continue to play pivotal roles. Third, from the dual perspectives of hierarchy and network, cities in the Yangtze River Delta can be categorized into six types according to the connectivity evolution model. Among them, Shanghai and Suzhou feature top and stable connectivity and a hierarchy-network equilibrium; Hangzhou and Nanjing demonstrate high and stable connectivity with the dominance of network over hierarchy; Hefei, Wuxi, Jinhua, and Ningbo are characterized by high and fluctuating connectivity with the dominance of network over hierarchy. Three other models coexist with the aforementioned three.

Keywords: urban connectivity; population flow; the Yangtze River Delta; urban network; urban hierarchy

提 要 借助于时空行为大数据,以城市间的“人口流动”为切入路径,以“等级+网络”双维度的叠加分析为研究思路,在对“等级—网络”双维度下城市关联的认知方法、城市关联性评价标准及其适用范围展开理论辨析后,确定并建立了从“等级—网络”视角下认知城市关联性的关注点和测度城市关联性的指标体系。同时在优化现有分析手段的基础上,以长三角城市群作为样本,定量测度其在2015—2020年间的城市关联性指标变化,并进一步通过层次分析和聚类分析提炼得到了长三角城市关联性的6类演变模式及其对应城市。发现:长三角城市群整体呈现出“等级结构弱化”和“网络关联维稳”的发展趋势;长三角城市群内部已经形成了相对均衡的等级结构,同时在全国人口流动网络之中,长三角城市群内对于人口输送、转运发挥较明显作用的城市依然是少数的几个省会级城市;在“等级—网络”双维度叠加的视角下,长三角城市根据其关联性演变模式的差异可被划分为“关联性最高且稳定,等级—网络双维均衡”的上海和苏州,“关联性高且稳定,网络维度主导”的杭州和南京;“关联性较高但波动明显,网络维度主导”的合肥、无锡、金华和宁波等共计6种类型。
关键词 城市关联;人口流动;长三角;城市网络;城市等级

中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.16361/j.upf.202306009

文章编号 1000-3363(2023)06-0059-09

作者简介

邵云通,中国城市规划设计研究院上海分院规划师,shaoyt0824@163.com

吴 晓,东南大学建筑学院教授、博士生导师,中国城市规划学会城市更新学术委员会秘书长,通信作者,seu-wxiao9999@163.com

在网络社会崛起之后,“流空间(space of flows)”迅速成为了与“场所空间(space of places)”并列的、颇受城市地理学界研究者们所关注的对象。学者们在这两类

* 国家自然科学基金项目“职业视角下大城市进城务工人员的就业空间结构和时空轨迹研究——以南京市为实证”(51878142);“‘就业—居住’共轭视角下大城市流动人口居住空间模式研究——以苏南地区为实证”(51178097);根据第六届“金经昌中国城乡规划研究生论文竞赛”获奖论文改写

空间中对城镇体系和城市属性展开了长期的研究,并已经形成了“等级”和“网络”两类特征鲜明的研究维度。就“城市关联”而言,其内涵与Haggett^[1]提出的“空间相互作用(spatial interaction)”基本一致,即“城市之间不断地进行着的物质、能量、人员和信息的交换”。

正如Castells^[2]所述,现阶段城市发展的现实背景就是“场所空间和流空间的相互依存和长期共存”。在这样的背景下,已有大量学者^[3-5]从“等级”和“网络”两个维度来认知城市关联规律和特征,并已形成了一定的共识,即:等级维度和网络维度下的城市关联虽然在表现形式和有效范围上会有所不同,但二者都为关注和测度不同方向的城市关联状态分别提供了有效路径,也均是现阶段认知和探究“城市关联性”所必须具备的重要视角。同时,近年来我国流动人口的规模和基于移动位置服务的时空行为大数据应用都迎来了爆炸性的增长,使“人口流动”迅速成为现阶段认知城市关联的重要路径。

但从现有的城市关联研究来看,因缺乏普遍共识的、能够准确且详细反映城际人群活动和人口流动的数据,学者们或多通过传统的经济产业^[6-8]、社会文化^[9-11]、基础设施^[12-13]等路径对城市关联进行测度和研究,或虽然采用了“人口流动”这一有效的研究视角,但仍未能同步关注“等级—网络”双维度下城市关联性的差异与联系,也未能对“等级—网络”双维度下评估城市关联性的价值标准和测度方法进行清晰有效的界定^[14-15]。

总而言之,现有城市关联研究还普遍存在着对短期流动人口的忽视、等级—网络耦合研究的缺失和动态解析成果的不足等问题。本文则正是借助于时空行为大数据,以城市间的“人口流动”作为切入路径,以“等级—网络”维度的叠加分析作为研究思路,优化现有的分析手段,针对2015—2022年间长三角城市群的城市关联性演变展开动态研究,并进一步发掘人口流动视角下城市关联性的演变模式,以期为发掘人口流动规律、丰富城市关联研究路径、推进长三角地区一体化发展提供一定的学术参考。

1 “等级—网络”双维度下城市关联性的差异辨析

1.1 “等级—网络”双维度下城市关联的认知方法

从等级维度来认知城市关联主要是基于Christaller^[16]提出的“中心地理论”:城市通过对外提供商品和服务来表征其中心性,并成为某一区域的中心地;同时较低等级的中心地会受到较高级中心地的控制,成为后者的“补充区域”。由此可见,等级维度下主要是通过“城市间因要素集聚度不同和地理邻近性差异而相互竞争、进而形成的权利分配结构”来构建“垂直向的城市关联”,其具有由高等级到低等级的单向、非对称的方向特征和跨度较小、随距离衰减明显的空间特征,主要用以影响城镇体系的规模等级结构,并决定城市的等级地位和权力大小。

从网络维度来认知城市关联则可以参考Castells^[17-18]对于“网络社会”“流空间”等概念的定义和解析:经济全球化使城市通过提供不同的经济职能和履行各自的互惠作用而融入国际化的生产网络,进而使城市间的关系从简单的“控制—依附”关系向“协作、反馈和互补”关系转化。由此可见,网络维度下主要是通过“城市间因要素流动频率不同和联系通道属性差异而相互合作、进而形成的交互协同结构”来构建“水平向的城市关联”(也有学者^[19]认为这一视角下的城市关联也即狭义的城市网络),具有以枢纽节点为中心的双向甚至多向的方向特征和跨度较大、随距离衰减不明显的空间特征,主要用以影响城镇体系的网络联系结构,并决定城市的枢纽作用强弱关系。

1.2 “等级—网络”双维度下的城市关联性评判标准

那么基于上述“城市关联性认知方法”,在“等级—网络”双维度下,不同城市的“关联性”又该从哪些方面加以评估?这一问题的答案可以从以下理论和实证中找寻。

1.2.1 等级维度下的城市关联性评价标准

在等级维度下,以Christaller的中心

地理论为基础,研究者们对城市的“中心”内涵做出了进一步的延伸,以城市的“中心性”和“控制力”大小以及城市对等级结构稳定性的维持作用来共同测度其关联性强弱。

“中心性”实际代表了城市在城镇体系中集聚资源的能力,而因为等级维度下主要通过“层级控制”来构建城市关联,所以一个城市“集聚资源的能力”也包括两个方面:其一,城市本身直接占据的资源规模——在人口流动视角下,城市直接占据的资源规模可以通过其直接发生吸引的“人口流动总量(quantity of population, Q_i)”来测度;其二,城市通过控制其他城市,进而间接占据的资源规模,现有研究中,学者们主要是基于Neal^[20]提出的“转变中心性(alter-based centrality, AC_i)”算法展开实证分析和测度。

“控制力”则代表了城市控制城镇体系中资源流动的能力,这方面的实证研究始于Neal^[20]提出的“转变控制力(alter-based power, AP_i)”概念。与中心性相比,控制力强调的是城市的“被依附性”和对城镇体系中资源的潜在影响力,一个城市的控制力大小主要由城市在等级体系中所处的位置决定。

另外,Christaller和Zipf^[21]基于城市“位序—规模”关系构建了“城市规模—数量呈幂律分布”的“金字塔”型理想城镇体系结构,在这种城镇体系中,任一城市同其他城市间的“位序梯度(rank gap, RG_i)”越大,就越可能接近于城镇体系的“金字塔顶端”,是数量上更为稀少、结构上更不可或缺的对象,对于“维持城镇体系等级结构的稳定性”而言也更具重要意义。

1.2.2 网络维度下的城市关联性评价标准

在网络维度下,研究者们^[22-23]提出了和等级维度有明显区别的城市关联性评判标准:通过城市传播流要素的能力、城市对要素流动的影响、城市对网络结构稳定性的维持作用来评判城市的关联性大小。

城市传播流要素的能力:Wasserman等^[24]学者指出网络中一个节点传播流要素的能力主要受两方面影响:其一是节点在网络的“接近中心性(closeness

centrality, CC_i)”大小,即一个节点越是同其他节点接近,则该点在传递信息方面就越容易;其二则是该节点与网络中其他节点的“关联均衡性(link balance, LB_i)”水平,即一个节点与其他节点的关联路径越是直接、均衡和多元化,则该节点越有可能在流要素传播过程中发挥更大的作用。

城市对要素流动的影响: Burt在对“结构洞”的研究中最早关注到这一点, Freeman^[25]则给出了测度这一关联特征的“中间中心性 (betweenness centrality, BC_i)”指标,即通过测度网络中某一节点处于其他点对间最短路径上的频率来刻画该节点对网络中要素流的影响力,其中中间中心性较高的网络节点由于身处许多关联路径上,具有信息优势和控制优势,因而也更有可能会对网络中要素流动产生显著的影响^[26]。

城市对网络结构稳定性的维持作用: 还有学者从网络结构稳定性的视角出发,指出节点的重要性还应体现在该节点对网络稳定性的维持作用上^[27]。对于网络中的一个节点而言,其同其他节点的关联路径数量越多、在网络中的“节点关联度 (point connectivity, PC_i)”越高,则对网络结构稳定性的维持作用就越明显。

1.2.3 小结

总而言之,在等级维度/网络维度下,均可以通过“三项研究关注点”和“四项关联性指标”分别作为准则层和指标层,进而建构测度城市关联性的层次递阶结构。见图1。

1.3 “等级—网络”双维度下的城市关联性研究适用范围

正如Christaller所强调的“中心地往往仅在一定的区域中发挥中心作用”,在等级维度下的城市关联往往是相对内向的、在既有聚落中形成的;而从Cas-

tells^[17]提出的“伴随着时空压缩,要素流会呈现出无边界限制的延伸态并形成网络”来看,网络维度下的城市关联基本不受行政/地理边界的限制,显示出极强的外向性,使城市能够同其所在聚落之外的广阔空间发生联系。无独有偶,近年来国内外诸多学者^[28-30]在探讨网络视角下的城市关联和城市体系时也均是“超越地理邻近性”和“非本地的联系”作为网络维度下城市关联的基本特征。

因此,在探讨“等级维度下城市关联性”时,研究和分析的范围应聚焦于某一城镇体系的内部空间;而在探讨“网络维度下城市关联性”时,既需要将某一城镇体系的内部空间作为研究范围,也需要把同该城镇体系相关联的外部空间纳入研究和数据分析的范围之中。

2 研究设计

2.1 研究数据

本文所使用的人口流动相关数据获取于“腾讯位置”和“百度迁徙”两平台,该数据记录对象一致(均为除三沙市外的337个地级行政区),覆盖时间则有所不同(受数据接口关闭等影响,本文所采用的数据分别为:由腾讯平台提供的,2015—2019年的人口流动数据;由百度平台提供的,2019—2022年的人口流动数据),因此本文通过两平台数据的交集区间对两类数据进行换算,并统一了其颗粒度,最终得到各城市逐日、逐流动方向(包括流入和流出两种)发生的、与人口流动热度前十位的其他城市间的相关记录。

2.2 研究方法和技术路线

前文围绕着“等级维度”和“网络维度”下的长三角城市关联性,分别通过“三项研究关注点”和“四项关联性指标”建构了层次递阶结构。下文则将

在沿用“层次分析”思路,求解长三角城市在“等级—网络”双维度下关联性大小和变化的基础上,进一步引入“聚类分析”方法,提炼长三角城市的关联性演变模式。

本文技术路线具体如下:第一,分析长三角城市在2015—2022年间的各项关联性指标演变;第二,通过层次分析法将各城市的关联性指标加权叠加,得到其历年的“等级/网络维度关联性”;第三,以各城市历年的“等级/网络维度关联性”为基础,通过聚类分析提炼等级维度、网络维度下长三角城市关联性的演变模式;第四,再将提炼得到的等级维度、网络维度下长三角城市关联性的演变模式叠加起来,从而总结“等级—网络”叠加视角下的长三角城市关联性演变模式。见图2。

3 长三角城市关联性指标演变特征分析

长三角城市群不仅城市数量较多、不同城市的关联性变化模式也有较大差异,因此下文在分析指标演变时,均是对各项指标分别进行“变化过程分析(即判辨各城市在‘2015—2022年’这一连续时间序列内的变化模式)”+“变动结果分析(即对比各城市在‘2015年’和‘2022年’两个时间节点上的指标大小)”,以更加全面详细地把握长三角城市关联性指标的演变特征。

3.1 等级维度下的长三角城市关联性指标演变特征

3.1.1 等级维度下的长三角城市关联性指标体系

根据前文总结的“等级维度下测度城市关联性的层次递阶结构”,以如下指标体系(表1)来定量测度“等级维度”

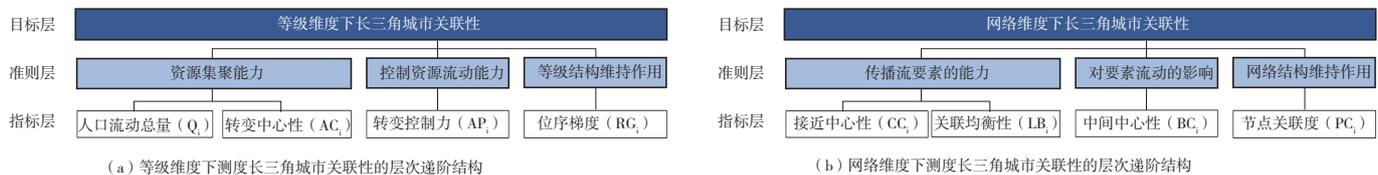


图1 等级维度、网络维度下长三角城市关联性评估的层次结构模型

Fig.1 Hierarchical structure model of urban connectivity assessment in the perspectives of hierarchy and network

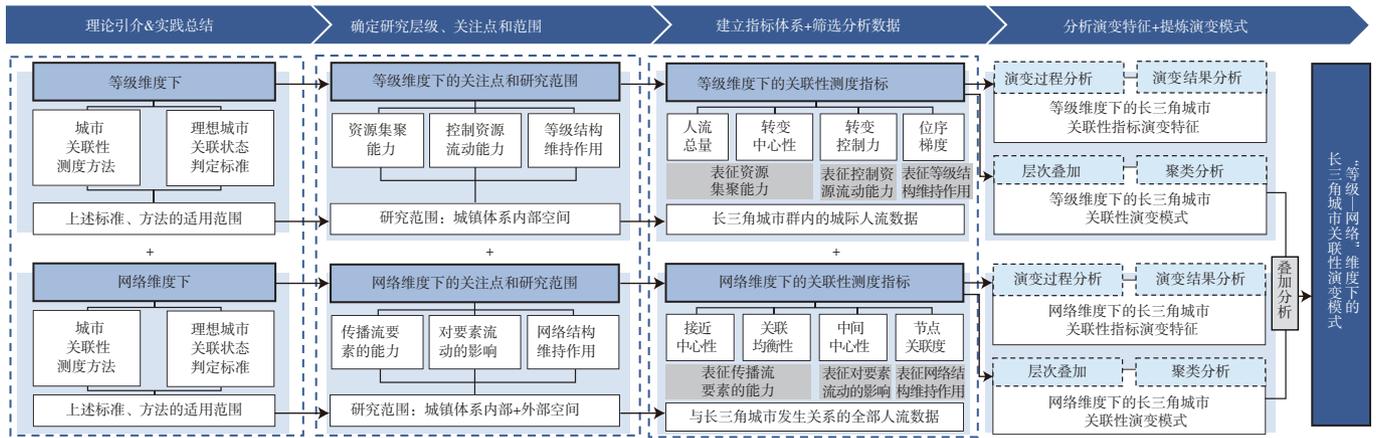


图2 本文技术路线

Fig.2 The research framework of this paper

下的长三角城市关联性。需要说明的是，表1中“转变中心性”和“转变控制力”的传统算法^②中均默认城市间的关系是“平等的双向关联”，这就导致其算法不可避免地会引发无限循环运算。所以，本文首先判断任意两城市间的“控制/依附”关系，再筛选测度城市的“控制对象”参与计算^③，进而确保计算逻辑与等级维度下的“层级控制关系”相契合。

3.1.2 等级维度下的长三角城市关联性指标演变特征

总体来看，各项“等级维度关联性指标”普遍呈现出了“波动幅度大、城市间竞争激烈”的变化过程特征和“首尾差异明显，经济强市各项指标普遍降低、中小城市各项指标反而普遍升高”的变动结果特征（图3），这说明：在2015—2022年间，长三角城市群内各经济强市对人口流动的吸引力、对等级结构稳定性的维持作用等均在逐渐弱化；中小城市的上述职能与作用则在不断增长，这也共同导致了长三角区域整体呈现出“均衡化”的发展趋势。

具体而言，除了“人口流动总量”这一项指标长期保持了“相对稳固的层级关系”外，其余三项指标均呈现出了“不同层级城市间差距较为明显，同一层级内城市竞争激烈，城市间差异随时间推移不断缩小”的变化趋势。

在“人口流动总量”这一指标上，“上海、杭州、苏州等经济强市领跑，舟山、池州等小城市相对落后”的状态长期得到了保持。这说明长三角不同城市之间已基于人口流动规模的差异形成了

表1 等级维度下测度城市关联性的指标体系

Tab.1 Index system for measuring urban connectivity in the perspective of hierarchy

维度	一级指标	二级指标	计算公式	变量解释	指标释义
等级维度	资源集聚能力	人口流动总量 (Q_i)	$Q_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} + \sum_{j=1}^n R_{ji}$	R_{ij} 为从城市j流入城市i的人口规模, R_{ji} 为从城市i流入城市j的人口规模	Q_i 值越高代表城市i“自身直接占据的资源规模”越大
		转变中心性 (AC_i)	$AC_i = \sum_{j=1}^n [(R_{ij} - R_{ji}) \times Q_j]$ ($R_j > R_i$)	Q_j 为城市j的人口流动总量,若 $R_{ij} > R_{ji}$,则表明城市i对城市j为控制关系	AC_i 值越高代表城市i“控制其他城市、进而间接占据的资源”规模也就越大
		控制资源流动的能力 (AP_i)	$AP_i = \sum_{j=1}^n [(R_{ij} - R_{ji})/Q_j]$ ($R_j > R_i$)		AP_i 值越高则代表城市i越有可能被其他城市依附,“控制资源流动的能力”也就越强
	对等级结构稳定性的维持作用	位序梯度 (RC_i)	$RC_i = \text{Mean}[(Q_{i+1}^{\text{mk}} - Q_i) + (Q_i - Q_{i-1}^{\text{mk}})]$	Q_{i+1}^{mk} 、 Q_{i-1}^{mk} 分别为以人口流动总量排序后城市i上一位、下一位城市的人口流动总量, Q_i 则为城市i本身的人口流动总量	RC_i 值越高代表城市i同其邻近位序间城市的人口流动规模差距越大,其对“等级结构稳定性的维持作用”也越强

注：计算表中各项关联性指标时，所用数据均是长三角城市群内部的人流数据

分层清晰且稳固的层级关系。

在“转变中心性”这一指标上，“高中心性城市强度降低、低中心性城市强度升高”的变化趋势十分明显。这说明就“关联其他城市进而集聚资源的能力”而言，城市群内的经济强市普遍弱化，中小城市反而大多有所提升。

在“转变控制力”这一指标上，“上海、苏州、杭州等经济强市为第一梯队，其他中小城市为第二梯队，各梯队内部竞争激烈，两梯队之间差距逐渐缩小”的变化状态比较显著。这说明长三角城市群内“控制资源流动”能力有所提升的城市主要是经济实力较弱、发展起步

较晚的小城市，另外，随着时间的推移，不同城市之间基于转变控制力强度差异而形成的等级关系也正在逐渐弱化。

“位序梯度”这一指标则呈现出“苏州、杭州、南京等经济强市为第一梯队，嘉兴、常州为第二梯队，其他中小城市为第三梯队，各梯队内部竞争激烈，不同梯队间交叠不多”的变化状态，同时与前述指标相似，“位序梯度升高的城市不仅数量较少，且在2015年时的位序梯度普遍较低”这一特征也十分明显。这说明长三角城市群内不同城市间的人口流动规模差距正在逐渐缩小，大多数城市“对等级结构稳定性的维持作用”均

在逐渐衰减，但不同城市之间基于位序梯度形成的等级关系始终是“层级间差异明显而层级内竞争激烈”的。

3.2 网络维度下的长三角城市关联性指标演变特征

3.2.1 网络维度下的长三角城市关联性指标体系

根据前文总结的“网络维度下测度城市关联性的层次递阶结构”，如下指标体系（表2）来定量测度“网络维度”下的长三角城市关联性。需要说明的是，因为本文所建构的城际人流网络属于“有向加权网络”，因此在计算表2中的“节点关联度”时，任意两城市间的“可达性”并不能简单地通过“两城市间有无人流联系”来判断。考虑到网络维度下认知城市关联的特殊之处（强调双向联系，反映城市间的协作关系），可规定本文所建构的城际人流网络中“可达的两城市（以城市*i*、城市*j*为例）”需同时满足如下两个标准：其一，两城市间存在双向的人口流动关联，且 $R_{ij} > \min R$ ， $R_{ji} > \min R$ ， $\min R$ 即所有城市间人流规模的均值；其二，对两城市间双向的人口流动规模（ R_{ij} 、 R_{ji} ）而言，若 $R_{ij} > R_{ji}$ ，则需满足 $R_{ij} < 2R_{ji}$ ；同理，若 $R_{ji} > R_{ij}$ ，则需满足 $R_{ji} < 2R_{ij}$ ④。

3.2.2 网络维度下的长三角城市关联性指标演变特征

总体来看，各项“网络维度关联性指标”普遍呈现出了“波动幅度较小”

“首尾差异不大”的变化过程特征和“不同城市之间的差距始终相对稳定”的变动结果特征（图4），这说明在2015—2022年间，长三角各城市在全国网络中对人口流动的传播、影响能力和对网络结构稳定性的维持作用均未发生明显变化。

具体而言，“中间中心性”和“节点

关联度”两项指标均呈现出“不同城市间差异较大且等级分化显著”的特征；但“接近中心性”和“关联均衡性”两项指标则呈现出“不同城市间差异并不明显”的状态。

“接近中心性”虽然呈现出“高中心性城市强度降低、低中心性城市强度升高”的差异性变化状态，但也长期保持

表2 网络维度下测度城市关联性的指标体系

Tab.2 Index system for measuring urban connectivity in the perspective of network

维度	一级指标	二级指标	计算公式	变量解释	指标释义
网络维度	传播流要素的能力	接近中心性 (CC_i)	$CC_i = \left[\sum_j \min \left(\frac{1}{R_{ih}} + \dots + \frac{1}{R_{hj}} \right) \right]^{-1}$	n 为网络节点总数， h 为城市 <i>i</i> 到城市 <i>j</i> 路径上的中间节点， R 为节点间流动的人口规模	CC_i 值越高代表城市 <i>i</i> 与网络中的其他城市越接近，在网络中传播流要素的能力也就越强
		关联均衡性 (LB_i)	$LB_i = \left(1 - \sum_{rank(R_{ij})=3} \frac{R_{ij}}{Q_i^{in}} \right) + \left(1 - \sum_{rank(R_{ji})=1} \frac{R_{ji}}{Q_i^{out}} \right)$	R_{ij} 为从城市 <i>j</i> 流入城市 <i>i</i> 的人口规模， $rank(R_{ij})$ 为其规模位序； Q_i^{in}/Q_i^{out} 为城市 <i>i</i> 流入/流出的人口总量	LB_i 值越高则代表被测度城市 <i>i</i> 在网络中吸收/产出的流动人口分布越均衡
	对要素流动的影响	中间中心性 (BC_i)	$BC_i = \sum_{i=j=k} \frac{g_{jk}^R(i)}{g_{jk}^R}$	g_{jk}^R 为从城市 <i>j</i> 到城市 <i>k</i> 之间的最短路径 ^① 的数目， $g_{jk}^R(i)$ 为从城市 <i>j</i> 到城市 <i>k</i> 之间的最短路径中经过城市 <i>i</i> 的数目	$BC(i)$ 值越高则代表网络中途经城市 <i>i</i> 的最短路径越多，城市 <i>i</i> 对要素流动的影响”也越显著
	对网络结构稳定性的维持作用	节点关联度 (PC_i)	$PC_i = \sum_{j=1}^n count(L_{ij})$	$count(L_{ij})$ 为城市 <i>i</i> 同其可达的另一城市 <i>j</i> 之间的关联路径数量	PC_i 值越大表明城市 <i>i</i> 与其他城市间的关联路径越多，其对“维持网络结构稳定性”而言也越重要

注：计算表中各项指标时，所用数据既包括“长三角城市群内部的人流数据”，也包括“同长三角城市群发生关系的外部城市（跨界）关联的人流数据”

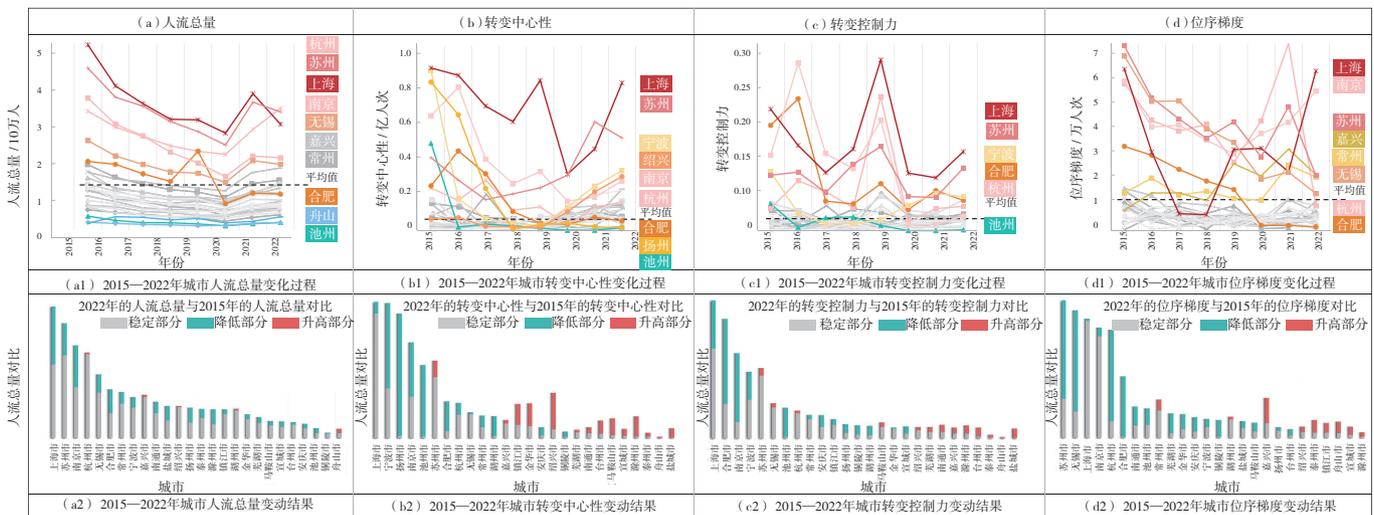


图3 等级维度下长三角城市关联性指标的变化过程+变动结果（2015—2022年）

Fig.3 The process and results of urban connectivity indicator changes in the perspective of hierarchy (2015—2022)

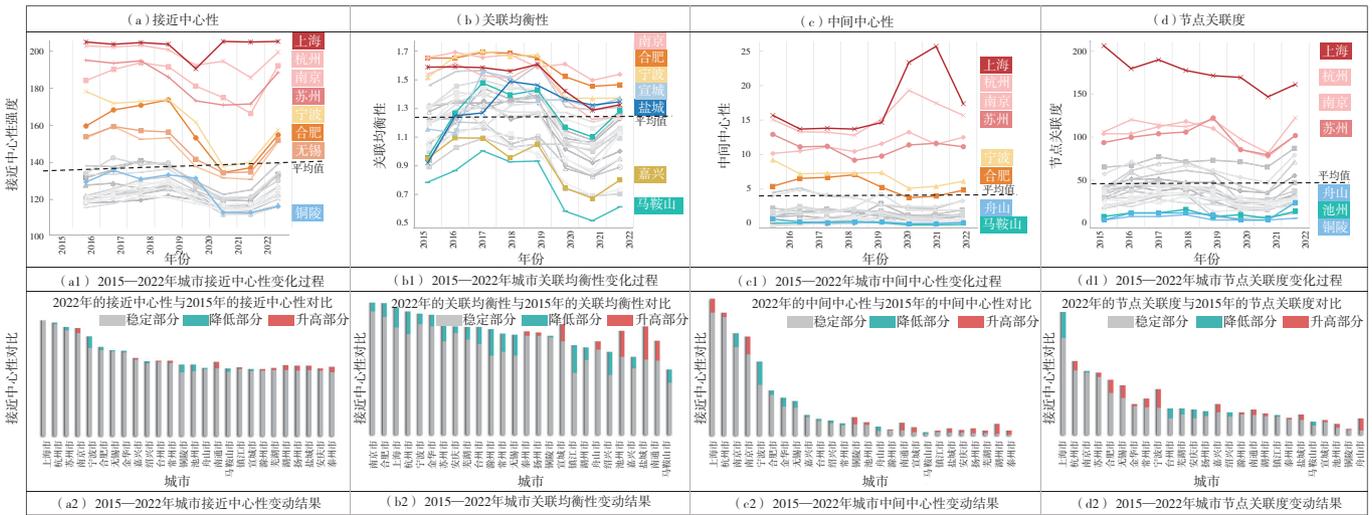


图4 网络维度下长三角城市关联性指标的变化过程+变动结果 (2015—2022年)
Fig.4 The process and results of urban connectivity indicator changes in the perspective of network (2015—2022)

了“上海、杭州为第一梯队，南京、苏州为第二梯队，宁波、合肥、无锡、金华为第三梯队，其他城市为第四梯队，各梯队内部偶有竞争，不同梯队之间完全不交叠”的分级特征。这说明长三角各城市“与网络中其他城市间的距离”差异正在不断缩小，但各城市之间基于接近中心性强度差异而形成的层级关系始终是较为稳定的。

“关联均衡性”则呈现出比较鲜明的“南京、合肥、杭州等经济强市长期领跑，宣城、盐城等中小城市逐步赶超”的变化状态，同时“高关联均衡性城市强度降低、低关联均衡性城市强度升高”的变化趋势也比较明显。这说明随着长三角城市群内的经济强市对网络中其他城市的依赖性逐渐升高，以及中小城市对网络中其他城市的依赖性逐渐降低，长三角城市群内经济强市在“关联路径均衡性”方面的优势正在不断缩小。

在“中间中心性”这一指标上，“上海、杭州为第一梯队，南京、苏州为第二梯队，宁波、合肥为第三梯队，其他城市为第四梯队，各梯队内部偶有竞争，不同梯队之间则完全不交叠”的变化状态长期得到了保持。这说明网络维度下长三角各城市之间“对要素流动的影响能力”差异始终十分明显，且基于此而形成的等级关系也始终是分级清晰且稳定的。

在“节点关联度”这一指标上，大多数城市均有一定程度的提升，同时可

以清楚地观察到“上海遥遥领先，杭州、南京和苏州紧随其后且竞争激烈，其他城市则与上述四城长期保持明显差距”的城际差异。这说明长三角城市与网络中其他城市间的关联路径数量正在逐渐增多，但在“维持网络结构的稳定性”方面发挥明显作用的城市仍然是城市群中少数的几个经济强市。

4 长三角城市关联性的演变模式提炼

4.1 分维度下的长三角城市关联性演变模式提炼

作为提炼长三角城市关联性演变模式的基础环节，需采用层次分析法(AHP)来定量评估长三角各城市节点的关联性强度——根据前文建构的层次结构模型[图1(a)]来构造判断矩阵，并通过专家打分法确定各层级因子的权重。在此基础上，对于长三角城市群内的任一城市*i*，可将其关联性指标进行加权叠加，进而得到“等级维度下长三角城市关联性(DCCP_{*i*})”和“网络维度下长三角城市关联性(NCCP_{*i*})”：

$$DCCP_i = 0.356Q_i + 0.258A_i + 0.268AP_i + 0.117RG_i \quad (1)$$

$$NCCP_i = 0.314CC_i + 0.18LB_i + 0.249BC_i + 0.257PC_i \quad (2)$$

由于“演变”不仅涉及到关联性的

大小，还与关联性本身的变化状态有密切关系，因此对于长三角城市群中的任一城市*i*，需进一步计算其在等级/网络维度下的“关联性大小(DCCP_{*i*}^{avg}/NCCP_{*i*}^{avg})”(即城市*i*在2015—2022年间的关联性均值)和“关联性变化(DCCP_{*i*}^{diff}/NCCP_{*i*}^{diff})”(即城市*i*“2022年关联性”同其“2015年关联性”的差值)，并对上述数据分别做标准化处理后，通过SPSS分析平台进行系统聚类分析^⑤。

基于系统聚类谱系图(图5)，比较把长三角城市“分为5类”和“分为4类”时的两种“类间差距”(即*d*₁、*d*₂)，可将等级维度下的长三角城市关联性演变模式提炼为5种类型，将网络维度下的长三角城市关联性演变模式提炼为4种类型，见表3。

4.2 “等级—网络”叠加视角下的长三角城市关联性演变模式提炼

将上文中提炼得到的分维度下的长三角城市关联性演变模式叠加起来，在分析各城市关联性大小及其变化的基础上进一步纳入和比较“等级—网络”两个维度的主导关系^⑥，从而将不同的演变模式及其对应的城市特征最终总结如下，见表4。

关联性最高且稳定，等级—网络双维均衡(对应上海、苏州)：这部分城市在“等级—网络”双维度下的关联性均长期稳居最前列，其不但长期作为城市

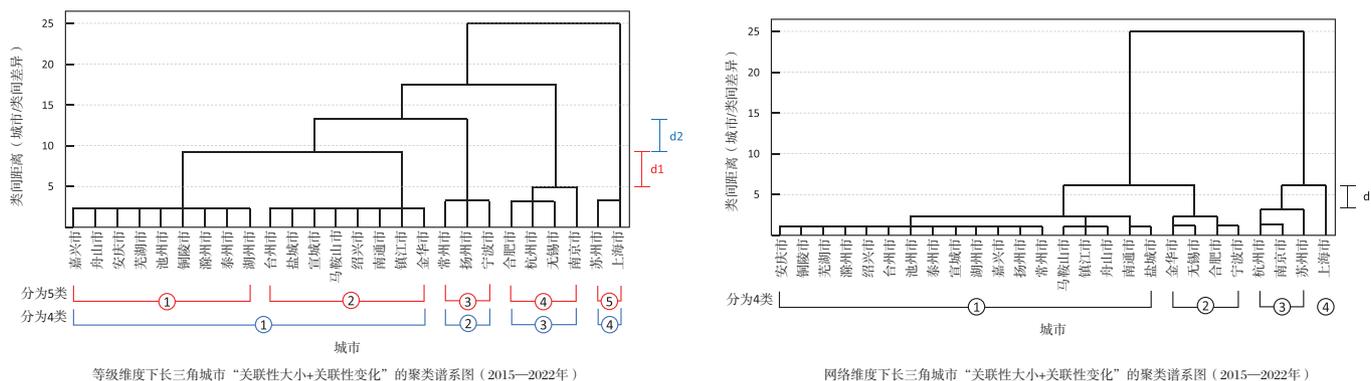


图5 等级/网络维度下长三角城市“关联性大小+关联性变化”的聚类谱系图（2015—2022年）

Fig.5 Urban correlation cluster pedigree of the Yangtze River Delta in the perspectives of hierarchy and network (2015—2022)

注：可根据聚类谱系图设定不同的分类数量来划分城市类型，为了突显不同类别之间的差异性，同时体现部分城市的独特价值，本文主要是在4类和5类两种类型数量间做比选

表3 等级/网络维度下的长三角城市关联性演变模式一览表

Tab.3 A list of urban connectivity evolution models in the Yangtze River Delta in the perspectives of hierarchy and network

维度	关联性演变模式空间落位	关联性演变模式	演变模式描述	对应城市
等级维度		A	关联性最高且稳定	上海、苏州
		B	关联性较高且稳定	杭州、南京、合肥、无锡
		C	关联性较高但随时间推移逐渐降低	宁波、扬州、常州
		D	关联性较低但随时间推移逐渐升高	金华、马鞍山、盐城、台州、宣城、绍兴、镇江、南通
		E	关联性最低且稳定	嘉兴、舟山、安庆、芜湖、铜陵、滁州、泰州、湖州
网络维度		A	关联性高且稳定	上海
		B	关联性较高且稳定	苏州、南京、杭州
		C	关联性居中且稳定	无锡、合肥、宁波、金华
		D	关联性低且稳定	常州、扬州、盐城、台州、宣城、绍兴、镇江、南通、嘉兴、舟山、安庆、芜湖、池州、铜陵、滁州、泰州、湖州、马鞍山

群内人口集散的最高等级中心地，也是在全国范围内保障人口顺畅流动的不可或缺的关键节点。

关联性高且稳定，网络维度主导（对应杭州、南京）：这部分城市的关联性同样长期保持在高水平上，甚至在网络维度下已与上海、苏州同属第一梯队，但在等级维度下仍与上述二城存在一定差距，可见这部分城市不仅是长三角城

市群内人口集散的二级中心地，在全国范围内更是承担人口流动功能最重要的几个关键性节点之一。

关联性较高但波动明显，网络维度主导（对应合肥、无锡、金华等）：这部分城市的关联性也相对稳定地保持在较高水准上，尤其是在网络维度下已与杭州、南京二城相当接近，但在等级维度下仍有较大差距，可见这部分城市属于

长三角城市群内人口集散的第三级中心，同时在全国范围内是保障人口顺畅流动的次级重要节点。

关联性起点较高但逐渐走低，等级维度主导（对应常州、扬州）：这部分城市在网络维度下的关联性始终不高，而等级维度下的关联性曾一度领先于金华和宁波，但随着时间的推移也在逐渐走低，可见这部分城市曾经也是城市群内人口集散的第三级中心，但其中心等级随时间推移逐渐降低，同时其与长三角城市群外城市间的人口交换长期存在短板，在城际人流网络中的地位和作用并不凸显。

关联性较低但有明显增长，等级维度主导（对应盐城、台州、宣城等）：这部分城市的关联性水平虽然接近于末尾，但曾在2015—2022年间有较大幅度的增长（尤其是等级维度的增势更为明显），这说明这部分城市在城市群内的中心等级虽然并不算高，但已显现出了明显的增长趋势，有成为城市群内第三级中心地的可能，而其与长三角城市群外城市的人口交换则有着明显缺陷，是全国人流网络中最常见的节点。

关联性最低且稳定，等级—网络双维均衡（对应嘉兴、舟山、安庆等）：这部分城市的关联性长期位于末端，不但随时间的推移变化平平，而且在“等级—网络”任一维度下都缺乏亮点，可见这部分城市不但在城市群内吸纳人口的能力较弱，与长三角城市群外城市的人口交换也较不活跃，在城市群内部的等级体系中和全国范围的人流网络中都

表4 “等级+网络”视角下的长三角城市关联性演变模式一览表

Tab.4 A list of urban connectivity evolution models in the Yangtze River Delta in the dual perspectives of hierarchy and network

等级—网络主导关系	关联性大小及变化	对应城市	关联性演变模式空间落位
等级—网络 双维均衡	关联性最高且稳定	上海、苏州	
	关联性最低且稳定	嘉兴、舟山、安庆、芜湖、池州、铜陵、滁州、泰州、马鞍山、湖州	
网络维度 主导	关联性高且稳定	杭州、南京	
	关联性较高但波动明显	合肥、无锡、宁波、金华	
等级维度 主导	关联性起点较高，随时间推移降幅明显	常州、扬州	
	关联性较低但随时间推移增幅明显	盐城、台州、宣城、绍兴、镇江、南通	

是最为“大众化”的成员。

5 结论和讨论

5.1 结论

本文以城市间的“人口流动”作为切入路径，以“等级—网络”双维度叠加分析作为研究思路，在理论辨析的基础上建立了从“等级—网络”视角下认知城市关联性的关注点和测度城市关联性的指标体系，并对长三角城市群在2015—2020年间“等级—网络”双维度下的城市关联性演变展开分析后，得出以下结论：

①就关联性指标的变化特征而言，在等级维度下，长三角城市呈现出“不同城市的关联性强度差异随时间推移不断缩小”的变化特征；在网络维度下，长三角城市关联性则普遍呈现出“波动幅度较小”“首尾差异不大”的变化特征——上述现象共同表明长三角城市群整体呈现出“等级结构弱化”和“网络关联维稳”的发展趋势。

②就分维度下关联性的演变模式而言，在等级维度下，长三角城市的关联性的演变模式不仅类型较多，且不同类型的城市数量也相对接近，同时关联性较高的城市普遍集聚在“南京—常州—无锡—苏州—上海”这一带状城市群周边——这既说明长三角城市群内部已经形成了相对均衡的等级结构，也印证

了人口相对较多、资本和技术集中的大城市确实能对外产生正向的辐射作用，进而带动周边城市的发展；而在网络维度下，长三角城市的关联性的演变模式不仅类型较少，且不同类型的城市数量也有明显差异，同时关联性较高的城市普遍是省会、直辖市等经济中心城市，在空间上则并无明显的集聚趋势，也就表明在全国人口流动网络之中，长三角城市群内对于人口输送、转运发挥较明显作用的城市依然还是少数的几个省会级城市。

③从“等级+网络”双维度叠加的视角来看，长三角城市在2015—2022年间的关联性演变模式可被分为六种类型，值得注意的是，在等级—网络主导关系上呈“网络维度主导”的城市普遍是城市群中人口规模较大、城镇化水平较高的经济强市，考虑到人口流动实际上表征了资本、信息、技术等多种要素的流动和变化，不难判断现阶段城市若意图稳固或提升其经济发展水平，则必须主动融入全国乃至更大范围的要素交换和生产网络之中。

5.2 讨论

若以本文经“模式提炼”得到的六类城市作为基础，则后续研究可进一步探讨“关联性大小和变化”与经济、社会、环境等“外部影响因素”之间的相关关系，进而进一步归纳“等级—网络”

视角下长三角城市关联性演变的影响机制。

另外，本文以城际人口流动作为城市关联的建构路径，并在此基础上探讨城市关联性的变化，后续研究则可以基于基础设施、经济产业、社会文化等传统关联要素建构城市关联，并从上述视角认知城市关联性的演变；此外，受数据来源所限，本文尚不能消除城市群落中乡村地域的流动人口对“城市关联性”的影响。上述内容均是可以进一步研究深化的方向，但并不影响本文结论的参考意义。

注释

- ① 对于本文所建构的城际人流网络这一有向加权网络而言，某一城市*i*到另一城市*j*间的最短距离是由两点间流动的人口规模决定的，其计算公式为： $d_{ij}^R = \min(\frac{1}{R_{ih}} + \dots + \frac{1}{R_{hj}})$ (*h*为城市*i*到城市*j*的路径上的中间节点，*R*为城市间的人口流动规模， d_{ij}^R 即为城市*i*到城市*j*的最短距离)。
- ② 转变中心性最初的计算公式为： $AC_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} \times DC_j$ ；转变控制力最初的计算公式为： $AP_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} / DC_j$ (R_{ij} 为城市*i*至城市*j*的关联强度， DC_j 为城市*j*的中心性强度)。
- ③ 现有研究中一般认为“人口流出”代表了城市对其他城市产生影响，“人口流入”则代表了城市受到其他城市的影响，所以 $R_j - R_i$ 实际上反映了城市*j*“受城市*i*控制”/“向城市*i*依附”的净值。
- ④ 笔者统计“两两城市间的人流关联规模比值—该比值对应的人流关联数量”的分布直方图后，发现当两两城市间的人流关联规模比值超过2时，直方图的累积曲线出现明显拐点，曲线增长率也开始趋近于零，这表明大部分城市之间的人流关联规模差异倍率均<2，因此在本文中也以“两城市节点间双向的人口流动规模差距是否达到2倍”为判定两城市节点间可达性的标准。
- ⑤ 相较于K-means均值聚类、二阶聚类等其他聚类方法，系统聚类的优势在于可针对个案或是变量聚类，聚类过程中受离群点的影响较少，且无须预设分类数量。在本文中，参与聚类分析的数据均为连续变量，同时在聚类前还无法对分类数量做出准确的预判，因此“系统聚类”算法较为

适用。

- ⑥ “等级—网络”二维度的主导关系在前文4.1、4.2的聚类结果基础上进行判断：当任一城市在某一维度下的关联性大小相较于另一维度更高或关联性的上升趋势相较于另一维度更明显时，则可判定其关联性演变模式属该维度主导。

参考文献

- [1] HAGGETT P. Locational analysis in human geography[M]. London: Edward Arnold, 1965.
- [2] CASTELLS M. The informational city: information technology, economic restructuring and the urban-regional progress [M]. Oxford U K & Cambridge USA: Blackwell, 1989.
- [3] 李震, 杨永春. 基于GDP规模分布的中国城市等级变化研究: 等级结构扁平化抑或是等级性加强[J]. 城市规划, 2010, 34(4): 27-31.
- [4] 冷炳荣, 杨永春, 谭一铭. 城市网络研究: 由等级到网络[J]. 国际城市规划, 2014, 29(1): 1-7.
- [5] 郑德高. 等级化与网络化: 长三角经济地理变迁趋势研究[J]. 城市规划学刊, 2019(4): 47-55.
- [6] 程遥, 张艺帅, 赵民. 长三角城市群的空间组织特征与规划取向探讨: 基于企业联系的实证研究[J]. 城市规划学刊, 2016(4): 22-29.
- [7] 唐子来, 李涛. 长三角地区和长江中游地区的城市体系比较研究: 基于企业关联网络的分析方法[J]. 城市规划学刊, 2014(2): 24-31.
- [8] 杨卓, 汪鑫, 罗震东. 基于B2B电商企业关联网络的长三角功能空间格局研究[J]. 城市规划学刊, 2020(4): 37-42.
- [9] 王启轩, 张艺帅, 程遥. 信息流视角下长三角城市群空间组织辨析及其规划启示: 基于百度指数的城市网络辨析[J]. 城市规划学刊, 2018(3): 105-112.
- [10] 吴志强, 陆天赞. 引力和网络: 长三角创新城市群的空间组织特征分析[J]. 城市规划学刊, 2015(2): 31-39.
- [11] 曹湛, 彭震伟. 崛起的全球创新中心: 中国城市在全球城市科研合作网络中的演化特征[J]. 城市规划学刊, 2021(5): 23-31.
- [12] 刘冰, 许劼, 张伊娜. 基于城际铁路的城市群空间网络重构: 以沪宁、沪杭走廊为例[J]. 城市规划学刊, 2020(2): 40-48.
- [13] 罗震东, 何鹤鸣, 耿磊. 基于客运交通流的长江三角洲功能多中心结构研究[J]. 城市规划学刊, 2011(2): 16-23.
- [14] 陈少杰, 沈丽珍. 基于腾讯位置大数据的三地同城化地区人口流动时空特征研究[J]. 现代城市研究, 2019(11): 2-12.
- [15] 潘竞虎, 赖建波. 中国城市间人口流动空间格局的网络分析: 以国庆—中秋长假和腾讯迁徙数据为例[J]. 地理研究, 2019, 38(7): 1678-1693.
- [16] CHRISTALLER W. Central place in Southern Germany [M]. London: Prentice Hall, 1966.
- [17] CASTELLS M. The rise of the network society[M]. Oxford: Blackwell, 1996.
- [18] 卡斯特尔. 网络社会: 跨文化的视角[M]. 周凯, 译. 北京: 社会科学文献出版社, 2009.
- [19] 孙斌栋, 张杰. 我国城市网络研究的批判性思考[J]. 城市规划学刊, 2023(2): 26-32.
- [20] NEAL Z. Differentiating centrality and power in the world city network[J]. Urban Studies, 2011, 48(13): 2733-2748.
- [21] ZIPF G K. Human behavior and the principle of least effort[M]. New Jersey: Addison-Wesley Press, 1949.
- [22] 任晓龙, 吕琳媛. 网络重要节点排序方法综述[J]. 科学通报, 2014, 59(13): 1175-1197.
- [23] 刘军. 整体网分析讲义: UCINET软件实用指南[M]. 上海: 格致出版社, 2009.
- [24] WASSERMAN S, ANDERSON C. Stochastic a posteriori block models: construction and assessment[J]. Social Networks, 1987, 9: 1-37.
- [25] FREEMAN L C. Centrality in social networks conceptual clarification[J]. Social Networks, 1979, 1: 215-239.
- [26] BURT R S. Structural holes: the social structure of competition[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1992.
- [27] 李鹏翔, 任玉晴, 席酉民. 网络节点(集)重要性的一种度量指标[J]. 系统工程, 2004, 22: 13-20.
- [28] 张艺帅, 赵民, 程遥. 面向新时代的城市体系发展研究及其规划启示: 基于“网络关联”与“地域邻近”的视角[J]. 城市规划, 2021, 45(5): 9-20.
- [29] 晏龙旭. 流空间结构性影响的理论分析[J]. 城市规划学刊, 2021(5): 32-39.
- [30] DERUDDER B. Taylor central flow theory: comparative connectivities in the world-city network[J]. Regional Studies, 2018: 52: 8, 1029-1040.

修回: 2023-11