

[文章编号] 1003-4684(2023)02-0084-07

江浙沪地区城市群空间结构优化

——基于引力模型和社会网络分析

刘富勤,朱永兴

(湖北工业大学土木建筑与环境学院,湖北 武汉 430068)

[摘要] 合理有序的空间结构为城市群协调发展提供依据,对空间联系强度和网络特征的分析,可以为城市发展提供借鉴。以江浙沪地区 25 个城市为例,利用熵值 TOPSIS 改进空间引力模型,对城市之间的空间联系强度进行计算,绘制空间联系网络图,并对结果进行社会网络分析,为城市群空间结构优化提供建议。研究表明:空间联系强度方面,江浙沪地区城市群,集中在上海、苏州、无锡和常州,呈现由中部向北部和南部,东部向西部递减的趋势。核心-边缘结构和凝聚子群分析中,城市群圈层结构明显,空间稳定性较好。核心圈层内城市掌握较多资源,整个城市群可分为三个圈层和四个凝聚子群。对此,文章针对每个城市子群提出具体建议。

[关键词] 江浙沪城市群; 熵值 TOPSIS; 空间结构; 社会网络分析

[中图分类号] F293 **[文献标识码]** A

城市群是指在一定地域空间内,以一个特大城市为核心,不同等级,规模和性质的大中小城市,以发达的交通网络为依托,吸引和辐射周边区域,共同构成相互作用、相互聚集的集合体。空间结构反映了一个城市群的综合发展水平和群内各城市经济、社会等要素的相互联系,可以用来衡量城市群的竞争力。城市群空间结构优化,是指从空间视角,在空间发展的现状基础之上,分析城市空间发展的局限性与潜力,提出城市空间未来的发展趋势和总体架构^[1],是城市体系研究的重要内容之一。对城市群空间网络的研究,可追溯到 Friedman 对城市等级体系的研究^[2]。目前,对城市群空间结构的研究主要有四个方面:一是城市群空间结构的形成原因和机理,白永亮(2014)从经济距离、质量和引力三个方面探寻长江中游城市群内部聚集的机理^[3]。张祥健(2003)通过对长江三角洲城市群产业机理研究,发现城市群驱动力是产业关联效应,产业转移效应和产业聚集效应^[4];二是对空间结构特征的研究。李金峰(2019)剖析了中原城市群物流业发展空间演变特征,认为整体联系强度明显增强,联系总量差距大且联系不平衡^[5]。武前波(2021)对浙江省 19 家银行构成的金融网络空间的结构特征进行分析^[6];三是对城市空间结构优化的探讨,钟业喜(2020)通过

对长江中游城市群空间结构比较分析,发现武汉城市圈紧凑度和可达性最好,并提出城市梯度建设的建议^[7]。程钦良(2020)发现兰西城市群网络结构单一,城市间的联系依赖于行政区划分^[8];四是城市群空间结构测度和影响,Zhou 和 Gao(2020)探究不同时期交通对于东京城市群空间联系强度的影响^[9]。Jia 和 Tang(2019)探究基础设施投资变化对城市群连接强度的影响,并对山东半岛、四川城市群和长三角、珠三角城市群进行研究^[10]。

近些年,在社会学领域里的社会网络分析被广泛应用于城市群空间结构特征分析。社会网络分析是从“关系”出发,刻画网络的整体形态、特征和结构的重要方法。

已有的研究已经从不同角度对城市群空间结构进行分析,但在研究方法上仍然有进一步改进的空间。在研究内容方面,多集中在城市群层次结构划分,对层次内各城市空间联系研究较少。此外,随着城市的发展,引力模型中 GDP 和人口的数据并不能全面反映一个城市的综合发展,本研究采用社会网络分析,基于交通时间、成本等数据,对江浙沪地区 25 个城市进行空间联系强度、中心性、核心-边缘结构和凝聚子群分析。在已有研究的基础上,本文希望从以下几个方面做出进一步贡献,对传统的引力

[收稿日期] 2022-11-08

[基金项目] 湖北省教研项目(2020464)

[第一作者] 刘富勤(1971 年-),女,河南信阳人,湖北工业大学副教授,研究方向为工程管理

[通信作者] 朱永兴(1994 年-),男,山东新泰人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为工程管理

模型参数做出调整,选取 GDP、社会消费品零售总额等 8 个指标,利用熵值 TOPSIS 确定城市综合系数。利用铁路运输时间和成本来确定两地之间的距离,以此作为社会网络分析的基础数据。其次,通过中心性,核心-边缘结构和凝聚子群等指标,探寻城市间空间联系特征,为城市研究提供依据和参考。

1 数据来源和研究方法

1.1 城市群背景

国务院发展研究中心《地区协调发展的战略和政策》报告中提出划分八大经济区^[11],其中东部沿海经济区:包括上海、江苏和浙江三省市。要建设成为具有国际影响力的世界性金融中心,全国最具影响力的多功能的制造业中心,特别是轻工业装备产品制造中心,以及高新技术研发和制造中心,江浙沪三地 GDP 已超万亿,地区人均 GDP 已接近发达国家水平。选择江浙沪地区城市群作为研究对象因为:江浙沪地区城市群空间结构层次明显。城市群包括上海一个特大城市,苏州、杭州、南京等大城市,徐州、温州等中型城市,还有一些规模比较小的城市,城市等级、规模分明。在承接产业结构转移,人口、经济要素互联互通方面有很大优势。以此为研究对象更容易体现城市群空间结构变化特征。

1.2 数据来源

本文研究分析了江浙沪地区 25 个城市 2019 年的数据,衡量各个城市综合素质的相关数据来自于浙江省、江苏省和上海市 2020 年各地市统计年鉴。

城市之间的时间和地理距离基于以下几种原则:1)鉴于目前远距离运输以铁路为主且优势明显,对于有直达铁路客运站的城市,费用和时间通过访问 <https://www.12306.cn/index/> 确定。2)对于没有铁路客运站直达的城市,采用铁路中转的方案,换乘的时间也被计算在内 3)对于没有铁路客运站的城市,比如舟山市,采用铁路+公路的方式,通过访问 <https://bus.ly.com/> 来确定客车最佳运输距离。

1.3 研究方法

1.3.1 引力模型的建立 空间引力模型是根据万有引力定律和距离衰减原理构造出来的,传统的引力模型的原理是两个物体之间的空间联系强度与两物体质量成正比,与距离成反比。如今,已被广泛应用在研究空间联系强度、生态环境、基础设施等领域^[12-14]。本文对传统引力模型参数进行调整,建立调整后的空间引力模型,修正后的模型用于城市间空间联系强度的量化,并作为社会网络分析的基础数据。

传统空间引力模型里的质量参数,通常用 GDP

和人口来表示,但随着经济的发展,已经不能表达一个城市的综合发展,因此本文采用 GDP、进出口总额、实际利用外资等 8 个指标,来衡量城市的综合素质。传统的引力模型里的城市直线距离,现如今更多用两地交通时间和交通成本来表示。这样会更客观,更全面反应两个城市之间的联系强度。调整空间引力模型过程如下:

$$F_{ij} = k \frac{M_i M_j}{D_{ij}^\alpha} \quad (1)$$

其中: F_{ij} 表示城市 i 与 j 的空间联系强度, M_i 和 M_j 表示为城市 i 和城市 j 的综合素质系数。 D_{ij} 是城市 i 和城市 j 之间的距离。 k 是引力常数,通常为 1,而 α 是摩擦距离,通常为 2^[15]。

随着市场经济的日趋发达,城市间的距离不再用直线距离来表示,而是考虑运输距离,两地间的要素流动主要因素是交通运输的时间与费用,因此两地之间的空间距离可以转化为交通运输的时间与费用的组合^[16]。城市 i 与城市 j 两地之间的距离可以用下列公式来表示:

$$D_{ij} = \sqrt{C_{ij} T_{ij}} \quad (2)$$

因此,上述公式(1)可表示为:

$$F_{ij} = \frac{M_i M_j}{C_{ij} T_{ij}} \quad (3)$$

对于城市综合素质 M ,本文在现有研究的基础上,采用熵值 TOPSIS,选取 8 个指标(表 1),得出每个城市的综合素质。步骤如下,基于 25 个城市,8 个指标,构造了一个 25×8 的矩阵。设决策矩阵为 $X = (x_{ib})_{25 \times 8}$,其中 x_{ib} 为 i 市在指标 b 下的指标值。

表 1 城市综合素质评价指标

指标(单位)	指标意义
1 地区 GDP/亿元	经济发展水平 ^[12]
2 常住人口/万人	人口 ^[17]
3 固定资产投资/亿元	投资水平 ^[17]
4 进出口总额/亿美元	对外贸易水平 ^[18]
5 一般公共预算支出/亿元人民币	财政水平 ^[19]
6 社会消费品零售总额/亿元	社会消费水平 ^[19]
7 利用外资/亿美元	吸引外资水平 ^[18]
8 用电量/亿千瓦时	工业发展水平 ^[20]

第一步是构造初始决策矩阵 X

$$y_{ib} = \frac{x_{ib}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{25} x_{ib}}} \quad (4)$$

第二步,计算各指标的熵 e_b 和权重值 ω_b

$$P_{ib} = \frac{y_{ib}}{\sum_{i=1}^{25} y_{ib}} \quad (5)$$

$$e_b = \frac{-1}{\ln n} \sum_{i=1}^n P_{ib} \cdot \ln P_{ib} \quad (6)$$

$$\omega_b = \frac{(1 - e_b)}{\sum_{b=1}^n (1 - e_b)} \quad (7)$$

第三步构造赋权后的矩阵并计算正理想解和负理想解

$$Z = (z_{ib})_{25 \times 8}, z_{ib} = w_b \times y_{ib} \quad (8)$$

$$A^+ = (z_1^+, z_2^+, \dots, z_n^+) \quad (9)$$

$$A^- = (z_1^-, z_2^-, \dots, z_n^-) \quad (10)$$

第四步,计算欧氏距离

$$d_i^+ = z_i - A^+ = \sqrt{\sum_{b=1}^n (z_{ib} - z_b^+)^2} \quad (11)$$

$$d_i^- = z_i - A^- = \sqrt{\sum_{b=1}^n (z_{ib} - z_b^-)^2} \quad (12)$$

最后一步,计算每个城市的综合素质

$$M_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (13)$$

城市之间的联系强度是有方向的,既可以是单向也可以是双向。根据公式(3)来衡量每一个城市对外的影响,和其他的城市对其自身的影响,为社会网络分析奠定基础。城市之间的空间联系强度计算公式如下:

$$\begin{cases} R_{i \rightarrow j} = \frac{M_i}{M_i + M_j} \times \frac{M_i M_j}{C_{ij} T_{ij}}; \\ R_{j \rightarrow i} = \frac{M_j}{M_i + M_j} \times \frac{M_i M_j}{C_{ij} T_{ij}} \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} P_i = \sum_j R_{i \rightarrow j} = \sum_j \frac{M_i}{M_i + M_j} \times \frac{M_i M_j}{C_{ij} T_{ij}}; \\ N_i = \sum_j R_{j \rightarrow i} = \sum_j \frac{M_j}{M_i + M_j} \times \frac{M_i M_j}{C_{ij} T_{ij}} \end{cases} \quad (15)$$

上述公式中, $R_{i \rightarrow j}$ 衡量的是城市 i 对城市 j 的影响,同样, $R_{j \rightarrow i}$ 衡量的是城市 j 对城市 i 的影响, P_i 衡量的是城市 i 对网络中其他城市的累计影响力,而 N_i 衡量的是网络中其他城市对城市 i 的累计影响力。

1.3.2 社会网络分析 社会网络分析是发现并且利用社会网络中最重要的特征和关系,以及这些关系如何代表信息在网络中的流动^[22]。它具有分析单个网络和整体网络特征的功能。近年来,不仅仅局限于分析人与人构成的网络,还广泛应用在了城市群空间结构、产业研究、政府政策、国际商务贸易等研究领域^[22-23]。社会网络分析通常用 UCINET 软件进行,用于计算和分析中心性,凝聚子群等网络指标,并利用 netdraw 绘制空间连接图。本文通过对江浙沪地区城市群的城市连接强度数据进行分析,从中心性、核心-边缘结构和凝聚子群等指标入手,深入分析江浙沪地区城市群空间结构特征。

2 结果与分析

2.1 江浙沪地区城市群空间连接强度特征

2.1.1 城市特征 通过基于熵值 TOPSIS,以及上述公式,确定了江浙沪城市群 25 个城市的综合素质 M_i ,城市对外影响力总和 P_i ,外部对其城市的影响

综合 N_i ,城市综合联系强度 $P_i + N_i$,对外影响与外部对其影响之差 $P_i - N_i$,如表 2 所示。

表 2 江浙沪地区城市群特征

	M_i	P_i	N_i	$P_i - N_i$	$P_i + N_i$
上海	1.000	552.222	191.053	361.170	743.275
苏州	0.533	581.389	401.109	180.280	982.498
杭州	0.246	114.174	88.734	25.440	202.908
南京	0.216	44.661	44.524	0.138	89.185
宁波	0.192	19.182	20.937	-1.755	40.120
无锡	0.192	236.769	458.052	-221.282	694.821
嘉兴	0.127	31.992	151.992	-120.001	183.984
南通	0.125	10.799	26.305	-15.506	37.104
徐州	0.109	4.325	5.517	-1.192	9.842
温州	0.108	4.442	5.767	-1.325	10.210
常州	0.106	64.221	148.670	-84.450	212.891
绍兴	0.087	31.421	77.976	-46.555	109.397
台州	0.074	3.037	6.858	-3.821	9.895
盐城	0.069	3.532	8.191	-4.659	11.722
金华	0.064	4.621	10.439	-5.819	15.060
扬州	0.064	6.799	22.747	-15.948	29.545
泰州	0.060	8.039	9.767	-1.728	17.806
湖州	0.054	4.519	16.926	-12.407	21.445
淮安	0.050	3.543	6.038	-2.495	9.582
衢州	0.046	1.887	5.163	-3.276	7.050
连云港	0.035	0.803	2.419	-1.616	3.222
镇江	0.034	6.119	24.034	-17.914	30.153
舟山	0.028	0.226	2.045	-1.819	2.271
宿迁	0.022	0.985	3.167	-2.181	4.152
丽水	0.010	0.138	1.415	-1.277	1.554

1) 城市群综合发展水平呈阶梯状分布

由表 2 可以看出,各城市之间综合发展水平差异较大,但总体来看呈现阶梯型分布,上海市一家独大,各方面均全面领先于其他城市。据 M_i ,可把江浙沪城市群大体分为四个层次:(a)上海一家特大型城市;(b)苏州、杭州、南京三个大型城市;(c)宁波,无锡,嘉兴,南通,徐州,温州,常州等中等城市;(d)绍兴、台州、盐城等剩下的 14 座小型城市。

2) 城市群有影响力的城市较多

在城市连接强度的网络里,一个城市的地位可以由对外的影响减去外部对其本身的影响力来表示,即 $P_i - N_i$ 。当 $P_i - N_i$ 的值为正时,表明该城市在城市群中比较发达,其值越高,在城市群中的地位越高,外部影响力越强。当 $P_i - N_i$ 为负值的时候,表示这座城市受其他城市的辐射能力超过自身对外部的影响。由表 2 可知,上海,苏州,杭州,南京外部的影响力超过了外界对其本身的影响力,其他城市均为负值。即上海,苏州,杭州和南京具有较强的对外辐射和影响力,可以认为是城市群内的辐射源点。其他城市则对上述城市的依赖程度较高。

3)城市的空间联系强度受交通时间和交通成本影响较大

$P_{i+} N_i$ 可以反应一个城市在空间连接强度网络中整体的参与程度。从表 2 看出,城市的 $P_{i+} N_i$ 大体上与城市综合素质呈相关关系,即城市的综合素质越高,其空间联系强度也就越好,但是受铁路交通时间和成本影响较大。如图 1 所示,苏州、无锡、嘉兴、常州虽然城市综合素质位列第二,第六、第七和第十一,但空间联系强度突出,分析其空间可达性较好,空间联系强度与综合素质并无绝对的因果关系。其地理位置在整个网络的中央,对外部城市交通时间和交通成本最优,故在空间联系强度方面有较大优势。同时、无锡、嘉兴和常州在位置上与上海、苏州核心城市紧密相邻,极有可能受到核心城市辐射的影响,也说明上海,苏州这两个核心城市对外辐射的效应明显。

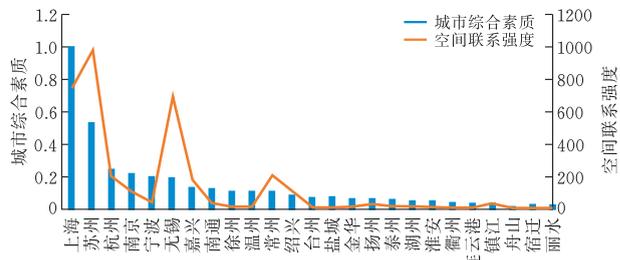


图 1 江浙沪城市群城市综合素质与空间联系强度

2.1.2 城市空间联系强度特征 公式(3)可计算出城市之间空间联系的矩阵,导入 ucinet 软件计算,通过 netdraw 进行可视化。如图 2 所示,城市之间的连接强度,通过线的宽度以及颜色来反映。可以看出各城市之间的联系强度存在很大差异,联系强度集中于上海、苏州、无锡和常州之间,同时南京和镇江之间的联系也很强烈。但是南京和镇江与上述城市之间联系并不强烈。绍兴、杭州、泰州、扬州、南通五个城市之间的联系强度属于第二梯队。其他城市之间的联系强度还要再弱一些。

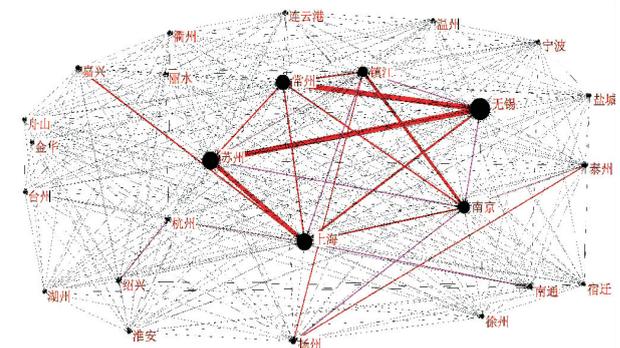


图 2 江浙沪地区城市群空间联系强度

2.2 江浙沪地区城市群空间结构

2.2.1 中心性分析 通过网络中心性指标,可以识

别出网络中实力更强的城市,即可以对资源和信息有更多控制力和影响力的城市。中心性分析可以通过度数中心度来表示,即与该点直接相连的其他点的个数。基于城市联系强度矩阵,得到每个城市的度数中心度如表 3 所示。在度数中心度方面,无锡、苏州、上海、常州、南京、镇江、扬州的中心度在整个网络中比较高,表明这几个城市在城市群中的地位最高,与之相连接的城市最多,对资源和信息有更多的控制力,对其他城市有更大的影响力。

表 3 度数中心度分析表

Degree		Degree	
无锡	657.727	盐城	26.143
苏州	530.459	宿迁	18.924
上海	514.152	徐州	14.673
常州	447.794	湖州	13.581
南京	348.679	连云港	9.530
镇江	277.828	宁波	9.484
扬州	139.684	金华	6.115
嘉兴	69.736	温州	3.326
泰州	68.699	衢州	3.269
南通	45.579	台州	2.739
杭州	44.591	丽水	2.379
淮安	38.374	舟山	0.606
绍兴	30.947		

由表 3 可知,上海的综合素质最高,但是度数中心度稍逊于无锡和苏州,因为无锡和苏州在空间地理位置更占优势,处于整个网络的中心地带,到达各个城市的成本和时间最优。无锡在综合素质方面并不是最高,但度数中心度位列第一,且在城市群空间联系强度位列第三,因为这几年高铁线路的开通,给无锡带来了铁路交通的优势。缩短了到达各个城市的时间,使无锡在城市群中影响力和实力不断增加。

2.2.2 核心-边缘结构分析 利用社会网络中的核心-边缘结构分析,可以进一步弄清楚江浙沪地区城市群的层次结构。设定核心至外围连接的期望密度为 0.2,江浙沪地区城市群核心-边缘结构构成如表 4 所示。

表 4 核心-边缘城市

核心	上海,苏州,无锡,常州
边缘	南京,镇江,南通,扬州,泰州,淮安,盐城,徐州,宿迁,连云港,杭州,宁波,绍兴,嘉兴,湖州,温州,金华,台州,衢州,丽水,舟山

核心层里面的城市包括:上海,苏州,无锡和常州,与上文中度数中心度前几名一致。利用 ucinet 核心-边缘结构模型,选择 CORR 算法计算各个城市的核心理数,核心理数的排序结果如表 5 所示。

核心边缘结构的分析结果中,前几名基本与度

数中心度结果一致,但杭州的核心程度数较度数中心度有所下降,表明在铁路系统的影响下,虽然有很多城市与之相连,但是对于杭州在整个网络中的影响力是下降的,即受到别的城市影响更多。如果将边缘城市进一步分类,核心度选为 0.01,可分为三个圈层,核心层以上海为中心包含无锡,苏州,常州。第二圈层以南京为中心的南京,镇江,嘉兴,扬州。第三圈层以杭州为中心,杭州,徐州,金华,衢州,宁波,湖州。

表 5 城市群核心度排序

核心度		核心度	
无锡	0.7965	杭州	0.0003
苏州	0.4115	徐州	0.0002
常州	0.3650	金华	0.0002
上海	0.2286	衢州	0.0001
南京	0.0807	宁波	0.0001
镇江	0.0620	湖州	0.0001
嘉兴	0.0161	台州	0.0000
扬州	0.0139	宿迁	0.0000
南通	0.0039	舟山	0.0000
泰州	0.0018	连云港	0.0000
淮安	0.0010	温州	0.0000
绍兴	0.0003	丽水	0.0000
盐城	0.0003		

2.2.3 凝聚子群分析 一般的网络都会由若干个团体结构组成。每个团体又是由若干个个体组成,团体间和团体内又存在着若干的特征。研究一个网络内团体结构的构成和特征,可以进一步把握网络的整体结构。通过凝聚子群分析可以发现,关系相对密集、联系相对较强的城市团体,这种联系更侧重于经济活动上的直接的,积极的、经常性的、紧密的联系。相反如果团体内部的联系交流过多,大于与团体之外的城市交流,对于整体网络结构的均衡发展是不利的。分析凝聚子群的方法有很多:n-派系、n-宗派、k-丛、k-核等,但是上述这些方法不能有效的量化网络团体内,网络团体间的交流程度^[24]。本文采用迭代相关收敛法 CONCOR 进行非重叠性聚类分析,将城市群空间关联网络分为 4 个凝聚子群(图 3)以及子群间联系密度矩阵(表 6),分别为以上海为中心包括苏州、无锡的城市子群 I,以杭州为中心的南部 12 个城市子群 II,以南京为中心及其周边扬州、常州、镇江和泰州城市子群 III,最后是以徐州为主分布在北部的城市子群 IV。

通过对凝聚子群分析(图 3)和凝聚子群联系密度(表 6)可以发现:

1)从内部来看,以上海和苏州为中心的凝聚子群 I 密度最高,子群内城市联系更加紧密,结合前面

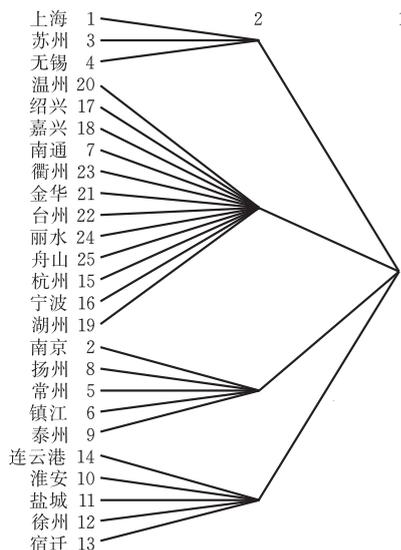


图 3 江浙沪地区城市群凝聚子群树形图

表 6 凝聚子群联系密度矩阵

	I	II	III	IV
I	170.929	3.240	33.032	0.999
II	2.910	0.508	0.543	0.129
III	32.959	0.539	31.356	1.377
IV	1.075	0.102	1.434	2.047

分析,上海和苏州作为核心城市,自身实力和对外辐射较强,与之联系最密切的无锡受影响最大,与前面 N_i 数值结论一致。从省级范围来看,浙江省二线城市就一个子群 II,江苏省分成了两个子群,反映了江苏省省内经济发展不平衡,南北差异大。原因为苏州南部更靠近上海等发达城市,地理位置上占优,其次苏州南部铁路线更密集,城市与城市之间沟通更便捷。

2)以杭州为中心的凝聚子群 II,因为距离整个网络中心较远,其铁路运输时间和成本都很高,因此与其他城市子群的联系都很弱,此外,舟山市是一个岛屿,与其他城市之间并无铁路直达。子群 II 内部其他城市无论是综合素质还是中心性排名都不是很高,对于整个城市群资源控制力偏弱。

3)凝聚子群 IV,地理位置处于江浙沪地区的北部,互相之间以及与其他城市之间铁路网络并不发达,子群内城市经济偏弱,因此处于整个网络的边缘地带。

核心-边缘结构分析旨在识别核心层和外围层的城市。相比之下,凝聚子群分析是通过连通性将城市划分为各个子群,无法识别城市是在核心层还是外围层,凝聚子群分析可以作为核心-外围结构分析的补充。常州与上海、无锡、苏州都在京沪高铁线上,同时受三个城市辐射带动较强,核心度数较高。因此上海、无锡和苏州被划分为核心层却与南

京处于同一凝聚子群,这反应了苏南地区交通基础设施的发达程度足以满足跨区域互动的需求。

3 结论与建议

基于改进的空间引力模型和社会网络分析,量化各个城市的空间联系强度和网络分析的各项指标。研究表明江浙沪城市群空间联系强度围绕着上海和苏州等核心城市向外辐射,由中部向北部和南部递减,东部向西部递减。各等级城市鲜明,有利于城市群产业转移和协调发展,因此城市群稳定性较好。空间结构方面,无锡,苏州和上海中心度最高,处于空间结构的核心,占据网络资源的主导地位。整个城市群可分为三个圈层和四个凝聚子群。

根据以上结论,对江浙沪地区城市群空间结构提出如下建议:

1)在上述核心-边缘结构分析中,可根据核心度数分为三个圈层。核心圈层里发达城市的虹吸效应,会自然地吸引资本和人口,拉大圈层之间城市的发展水平。因此,在核心城市和边缘城市之间培育“桥梁”城市至关重要,结合上述城市空间联系强度和子群联系密度矩阵结果,第二圈层中,南京与核心层联系紧密且综合素质较高,可作为核心层与第二圈层联系城市。第三圈层杭州受北部核心城市辐射较强,且与南京等城市联系密切。可作为与核心圈层和第二圈层沟通的“桥梁”城市。

2)根据凝聚子群的分析结果。首先,上海作为特大型城市,不可避免的遇到人口拥挤、住房短缺等大城市发展问题。无锡与上海处于同一子群,可利用交通和地理位置的优势,承接上海的部分功能和产业。浙江省南部子群Ⅱ除杭州外,其他城市综合实力并不高,建议加快培育影响力较大的城市。此外,舟山市因地理位置是岛屿,在交通方面处于劣势,应注意公路等其他交通运输方式的重要性。

3)以徐州为中心的苏北城市子群Ⅳ,处于江浙沪地区城市群的边缘地带,远离核心城市,对城市群的资源控制能力并不高。建议要发掘自身优势,加强群内一体化,如徐州应加快产业升级,不要过分倚重矿产资源,连云港要充分利用省内唯一天然海港的优势。

[参 考 文 献]

[1] 杨迅周,杨延哲,刘爱荣. 中原城市群空间整合战略探讨[J]. 地域研究与开发, 2004(05):33-37.
 [2] FRIEDMANN J, MILLER J. The urban field[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1965,31(4):312-320.

[3] 白永亮,党彦龙. 长江中游城市群空间作用机理与空间结构研究[J]. 宏观经济研究, 2014(11):47-58.
 [4] 张祥建,唐炎华,徐晋. 长江三角洲城市群空间结构演化的产业机理[J]. 经济理论与经济管理, 2003(10):65-69.
 [5] 刘秉镰,胡玉莹. 现代物流影响城市群空间结构的作用机理[J]. 广东社会科学, 2014(04):14-24.
 [6] 武前波,刘星. 金融联系视角下沿海发达地区城镇网络空间结构研究——以浙江为例[J]. 世界地理研究, 2021,30(05):966-977.
 [7] 钟业喜,邵海雁,徐晨璐. 长江中游城市群空间结构效益比较与优化研究[J]. 区域经济评论, 2020(03):70-78.
 [8] 程钦良,张亚凡,宋彦玲. 兰西城市群空间结构演变及优化研究[J]. 地域研究与开发, 2020,39(02):52-57.
 [9] ZHOU H, GAO H. The impact of urban morphology on urban transportation mode: A case study of Tokyo [J]. Case Studies on Transport Policy, 2020,8(01):197-205.
 [10] JIA Y, TANG L, XU M, et al. Landscape pattern indices for evaluating urban spatial morphology — A case study of Chinese cities [J]. Ecological Indicators, 2019,99:27-37.
 [11] 马春庆. 基于盈石矩阵的中国城市商服空间供需分析与规划响应[J]. 城市发展研究, 2018,25(02):16-23.
 [12] ZENG C, SONG Y, CAI D, et al. Exploration on the spatial spillover effect of infrastructure network on urbanization: A case study in Wuhan urban agglomeration [J]. Sustainable Cities and Society, 2019,47:101476.
 [13] WANG Z, LIANG L, SUN Z, et al. Spatiotemporal differentiation and the factors influencing urbanization and ecological environment synergistic effects within the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. Journal of Environmental Management, 2019,243:227-239.
 [14] WANG D, NIU Y, QIAN J. Evolution and optimization of China's urban tourism spatial structure: A high speed rail perspective [J]. Tourism Management, 2018,64:218-232.
 [15] HE J, LI C, YU Y, et al. Measuring urban spatial interaction in Wuhan Urban Agglomeration, Central China: A spatially explicit approach [J]. Sustainable Cities and Society, 2017,32:569-583.
 [16] 李陈,靳相木. 基于引力模型的中心镇空间联系测度研究——以浙江省金华市25个中心镇为例[J]. 地理科学, 2016,36(05):724-732.
 [17] ZHOU T, JIANG G, ZHANG R, et al. Addressing the rural in situ urbanization (RISU) in the beijing-tianjin-hebei region: spatio-temporal pattern and driv-

- ing mechanism[J]. *Cities*, 2018,75:59-71.
- [18] HUANG Z, DU X, CASTILLO C S Z. How does urbanization affect farmland protection? Evidence from China [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019,145:139-147.
- [19] GUAN X, WEI H, LU S, et al. Mismatch distribution of population and industry in China: Pattern, problems and driving factors [J]. *Applied Geography*, 2018,97:61-74.
- [20] WANG Y, HU H, DAI W, et al. Evaluation of industrial green development and industrial green competitiveness: Evidence from Chinese urban agglomerations [J]. *Ecological Indicators*, 2021,124:107371.
- [21] BENÍTEZ-ANDRADES J A, GARCÍA-RODRÍGUEZ I, BENAVIDES C, et al. Social network analysis for personalized characterization and risk assessment of alcohol use disorders in adolescents using semantic technologies [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2020,106:154-170.
- [22] THERRIEN M, JUTRAS M, USHER S. Including quality in Social network analysis to foster dialogue in urban resilience and adaptation policies [J]. *Environmental Science & Policy*, 2019,93:1-10.
- [23] KURT Y, KURT M. Social network analysis in international business research: An assessment of the current state of play and future research directions [J]. *International Business Review*, 2020,29(02):101633.
- [24] 刘军. 整体网分析 UCINET 软件实用指南 [M]. 第 2 版. 上海: 格致出版社; 上海人民出版社, 2014.

Study on Spatial Structure Optimization of Urban Agglomerations in Jiangsu-Zhejiang-Shanghai Regions

—Based on Gravity Model and Social Network Analysis

LIU Fuqin, ZHU Yongxing

(*School of Civil Engin., Architecture and Environment, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China*)

Abstract: A reasonable and orderly spatial structure provides a basis for the coordinated development of urban clusters, and the analysis of spatial linkage intensity and network characteristics can provide a reference for urban development. Taking 25 cities in Jiangsu, Zhejiang and Shanghai regions as an example, we use entropy value topsis to improve the spatial gravity model, calculate the spatial linkage intensity between cities, draw a spatial linkage network map, and conduct social network analysis on the results to provide suggestions for the optimization of the spatial structure of urban agglomerations. The study shows that: in terms of spatial linkage intensity, the urban agglomerations in Jiangsu, Zhejiang and Shanghai, concentrated in Shanghai, Suzhou, Wuxi and Changzhou, show a decreasing trend from central to northern and southern, and from eastern to western. In the core edge structure and cohesive subgroup analysis, the city cluster circle structure is obvious and spatial stability is good. Cities within the core rim layer hold more resources, and the whole urban cluster can be divided into three circles and four cohesive subgroups. For this reason, the article makes specific suggestions for each urban subgroup.

Keywords: Jiangsu, Zhejiang and Shanghai urban agglomerations; Entropy weight TOPSIS; Spatial structure of urban agglomeration network; social network analysis

[责任编辑: 裴 琴]