

长三角城市群“空间流”网络结构特征——基于公路运输、火车客运及百度指数的综合分析^{*1}

孙阳^{1, 2} 张落成¹ 姚士谋¹

(1 中国科学院流域地理学重点实验室, 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏
南京 210008;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

【摘要】:信息技术的应用与社会信息技术的传输, 使大量的要素(人流、物流、信息流)在城市群空间内集聚与扩散, 加密城市群空间内城市联系。在基于公路运输、普通列车、高速列车以及百度指数 4 个要素的综合分析基础上, 对长三角城市群“空间流”网络结构特征进行探析。研究结果表明: (1) 长三角城市群区域内城市联系虽具备了网络化规模, 但城市间的联系不均衡, 以上海、南京、杭州等城市为多中心的协调网络发展格局特征明显; (2) 长三角城市群 16 个核心城市“空间流”特征呈现三角形网络结构, 其三角形的顶角分别由上海(沪)、南京(宁)与杭州(杭) 3 个核心节点城市构成。在空间结构内部, 形成若干次级城市网络连线; 在空间分布上, 北翼网络化程度较高于南翼线性联系程度, 区域联系强度以“沪—宁”、“沪—杭”沿线向两侧递减; (3) 上海、南京、杭州、苏州、无锡 5 个核心城市排名处于网络中心的前列, 扬州、南通、泰州、舟山等周边城市相对靠后, 这与区域经济发展过程的“吸虹效应”有关, 随着区域经济一体化程度的加深, 中心城市会向周边地区提供服务与经济辐射, 完善整个长三角城市群网络体系。

【关键词】:空间流; 网络结构; 城市联系; 长三角城市群

【中图分类号】:K909 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2017)09-1304-07

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201709002

空间关系是认识区域的基本视角, 也一直是人文地理学的研究热点^[1]。随着信息化、全球化和网络化的不断扩展, 传统的城市-区域空间关系开始重构, 空间要素流动视角下的城市-区域关系日益成为当前国际城市区域研究的重要领域^[2]。基于 M Castells 的网络社会理论, 城市区域内包含“流动空间”(space of flows)和“地方空间”(space of places)。这其中值得强调的是 Castells 所提出的流动空间(space of flows)概念^[3]。“流动空间”是指资本、信息、人员、商品等发展资源的流通形成城市之间的关联网, “地方空间”是指城市作为关联网的枢纽(hubs)或节点(nodes)^[4], 在这一理论的指导下, 越来越多

¹收稿日期:2016-12-20; 修回日期:2017-01-16

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41130750, 41341170) [KeyProgramofNationalNaturalScienceFoundationofChina, (41130750, 41341170)]

作者简介:孙阳(1988~), 男, 博士研究生, 研究方向为城市发展与区域规划. E-mail:yangsun.chn@hotmail.com

的学者开始通过运用关系数据来进行城市网络研究^[5]。与此同时, Castells^[4]将流空间从纯粹的虚拟技术空间扩展到地理空间与社会网络尺度,人及其所构建的社会网络的作用被考虑进来了。在这样的背景下,“地方空间”正向“流动空间”转移,但这并不是“地方空间”的消失,而是进一步参与并融入到全球化的“流动空间”中。

当代信息社会的到来,全球化互联网越来越发达,产生了许多“流的空间”,促进了城市群内各个城市的紧密联系^[6]。这种城市之间的紧密联系,进而促进了人流、资金流、信息流、物流等各类资源在城市之间的相互流动,这都得益于信息化对节点城市的互联互通,并形成了以人的活动为核心的流动空间,赋予社会和人以更复杂的社会联结、更广阔的自由空间和可拓展性^[7]。长江三角洲城市群是中国经济最发达、城镇集聚程度最高的城镇化地区,也是世界六大城市群之一^[8],长三角城市群 16 个核心城市的高人口密度,通过区域性交通网络与信息网络的全域覆盖,不仅使得跨省之间、跨市之间的空间流动更为显著,更促使人力资源在空间上的高度集聚。因此本文以长江三角洲城市群 16 个核心城市为研究区域,在基于公路运输网络、普通列车网络、高速列车(CRH)网络以及信息网络 4 个要素的综合分析下,以期从综合要素分析的角度探讨其区域内部“空间流”网络结构特征,并为研究其他城市群的“空间流”网络结构提供参考。

1 研究方法、区域及数据来源

1.1 研究方法 with 数据来源

1.1.1 联系强度

根据学者张文尝等^[9]对交通联系紧密度、联系强度的界定,城市联系强度是用以反映城市与城市之间的交通流强弱。测算方法如下:

联系强度 S_{ij} :反映两个城市基于高速客流的联系程度。计算方法为两个城市之间的每日列车班次之和:

$$P_{ab} = P_{a-b} + P_{b-a} \quad (1)$$

式中: P_{a-b} 为 a 城市到 b 城市的列车班次; P_{b-a} 为 b 城市到 a 城市的列车班次。

1.1.2 网络密度

网络密度(network density)是表征社会网络结构的重要指标之一,可用来测度城市“空间流”网络联系的稠密程度,一般来说,城市对间联系越紧密,信息流通较易,而联系疏远的城市对间常有信息不通、经济一体化程度低等问题。测度公式如下:

$$D = 2L / n(n-1) \quad (2)$$

式中:D 为网络密度;n 为网络节点数;L 为网络中实际存在的关系或者连线的数量。网络密度值介于 0~1 之间,密度越高说明网络内部联系越频繁,全联通网络的密度为 1。

从现实原因考虑,由于长三角城市群航运较少且水运主要偏向货运,故在目前的交通运输要素构成中,公路与铁路占客运的绝对主导运输方式。同时也因为高铁与互联网信息网络的全区域覆盖,所以在城市群区域内部“空间流”网络结构特征分析方面,主要选取公路运输效率、普速火车班次、高速列车班次以及百度指数为基础的原始数据。另外,在 4 要素组成综合

网络的计算过程中,参考程钰等^[10]、刘传明等^[11]学者的研究成果,对该4要素视为同等重要,权重均为0.25。具体数据的采集过程如下:公路运输网络联系数据主要采用百度地图(<http://map.baidu.com/>)。通过计算长三角城市群16个核心城市任意两个城市之间的运输效率,道路里程及运行时间来分析城市之间的联系强度。其中,这16个核心城市之间的距离来自百度地图提供的两城市政府所在地的最短路程,例如,南京与无锡之间相距172.6km,共耗时127min,故其运输效率为 $127\text{min}/172.6\text{km}=0.736\text{min/km}$;普通列车与高速列车(CRH)的班次数据全来自于中国铁路客户服务中心网站(<http://www.12306.cn>)售票系统。通过查询2016年12月20日长三角城市群16个核心城市两两之间的班次联系而得;信息网络数据采用百度指数(<http://index.baidu.com>)。为确保数据采集的即时性,选取2016年11~12月长三角城市群16个核心城市对间的百度用户关注度的月平均值。

1.2 研究区域概述

综合《长江三角洲地区区域规划》、《长三角城市群规划(2007~2020)》以及长三角城市经济协调会的历史,将长江三角洲的核心区确定为上海、南京、苏州、无锡、常州、镇江、扬州、泰州、南通、杭州、宁波、湖州、嘉兴、绍兴、舟山、台州等16个城市。以不足全国1%的国土面积,承载了全国5%的人口,创造了全国近20%的GDP(如图1)。据中国第六次人口普查数据,长三角城市群人口总量大,人口密度大,具有高的人口密度、人口素质和人口城市化水平^[12]。长三角城市群的地位日益上升,尤其是核心城市上海,已经成为重要的全球城市。城市的主体是人,高密度的城市人口流动更是在信息技术的作用下,促使城市社会向动态、开放的城市空间组织演化。

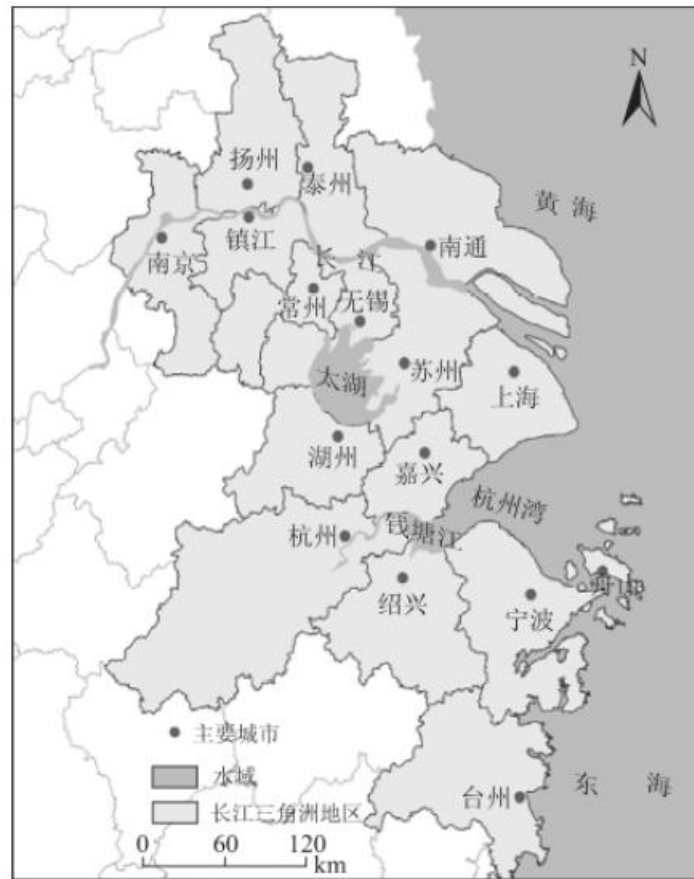


图 1 长三角城市群地理位置

Fig. 1 Location of the Yangtze River Delta Metropolitan Area

2 长三角城市群“空间流”网络结构特征

2.14 大要素联系强度分析

公路运输网络:通过图 2a 可知,公路运输网络数量多且有效网络联线 120 条。首先,从区际联系强度看,扬州、泰州、镇江、常州、无锡、苏州 6 市在区际联系上,与长三角城市群其他 10 个核心城市联系强度大,公路运输通行频次高,苏北城市次之;其次,从各城市对的联系强度来看,长三角城市群范围内较强的城市联系对是无锡—苏州、扬州—镇江、泰州—常州,其运输效率分别为 0.564min/km、0.658min/km、0.648min/km;最后,从各单体城市的联系线总数看,分别是长三角城市群 3 大核心城市的南京、上海、杭州。

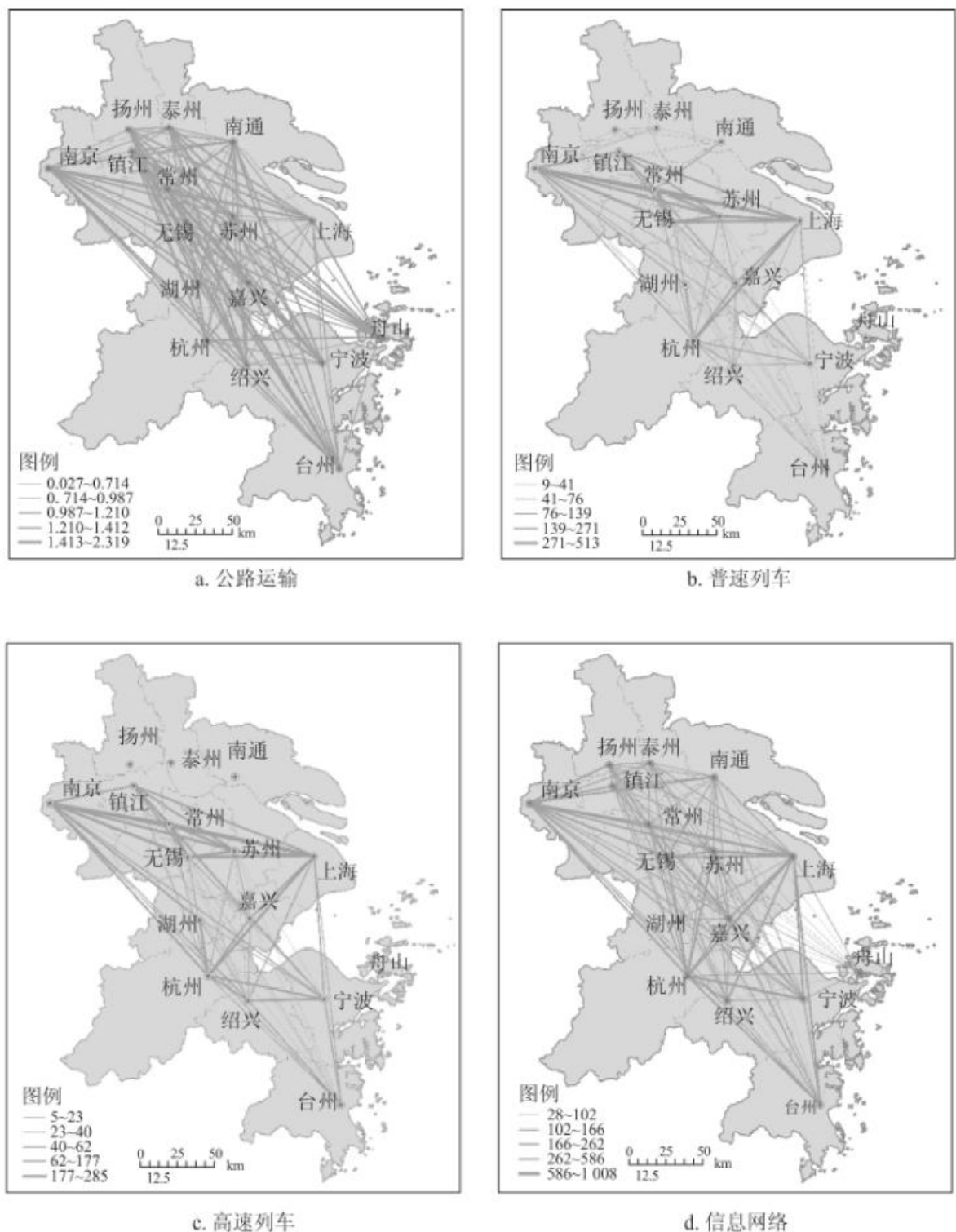


图2 长三角城市群4大要素网络联系图

Fig. 2 Yangtze River Delta Urban Agglomeration of the Four Elements of the Network Link

普通列车网络:通过图2b可知,首先,普通列车网络数量有限且有效网络联线66条。从区际联系强度来来看,沪宁沿线城市(南京、镇江、常州、无锡、苏州与上海)间的联系量最大,沪杭沿线城市(上海、嘉兴、桐乡、海宁与杭州)间的联系量次之,

这与长三角城市群区域内部城际铁路的建设时期、沿途城市规模、人口覆盖率有关，除南通与常州联系量较高外，扬州与泰州 2 市在区域联系强度方面最低，日均开行列车在 15 列左右；其次从城市间的联系线密度来看，长三角城市群区域范围内最强联系是上海—南京，日均开行普速列车 260 列，接着是苏州—上海与无锡—南京，日均开行普速列车 226 列和 214 列；最后从单个城市的联系线总数来来看，南京(14 条)、无锡(10 条)、苏州(10 条)、上海(10 条)、杭州(11 条)5 个核心城市领先于其他 11 个节点城市，这主要依靠于“沪—宁、沪—杭”铁路对长三角城市群区域内部的网络化联通。

高速列车网络(CRH):通过图 2c 可知，首先，高速列车(CRH)网络数量有限且有效网络联线 59 条。较之普通列车网络，虽然 CRH 城市间有限联线较少，但从区际联系强度来看，CRH 不仅在沪宁沿线城市(南京、镇江、常州、无锡、苏州与上海)、沪杭沿线城市(上海、嘉兴、桐乡、海宁与杭州)间的联系强度较高外，更提升并拓展了杭州—南京、宁波—南京、宁波—上海、宁波—杭州等城市对间的联系强度与城市空间；其次从城市间的联系线密度来看，长三角城市群区域范围内最强联系是上海—南京，日均开行普速列车 175 列，接着是苏州—南京与无锡—南京，日均开行普速列车 135 列和 130 列；最后从单个城市的联系线总数来来看，南京、上海、杭州、嘉兴、绍兴 5 个城市分别拥有 11 条，镇江、常州、无锡、苏州 4 个城市分别拥有 10 条，这 9 个核心城市领先于其他 7 个节点城市，这是由“沪—宁、沪—杭”等沿线铁路对长三角城市群区域内部城市的积极影响，其主要是因为高速铁路影响空间范围主要集中在中心城市周边 1.0~2.5h 可达的 250~600km 的空间范围内 [13]。

信息网络:通过图 2d 可知，首先，网络数量众多且有效网络联线 120 条。不同于公路运输、普通列车及高速列车等有形的交通网络组织，信息网络是从虚拟网络信息空间的视角反映城市间网络信息联系。具体而言，从区际联系强度来看，上海、杭州、苏州、宁波、南京、嘉兴、无锡、扬州、绍兴、常州 10 个城市的信息网络联系强度较其他 6 个城市较高；其次从各城市对的联系强度来看，相对而言，上海—杭州间的信息网络联系高达 1008，杭州—南京 751、苏州—上海 719，上海—宁波 586、南京—上海 572、南京—苏州 523，这 5 对城市间的信息网络联系次之，排名靠后的是舟山—湖州、舟山—泰州 2 个城市对；最后，从单个城市的联系总量来看，依次为上海、杭州、苏州、南京。综合以上 4 大要素网络可知，公路运输和普速铁路网络构成长三角城市群区域城市联系网络的基本脉络，但由于受在城市规模大小、经济发展水平高低、以及沿线站点数量等综合因素影响，该城市群区域内的节点城市主要联系范围局限在 100~200km；高速列车网络，通过 250~300km 的时速压缩了城市时空差距，交通轨道的对接更是提升了区域一体化发展，扩宽城市的向外联系网络。信息网络，不同于实体地理要素流，信息是通过互联网虚拟空间传播的，不易受城市距离的差别化而缩减传播距离，也正是因为距离摩擦几乎忽略不计，才使得信息在各城市之间相互传递与流通，进而促使信息网络协调有序。

2.2 要素综合联系强度分析

为进一步刻画基于综合联系网络的长三角城市群城市网络结构，绘制长三角城市群 16 个核心城市空间结构联系图(图 3)。长三角城市群的网络枢纽城市主要有上海、南京、常州、无锡、苏州、杭州、宁波。

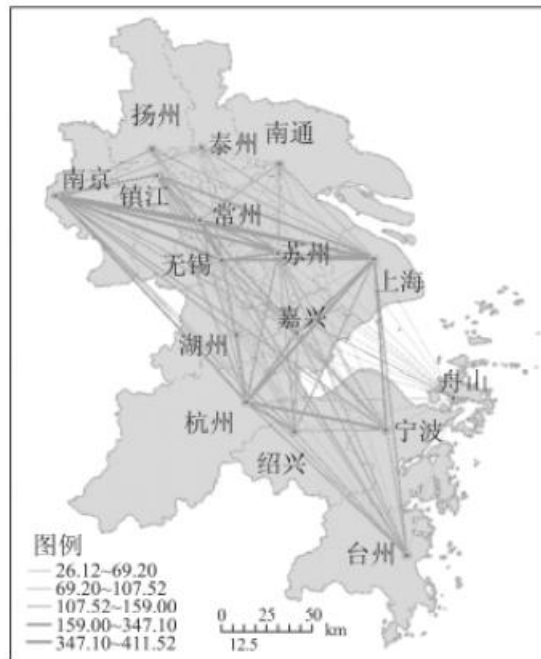


图 3 基于综合联系网络的长三角城市群空间结构

Fig. 3 Spatial Structure of the Urban Agglomeration in the Yangtze River Delta Based on the Integrated Network

城市综合网络要素空间流主要呈现三角形空间结构，其三角形的顶角分别由上海(沪)、南京(宁)与杭州(杭)3个核心城市构成。在三角形空间结构内部，又形成了以常州、无锡、苏州、嘉兴、湖州等城市网络连线，这些城市之间呈现复杂网状联系特征，在空间分布上，北翼网络化较高于南翼线性联系程度高，其区域联系强度以“沪—宁”、“沪—杭”沿线向两侧递减。这也从侧面表明了公路运输网络、普通列车网络、高速列车网络与信息网络等网络格局在空间流方面的贡献。在以“空间流”为逻辑的区域空间组织下，借由城际交通与信息网络的全面发展不断改变着社会经济空间结构的深度与广度，与此同时，“时空压缩”效应更是大幅度降低城市空间距离。上海、南京、杭州作为长三角城市群中3个核心城市，其城市功能各具优势：上海作为全国最大的金融中心，具备国际性城市特征，空间流规模大密度高，功能特征具有综合性、复杂性。南京、杭州具备部分国际功能特征，其中南京以历史文化与旅游为主，杭州以人居环境与旅游为主。这种因城际交通、信息网络以及特色各异的城市功能而对人口产生差别化吸引，在强化人口集聚效应的同时也向周边中小城市扩散人流，从而形成具有“核心—边缘”模式的长三角城市群“空间流”网络结构特征。

2.3 社会网络分析

在长三角城市群各要素联系强度分析基础上，为进一步明确这16个城市之间的网络规模与密度分析，需采用Ucinet-Net Draw绘制生成长三角城市群综合联系网络结构(图4)，其中箭头即表示从一个城市指向另一个城市的联系，用以反映城市间的合作与协调，并对长三角城市群16个核心城市网络结构进行量化分析。

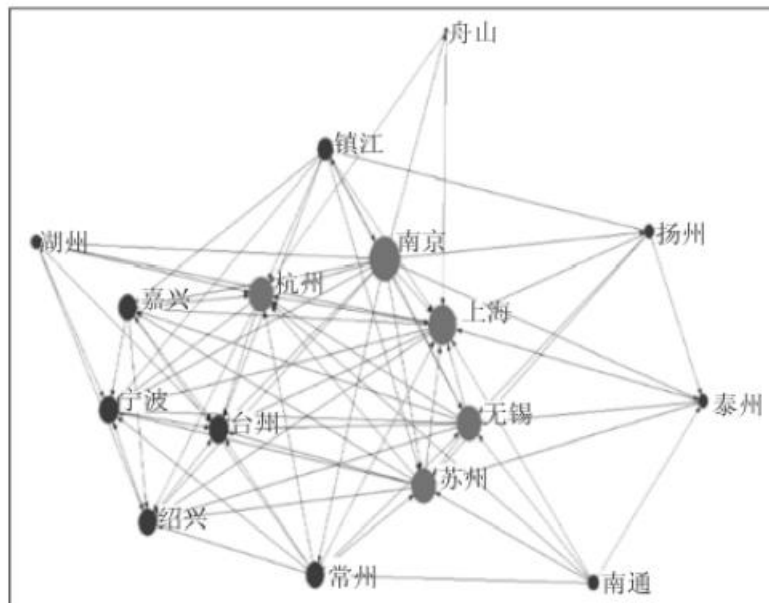


图 4 长三角城市群综合联系网络结构

Fig. 4 Yangtze River Delta Urban Agglomeration Integrated Link Network Structure

根据 Ucinet 软件的运算结果显示，2016 年长三角城市群 16 个核心城市综合网络密度是 44.76%。从表 1 可以看出，长三角城市群内部城市综合联系网络节点度值差距明显，最高值为 10，最低值则为 0，网络节点总和为 66，平均值为 4.125，标准差为 3.199。其中，上海、南京、杭州、苏州、无锡 5 个核心城市排名处于网络中心的前列，扬州、南通、泰州、舟山则排名靠后。结合以上长三角城市群网络综合联系强度与社会网络结构分析，进一步相互佐证了在长三角城市群范围内，随着长三角城市群一体化程度的加快，城市资源的空间流动会更越发频繁、网络规模以“核心-边缘”的形式依次调动周边城市的要素流动，这不仅加强了中心城市的发展，更带动周边城市发展。网络密度则会因长三角城市群城市间“空间流”的作用进一步增强，区域内部城市集群优势显著提升。

表 1 长三角城市群城市综合联系网络节点度值

城市	节点值	城市	节点值
上海	10	绍兴	3
南京	9	嘉兴	3
杭州	9	台州	3
苏州	7	湖州	2
无锡	6	扬州	1
宁波	5	南通	0
镇江	4	泰州	0
常州	4	舟山	0

3 结论与讨论

随着信息化的全域覆盖，长三角城市群内 16 个核心城市间的联系更加紧密，同城化效应也更加明显，资源配置和人口流动都将在“空间流”的连接与支撑下得到相应的调整与优化，节点城市也在重新塑造其在整个“流动空间”体系中的价值与地位，从而带动整个长三角城市群的可持续发展。长三角城市群城市与城镇均有较大的发展机会和发展空间，而这也最终取决于各个城市与城镇将流空间转化为地方空间的能力。研究结果表明：

(1) 长三角城市群区域内城市联系虽具备了网络化规模，但城市间的联系不均衡，以上海、南京、杭州等城市为多中心的协调网络发展格局特征明显。

(2) 长三角城市群 16 个核心城市“空间流”特征呈现三角形网络结构，其三角形的顶角分别由上海(沪)、南京(宁)与杭州(杭)3 个核心节点城市构成。在空间结构内部，又形成了以常州、无锡、苏州、嘉兴、湖州城市网络连线，并呈现复杂网状联系；在空间分布上，北翼网络化程度较高于南翼线性联系程度，其区域联系强度以“沪—宁”、“沪—杭”沿线向两侧递减。

(3) 长三角城市群 16 个核心城市综合网络密度较高。其中，上海、南京、杭州、苏州、无锡 5 个核心城市排名处于网络中心的前列，除上海外，这 4 个核心城市作为长三角城市群的重要组成部分，发挥着周边核心城市的带动作用。扬州、南通、泰州、舟山等周边城市相对靠后，这与区域经济发展过程的“吸虹效应”有关，随着区域经济一体化程度的加深，中心城市会向周边地区提供服务与经济辐射，完善整个长三角城市群网络体系。

然而需要进一步讨论的是，由于采用长三角城市群公路运输、火车客运及百度指数等一系列有时间局限性的可变数据，研究结果存在一定的变动性，这是因为随着客运量需求的变化，有可能减少或增加原有城市之间的车次联系，百度指数也会随用户的搜索频率、日期的变化，与研究所选取的数据具有时间滞后性，忽略了城市对间的间接联系，这会在一定程度上对现存长三角城市群 16 个核心城市“空间流”的网络结构产生不同方面影响，导致研究结果难免存在一定的局限性。

参考文献：

[1] 陈伟，修春亮，柯文前，等. 多元交通流视角下的中国城市网络层级特征 [J]. 地理研究，2015，34(11)：2073—2083.

【CHEN W, XIU C L, KE W Q, et al. Hierarchical structures of China's city network from the perspective of multiple traffic flows [J]. Geographical Research, 2015, 34 (11) : 2073 —2083. 】

[2] 曹子威，罗震东，耿磊. 基于信息流的城市—区域关系比较研究——以马鞍山和芜湖为例 [J] 经济地理. 2013，33(5)：47—53.

【CAO Z W, LUO Z D, GENG L. Information-flow based comparative research of urban-region relations—a case study of maanshan and wuhu [J]. economic geography. 2013, 33(5) :47—53. 】

[3] CASTELLS M. The informational city: information technology, economic restructuring and the urban-regional process. Oxford:Blackwell, 1989.

[4] CASTELLS M. The rise of the network society. Cambridge. MA:Blackwell Publishers, 1996.

-
- [5] 李涛, 周锐. 长三角地区网络腹地划分的关联测度方法比较 [J]. 地理学报, 2016, 71(2) : 236—250.
- 【LI T, ZHOU R. Urban hinterworld in Yangtze River Delta: Empirical comparison of two network-based methods. [J] Acta geographica sinica, 2016, 71(2) : 236—250. 】
- [6] 陆大道. 地理学关于城镇化领域的研究内容框架 [J]. 地理科学, 2013, 33(8) : 897—901.
- 【LU D D. Division of glaciation and correlation between the Quaternary glaciation in China and the marine isotope stage [J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(8) : 897—901. 】
- [7] 孙九霞, 周尚意, 跨学科聚焦的新领域: 流动的时间、空间与社会 [J] 地理研究, 2016, 35(10) : 1801—1818.
- 【SUN J X, ZHOU S Y. Mobility in geographical research: Time, space and society. Geographical Research, 2016, 35(10) : 1801—1818. 】
- [8] 焦利民, 唐欣, 刘小平. 城市群视角下空间联系与城市扩张的关联分析 [J]. 地理科学进展, 2016, 35(10) : 1177—1185.
- 【JIAO L M, TANG X, LIU X P. Spatial linkage and urban expansion: An urban agglomeration perspective [J]. Progress in geography. 2016, 35(10) : 1177—1185. 】
- [9] 张文尝, 金凤君, 荣朝和, 等. 1992. 空间运输联系: 理论研究、实证分析、预测方法 [M]. 北京: 中国铁道出版社: 1—54.
- [10] 程钰, 刘雷, 任建兰, 等. 县域综合交通可达性与经济发展水平测度及空间格局研究——对山东省 91 个县域的定量分析 [J]. 地理科学, 2013, 33(9) : 1058—1065.
- 【CHENG Y, LIU L, REN J L, et al. The measuring and spatial structure between comprehensive transportation accessibility and the level of economic development at county level: case of 91 counties in Shandong province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(9) : 1058—1065. 】
- [11] 刘传明, 曾菊新. 县域综合交通可达性测度及其与经济发展水平的关系——对湖北省 79 个县域的定量分析 [J]. 地理研究, 2011, 30(12) : 2209—2221.
- 【LIU C M, ZENG J X. The calculating method about the comprehensive transport accessibility and its correlation with economic development at county level: the statistical analysis of 79 counties in Hubei province [J]. Geographical Research, 2011, 30(12) : 2209—2221. 】
- [12] 姚士谋, 周春山, 王德, 等. 中国城市群新论. 北京: 科学出版社. 2016.
- [13] 胡兴华, 唐热情, 韩东方. 重庆统筹城乡交通发展若干问题分析 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2008, 27(6) : 1131—1134.

【HU X H, TANG R Q, HAN D F. Analysis on several problems of urban and rural transportation development in Chongqing, Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science edition, 2008, 27(6) : 1131—1134. 】