

长三角城市群“空间流”层级功能结构 ——基于高铁客运数据的分析

孙 阳^{1,2}, 姚士谋^{1*}, 张落成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, 南京 210008;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 高铁作为城市群内部物质与信息交流的基础设施, 是城市扩展和城市间相互联系的重要通道, 而城市群则是被高铁系统压缩了空间的众多城市空间。本文通过采集长三角城市群 380 个高速铁路客运数据建构 20×20 的矩阵, 建立了基于高铁客流的长三角城市群城市间联系的矩阵, 并在此基础上对长三角城市群内外空间结构进行深入分析。结果表明: ①长三角城市群核心城市上海、南京、杭州、宁波间城市网络联系密度高于其他廊道城市间联系; ②长三角城市群核心城市向外延伸的轴线联系加强, 主要表现为上海与镇江、嘉兴, 南京与丹阳、湖州, 苏州与常州、昆山等城市间联系紧凑; ③在城市群“空间流”分层方面: 第一层级主要分布在长三角地区“沪—苏—锡—常”及其沿线; 第二层级城市网络主要由“沪—宁”及其沿线路线构成; 第三层级城市网络主要由“沪—杭—甬”及其沿线路线构成; 第四层级城市网络主要由上海—金华—义乌及其沿线路线构成。

关 键 词: 空间流; 高铁; 长三角城市群; 城市联系; 新型城镇化

1 引言

近十几年来, 世界经济一体化的发展速度明显加快, “地点空间”也正在被“流的空间”所代替(陆大道, 2013)。其中人流与物流在区际间流动形成的交通流作为评判交通基础设施产生与变化规律的主要依据, 是真实和有效地反映城市群网络的重要指标。在高铁对城市群空间流相关影响方面研究, 王姣娥等(2014)通过 GIS 网络分析构建时间成本矩阵, 分析了高铁对中国 337 个城市对间经济联系强度的空间分布特征, 结果表明: 高铁对城市空间相互作用存在明显“廊道效应”, 提升了城市对外经济联系强度, 扩大了城市间经济联系强度以及缩小城市对外经济联系总量的差异。赵丹等(2012)以长三角城市间加权平均最短旅行时间为度量指标,

分析了高铁对长三角地区可达性空间格局演化的影响, 结果表明: 高铁在缩短城市间时空距离, 促进区域空间结构均衡化方面起到了积极作用。高铁时代背景下优势资源不断重新整合, 促使城市群之间人流、物流效率与质量大幅度提升, 带动了周边城市的快速发展。特别是长江三角洲城市群, 地处中国黄金海岸, 依靠得天独厚的地理区位优势, 发展成为中国经济的重要增长极, 核心城市和核心边缘城市进入相互联系和平衡发展的阶段, 交通路网将城市群内各城市有机联系成一个整体(焦利民等, 2016)。本文利用长江三角洲高铁班次数据, 作为城市间铁路客流的表征媒介, 深入剖析高铁系统流视角下长三角城市群网络层级结构, 探究区际联系结构与集聚强度以及节点城市的功能特征, 以此对中国城市群网络关联进行特征提取和规律挖掘,

收稿日期: 2016-07; 修订日期: 2016-10。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41130750, 41341170) [Foundation: Key Program of National Natural Science Foundation of China, No.41130750, No.41341170]。

作者简介: 孙阳(1988-), 男, 陕西咸阳人, 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。

通讯作者: 姚士谋(1940-), 男, 广东梅州人, 研究员, 博导, 主要研究方向为城市与区域经济发展, E-mail: yaoshimou@hotmail.com。

引用格式: 孙阳, 姚士谋, 张落成. 2016. 长三角城市群“空间流”层级功能结构: 基于高铁客运数据的分析[J]. 地理科学进展, 35(11): 1381-1387. [Sun Y, Yao S M, Zhang L C. 2016. Functional structure of spatial flow in the Yangtze River Delta: Analysis of passenger based data for the high speed railway[J]. Progress in Geography, 35(11): 1381-1387.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.11.008

深化高铁系统流视角对城市群网络发育程度的指示意义及区域认知。

2 “空间流”及相关概念

1996年著名城市社会学者曼纽尔·卡斯特的《网络社会的崛起》中提出“流动空间”的概念。流动不仅是社会组织里的一个要素,还支配了经济、政治和象征生活过程的表现(曼纽尔·卡斯特,2001)。当今已进入了一个可以被称为“流动社会”的新社会形态:所有过程的物质基础是由流动所构成的社会,而其中的权力和财富是在承载信息流动的
全球网络中组织起来的(Castells, 1996)。“流”表示空间联系,可用于识别空间格局,这也是流空间的基本要义。相较于传统通过“要素分布”或“重力模型”刻画城市间联系所体现出的“静态格局”,基于流数据的直观判别更直观和科学,也更贴近空间关系的本质(陈伟等, 2015)。高铁主导时代的区域空间形式已不再是“地方空间”,而是“流动空间”。流动空间通过时间对空间的替代,逐步改变传统的空间关系(张学良等, 2013)。

2.1 长三角重要节点城市分类

城市在一个地区内(尤其是经济发达区域)并不是孤立存在的,它与邻近区域和许多城市有着紧密联系,称之为“一个流的空间”(崔功豪, 2002),即每个城市之间的人流、物流、资金流、信息流等每时每刻都在发生着频繁的流动,尤其是人口50~100万的大中城市或人口超过100万的特大城市(姚士谋等, 2008),共同形成一个活动有机体,一个相互联系着的事物或区域生产空间,并存在着许多“节点”和“流”的空间,这就是经济发达区内城镇密集区的网络体系特征(王凤学, 2012)。长三角城市群的主要节点城市有上海、杭州、南京、苏州、宁波和无锡等

(表1),高铁层级密度由“宁—沪—杭—甬”线向两侧递减。因此,基于“空间流”的长三角城市群高铁层级网络空间结构呈现出明显的“核心—边缘”格局,又因这一主轴同国内沿海高铁(京沪—沪杭—杭甬)基本平行,也间接表明现代化的交通方式对于汇聚资源、提升城市功能等级方面的重要价值。

2.2 长三角节点枢纽特征

长三角城市群区域外的高铁系统“空间流”,主要反映基于上海虹桥等长三角城市群范围内的高铁站点在整个高铁系统中的作用,即乘客通过乘坐高铁并在一定时间内到达目的地的能力;长三角城市群区域内的“空间流”反映的则是高铁站点在城市轨道交通中的作用,即乘客通过城市轨道交通在一定时间内抵达目的地车站的能力。在当代城市发展中,高铁车站与周边地区已不仅是一个交通枢纽或是一个城市场所的角色,而是被赋予了更多功能性的意义(贺剑锋, 2011)。上海站、上海虹桥车站等站点作为铁路系统的节点站点(表2),尤其是上海虹桥车站,作为高度现代化程度的综合枢纽站,同样也是沪杭、沪宁与京沪高速铁路的交汇点,各节点站之间转乘便捷。作为特大城市与国际金融中心,上海综合实力强劲,其进出口贸易与吞吐量都

表1 长三角城市群重要节点城市及其集聚强度
Tab.1 Important node cities of the Yangtze River Delta and intensity of agglomeration

序号	节点城市分类	城市集聚强度
1	上海、南京、苏州、无锡	2886、2361、2095、1882
2	杭州、常州、昆山、镇江	1644、1647、1329、1258
3	宁波、嘉兴、绍兴、余姚	980、857、864、668
4	湖州、上虞、海宁、桐乡	336、406、335、387
5	诸暨、奉化	219、130

注:集聚强度参考了张文尝等(1992)对交通联系紧密度的定义,是用于反映城市与城市之间交通流强弱的指标。

表2 上海综合交通运营客流量分析

Tab.2 Passenger traffic analysis of Shanghai transportation system

	高铁	高速公路	航空港
交通设施	上海站 虹桥站	上海站;西站 虹桥站;南站	浦东国际机场 虹桥机场
分流量	710万人次/月 1000万人次/月	40~45万人次/月;30~31万人次/月 60~65万人次/月;28~30万人次/月	1100架次/天 694架次/天
总流量	0.85~0.96亿人次/年 1.2~1.4亿人次/年	450亿人次/年;350亿人次/年 710亿人次/年;295亿人次/年	5169万人次/年 3797万人次/年

资料来源:笔者根据2013-2015年上海交通运输部各大节点月流量分析,平均计算得出分流量。

名列前茅,科技文化交流对带动高铁人流方面也有着重要影响。

高速铁路能更紧密地将城乡联系起来,让一般城市融入中心城市群中,并使得配套工业链条的距离和成本大大降低,从而促使区域经济一体化过程顺利进行。改变道路交通辐射的空间结构对区域经济发展产生很大的影响,特别是高铁等道路交通的经济辐射作用对区域经济的快速发展起着明显的促进作用。高速铁路的开通和运行促使中国区域经济由点轴开发阶段向网络开发阶段过渡。从长远来看,大多数城市群为 1 小时交通圈,大大提高了城市之间的可达性。

3 数据来源与测度方法

鉴于高铁客流量不易统计,故选取高铁(动车)班次数据替代客流量的密集程度,数据来源于中国铁路时刻网(<http://www.shike.org.cn>)提供的 2014 年高速铁路客运班次数据。其原始数据为长江三角洲 18 个地级以上城市间的火车班次联系,表征基于高铁系统流视角下的长三角城市群网络关联强度。各班次的数据结构为 20×20 的矩阵,共 380 个关系数值。通过逐一查询长江三角洲、珠江三角洲及京津冀三大城市群不同站点之间的高铁(G 字头)、动车(D 字头)及城际高速(C 开头)的班次数量并加总,构建了以长江三角洲城市为单元的站点联系的原始矩阵,进而对每两个城市之间的班次进行合并,在此基础上对长三角城市群内外空间结构进行深入分析。

参考张文尝等(1992)对交通联系紧密度、联系

强度的定义,以此反映城市与城市之间交通流强弱。具体城市间联系计算方法如下:

(1) 联系强度 S_{ij} : 反映 2 个城市基于高速客流的联系程度。具体为 2 个城市之间的每日高铁班次之和:

$$S_{ij} = S_{i-j} + S_{j-i} \tag{1}$$

式中: S_{i-j} 为*i*城市到*j*城市的高铁班次; S_{j-i} 为*j*城市到*i*城市的高铁班次。

(2) 集聚强度(S_m): 反映某一个城市在区域联系网络中的流集聚能力。具体为这个城市与其他城市的联系强度之和:

$$S_m = \sum_{i=1}^n (S_{mi} + S_{im}) \quad (i = 1, 2, 3 \cdots n, i \neq m) \tag{2}$$

式中: S_m 为城市*m*与城市*i*的联系强度之和; S_{mi} 为城市*m*与其他城市的联系强度之和; S_{im} 为城市*i*与其他城市的联系强度之和。

4 基于高铁系统的长三角城市群层级特征提取

4.1 长三角城市群经济水平与高铁网络体系

改革开放 30 多年来,长三角城市群经济取得持续快速发展。2014 年经济总量(GDP)达 126794 亿元,在全国占比从 2001 年的 17.7% 上升到 2014 年的 19.92%,高于珠江三角洲和京津冀地区;2014 年人均 GDP 为 89750 元,虽低于珠三角 19%,但较京津冀地区高 55%;2014 年地均 GDP 虽比珠三角地区(含香港和澳门)平均水平低 71%,但却比京津冀地区高 18.8%。由此可见,2014 年长三角城市群的经济总体水平虽介于珠三角和京津冀地区之间,但其绝对值在全国占比仍较高(表 3)。

表 3 长三角城市群人口经济状况

Tab.3 Population and economy of the Yangtze River Delta Urban Agglomerations

地区	主要指标	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
长三角城市群	地区生产总值/亿元	82557	98673	115925	126117	137371	126794
	年末人口/万人	21427	21575	21677	21765	21882	15000
	人均地区生产总值/元	38529	45734	53478	57944	62777	89750
全国	国内生产总值/亿元	340903	401513	473104	519470	568845	635910
	年末人口/万人	133450	134091	134735	135404	136072	136782
	人均国内生产总值/元	25608	30015	35198	38459	41908	46600
长三角城市群	国内生产总值/%	24.22	24.58	24.50	24.28	24.15	18.50
相对于全国	年末人口/%	16.06	16.09	16.09	16.07	16.08	10.97
	人均国内生产总值/%	150.46	152.37	151.94	150.66	149.80	192.50

注:数据来源系根据《2015 年中国统计年鉴》整理。

长三角城市群不仅有国际性大都市上海,还有南京、苏州、无锡、杭州、宁波等众多的特大城市和大城市集聚,各种生产要素、人才、资本、信息也因此汇集在一起。城市群是推动中国城镇化发展的主体形态(姚士谋等, 2008),而发达的交通联系是城市群形成的重要条件,城市群不仅是全国产业经济和科技文化最发达的地区,也是高速铁路发达、密集地区。弗里德曼认为,评价一个城市群的地位和作用,不在于人口规模的大小,而在于各城市群参与国际经济社会活动的地位和程度,以及调控和支配资本与信息的能力(崔功豪, 2010)。而所有这一切都必须借助交通网络的通达性来实现(王凤学, 2012)。未来城市群结构体系是以不同等级的交通网络和生态网络为基本架构,以协调城市群内部及城市群之间人口、资源、环境、社会、经济发展为目标,形成具有一定吸引集聚能力和辐射扩散能力与发展潜力的有机体系(方创琳, 2005)。

随着经济全球化的加速和城市化的发展,城市之间的竞争越来越表现为以核心城市为中心的城市群的竞争,以大城市为核心的城市群已经成为一种具有全球性意义的城市—区域发展模式 and 空间组织形式,形成强强联合的经济共同体以应对全球化的挑战(姚士谋等, 2008)。高速铁路影响空间范围主要集中在中心城市周围 1~2.5 h 可达的 250~600 km 的空间范围内(柳思维等, 2011),同公路和航空运输相比,在距离 85~800 km 内有绝对优势。高铁的开通加快了沿线城市人口和要素的流动,促进产业转移和分工(张姗姗等, 2015);而且推动经济发达城市与经济欠发达城市之间进行资本、技术、人才、市场等要素的流动和转移,由此促进城市经济社会的快速发展。随着中国高速铁路时代到来,除少数边疆省区外,任意 2 个省会城市(除乌鲁木齐、拉萨外)间将形成 8 h 高速铁路运输圈(胡兴华等, 2008)。高铁的发展大大加快了城市之间的可达性,成为城市群迅猛发展的推动力(图 1)。长三角城市群的高速铁路系统在这一时期快速发展:由 2008 年的沪宁动车到随后的沪宁、沪杭动车,再到 2010 年的京沪高铁、沪宁城际通车及 2013 年的宁杭城际等开通。高速铁路总长度从 2010 年的 988 km 规划到 2020 年的 3728 km,覆盖范围也从宁沪杭甬沿线城市扩展到除舟山外其他所有城市。其中沪昆客运专线途径上海、杭州、南昌、长沙、贵阳、昆明等 6 市,加上上海到重庆和昆明的沪渝高铁及沪昆高



图1 长三角城市群高铁线路和站点布局示意图

Fig.1 High-speed railway lines and stations in the Yangtze River Delta Urban Agglomerations

铁,将推动包括长江中下游在内的整个流域的发展,特别是湖北、重庆、四川等高铁沿线地区将得益最大。

4.2 长三角城市群城市网络联系结构

根据城市间联系的计量表达,城市网络联系结构是通过对不同城市间的高铁班次合并,以此反映城市间的联系程度与结构。基于高铁系统的长三角城市群网络联系有 2 个明显特点:一是长三角城市群核心城市上海、南京、杭州、宁波间城市网络化联系密度高于其他廊道城市间联系;随着几条重要廊道城市间联系提升,无锡与常州、常州与昆山、绍兴与余姚的城市联系也在逐渐上升,尤其是嘉兴与杭州、绍兴与杭州、及宁波的联系,城市联系值均超过 130。二是由核心城市向外延伸的轴线联系强度加强,主要表现为上海与镇江、嘉兴,南京与丹阳、湖州,苏州与常州、昆山、镇江等城市间联系强度加强,其中上海与常州、昆山的城市联系值超过 215。长三角北翼城市间也已形成主要层次的网络联系格局。相比而言,长三角南翼城市的区域性城市网络联系,与省际间联系均有待进一步加强。

随着,长江三角洲城市群层级的多中心加强,在空间上也呈现出相对高水平均衡的网络化状态。上海、南京作为仅有的 2 个集聚强度大于 2300 的城市,成为第一等级城市;杭州、苏州、无锡、绍兴、常州、宁波的集聚强度为 1200~2300,可作为第二等级城市;而湖州、镇江、嘉兴等城市随着联系的

加强,将发展成为长三角城市群高铁系统的节点城市。

4.3 长三角城市群城市网络层级特征

根据不同城市间高铁班次强度划分出的层级构成,以此反映城市间的层级特征与集聚程度。其中,第一层级城市网络(图 2-3),主要分布在长三角地区的“沪—苏—锡—常”及其沿线,从上海与各城市节点的日通勤列车数来看,苏州(222 班)、无锡(205 班)、常州(190 班)属于高强度联系区间。苏锡常作为上海的直接吸引腹地,城市间联系紧密,高铁在 250~300 km 的时速下,可将任意 2 个城市的时空距离缩短至 1 h 之内。提高城市网络密度,促进城市分工协作,对深化区域一体化有着重要的作用。

第二层级城市网络主要由“沪—宁”及其沿线路线所构成。其中上海和南京构成了长三角城市群区域层面的最强连接点,二者处于沪宁线路的东西两端,且高铁班次的城市集聚程度高,线路途经所及城市“沿途效应”较强,业已形成城市关联密集带。上海与南京日通勤列车 255 班,整个沪宁沿线均属于高强度联系区间。同时,上海与浙江省各节点城市的联系亦增强,已实现除舟山以外的全覆盖,表明以沪宁甬为主要节点城市之间各要素流动较为频繁。

第三层级城市网络主要由“沪—杭—甬”及其沿线路线所构成,为上海与杭州市间交流的主要通道,由上海虹桥站引出途经松江南站—金山北站—嘉善南站—嘉兴南站—桐乡—海宁西站—余杭站,最终抵达杭州东站,快速客运网覆盖的各城市,“同城效应”明显。从上海与杭州的日通勤列车数(175 班)来看,属于较强度联系区间。

第四层级城市网络主要由上海、金华、义乌及其沿线路线构成。从上海与金华、义乌的日通勤列车数来看,上海至金华(80 班)及义乌(75 班)属于较弱度联系区间。

一方面,从区际联系密度来看,上海、杭州、南京、苏州作为长三角城市群区域内 4 个重要的节点城市,为其他城市最主要的联系方向。而苏南地区城市与浙江(除舟山外)的联系因沪宁、宁杭、沿海高铁与沪昆高铁的相继开通,高铁班次不断增加,各城市节点的关联强度显著高于区内其他节点城市。另一方面,从各城市间的联系强度来看,长三角城市群联系最强的是上海—南京之间,日开行

(含途径)高铁 255 班;其次为上海—苏州之间,日开行(含途径)高铁 222 班。高铁作为长三角城市群的交通骨架,在很大程度上起到了压缩时空距离作



图 2 长三角城市群城市间联系
Fig.2 Connections between cities in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration

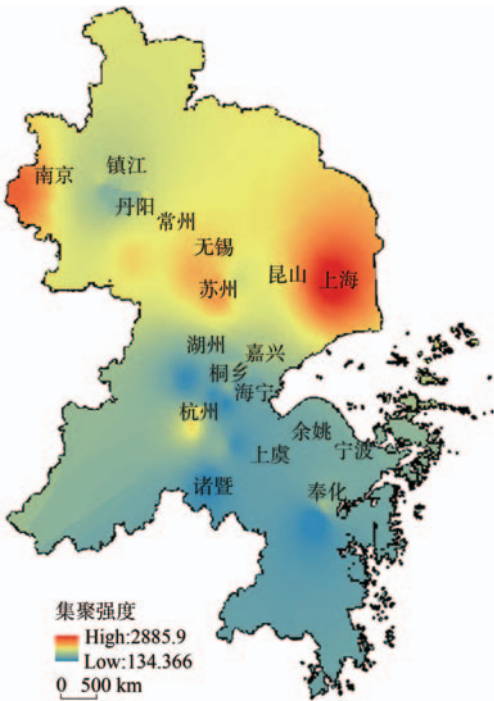


图 3 长三角城市群城市集聚强度
Fig.3 Intensity of urban agglomeration in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration

用,使城市联系范围拓展至250~500 km。随着宁杭、沪甬沿线网络化块状城市区域的进一步加强,通勤联系将进一步密切,长三角区域一体化进程将大大加快。

5 结论与讨论

本文以流空间为理论基础,将其引申为“流动空间”,并基于长三角城市群高铁系统来反映城市群区内外“空间流”层次结构。就长三角城市群地区而言,本文的初步结论如下:①长三角城市群的核心城市上海、南京、杭州、宁波间城市网络联系密度高于其他廊道城市间的联系;上海作为国际经济、金融、贸易和航运中心,以及国际性大都市,空间流规模大、密度高,功能特征具有综合性、复杂性;②长三角城市群核心城市向外延伸的轴线联系加强,主要表现为上海与镇江、嘉兴,南京与丹阳、湖州,苏州与常州、昆山等城市间联系紧凑;③在城市群“空间流”的层级方面,第一层级主要分布在长三角地区“沪—苏—锡—常”及其沿线;第二层级城市网络主要由“沪—宁”及其沿线路线所构成;第三层级城市网络主要由“沪—杭—甬”及其沿线路线所构成;第四层级城市网络主要由上海—金华—义乌及其沿线路线所构成。这也从侧面反映出长三角城市群多节点多层次的发展趋势、不同等级城市间要素充分流动的方向,以及相对均衡的空间结构形式。

由于采用长三角城市群高速铁路客运数据,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,也在一定程度上对现存长三角城市群层级功能结构产生影响,研究结果难免存在一定的局限性。需要进一步讨论的是,在高铁系统与城市群发展的相互关系分析中,应进一步对比分析长三角城市群、珠三角城市群及京津冀城市群在高铁带动下不同的网络关联特征与规律,进一步深化流视角下高铁系统对城市群网络发育程度的指示意义及区域认知。后续应在高铁发展与城镇化区域差异、城镇功能提升、城镇空间联系与布局格局方面作深入的实证研究。

参考文献(References)

陈伟, 修春亮, 柯文前, 等. 2015. 多元交通流视角下的中国

城市网络层级特征[J]. 地理研究, 34(11): 2073-2083. [Chen W, Xiu C L, Ke W Q, et al. 2015. Hierarchical structures of China's city network from the perspective of multiple traffic flows[J]. Geographical Research, 34(11): 2073-2083.]

崔功豪. 2002. 当前城市与区域规划问题的几点思考[J]. 城市规划, 26(2): 40-42. [Cui G H. 2002. Some contemporary considerations in urban and regional planning[J]. City Planning Review, 26(2): 40-42.]

崔功豪. 2010. 城市问题就是区域问题: 中国城市规划区域观的确立和发展[J]. 城市规划学刊, (1): 24-28. [Cui G H. 2010. Urban issue as the regional issue: The establishment and development of the regional view of urban planning in China[J]. Urban Planning Forum, (1): 24-28.]

方创琳, 宋吉涛, 张蔷, 等. 2005. 中国城市群结构体系的组成与空间分异格局[J]. 地理学报, 60(5): 827-840. [Fang C L, Song J T, Zhang Q, et al. 2005. The formation, development and spatial heterogeneity patterns for the structures system of urban agglomerations in China[J]. Acta Geographica Sinica, 60(5): 827-840.]

贺剑锋. 2011. 关于中国高速铁路可达性的研究: 以长三角为例[J]. 国际城市规划, 26(6): 55-62. [He J F. 2011. A study on the accessibility of high-speed rail in China: A case of Yangtze River Delta[J]. International Urban Planning, 26(6): 55-62.]

胡兴华, 唐热情, 韩东方. 2008. 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, 27(6): 1131-1134, 1167. [Hu X H, Tang R Q, Han D F. 2008. Analysis on some issues of Chongqing transportation development in balancing urban and rural project[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 27(6): 1131-1134, 1167.]

焦利民, 唐欣, 刘小平. 2016. 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, 35(10): 1177-1185. [Jiao L M, Tang X, Liu X P. 2016. Spatial linkage and urban expansion: An urban agglomeration perspective[J]. Progress in Geography, 35(10): 1177-1185.]

柳思维, 徐志耀, 唐红涛. 2011. 公路基础设施对中部地区城镇化贡献的空间计量分析[J]. 经济地理, 31(2): 237-241, 253. [Liu S W, Xu Z Y, Tang H T. 2011. A spatial econometric analysis on the contribution of road infrastructure to central regional urbanization[J]. Economic Geography, 31(2): 237-241, 253.]

陆大道. 2013. 地理学关于城镇化领域的研究内容框架[J]. 地理科学, 33(8): 897-901. [Lu D D. 2013. Dilixue guanyu chengzhenhua lingyu de yanjiu neirong kuangjia[J]. Scientia Geographica Sinica, 33(8): 897-901.]

曼纽尔·卡斯特. 2001. 网络社会的崛起[M]. 夏铸九, 王志

- 弘, 等, 译. 北京: 社会科学文献出版社: 464-524. [Castells M. 2001. The rise of the network society[M]. Xia Z J, Wang Z H, et al, Trans.. Beijing, China: Social Science Literature Press: 464-524.]
- 王凤学. 2012. 中国高速铁路对区域经济发展影响研究[D]. 长春: 吉林大学. [Wang F X. 2012. Study on the influence of China high-speed railway on regional economic development[D]. Changchun, China: Jilin University.]
- 王姣娥, 焦敬娟, 金凤君. 2014. 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, 69(12): 1833-1846. [Wang J E, Jiao J J, Jin F J. 2014. Spatial effects of high-speed rails on interurban economic linkages in China[J]. Acta Geographica Sinica, 69(12): 1833-1846.]
- 姚士谋, 陈振光, 朱英明, 等. 2008. 中国城市群[M]. 4版. 合肥: 中国科学技术大学出版社: 379-385. [Yao S M, Chen Z G, Zhu Y M, et al. 2008. The urban agglomerations of China[M] 4th ed. Hefei, China: University of Science and Technology of China Press: 379-385.]
- 张姗姗, 姚士谋, 张落成. 2015. 我国高速铁路与新型城镇化的相互作用关系探索[J]. 城市观察, (4): 103-112. [Zhang S S, Yao S M, Zhang L C. 2015. An exploration of interactions between high-speed rail and new-type urbanization in China[J]. Urban Insight, (4): 103-112.]
- 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. [Zhang W C, Jin F J, Rong C H, et al. 1992. Kongjian yunshu lianxi: Lilun yanjiu, shizheng fenxi, yuce fangfa [M]. Beijing, China: China Railway Press: 1-54.]
- 张学良, 刘学华. 2013. 高铁时代的城市新时空[J]. 社会观察, (1): 38-41. [Zhang X L, Liu X H. 2013. Gaotie shidai de chengshi xinshikong[J]. Social Outlook, (1): 38-41.]
- 赵丹, 张京祥. 2012. 高速铁路影响下的长三角城市群可达性空间格局演变[J]. 长江流域资源与环境, 21(4): 391-398. [Zhao D, Zhang J X. 2012. Research into spatial pattern changes of Yangtze River Delta's accessibility under the impact of high-speed railway[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 21(4): 391-398.]
- Castells M. 1996. The rise of the network society[M]. Cambridge, MA: Wiley-Blackwell: 1-594.

Functional structure of spatial flow in the Yangtze River Delta: Analysis of passenger based data for the high speed railway

SUN Yang^{1,2}, YAO Shimou^{1*}, ZHANG Luo Cheng¹

(1. Key Laboratory of Watershed Geography, Nanjing Institute of Geography Limnology, CAS, Nanjing 210008, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: High-speed rail as the infrastructure for material and information exchange is important channels in urban agglomerations that connect urban centers and facilitate urban expansion, and urban agglomeration is a greater metropolitan area whose internal separation is reduced by high-speed rail system. This study used passenger flow data of 380 sites in the Yangtze River Delta high-speed railway system to construct a 20 by 20 matrix for examining connections between cities in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration and its spatial structure. The results show that: (1) The density of network connection between the core cities in the Yangtze River Delta—Shanghai, Nanjing, Hangzhou, and Ningbo—is higher than between other cities; (2) Connections between the core cities of the Yangtze River Delta and cities along major transportation axes, such as Shanghai to Zhenjiang and Jiaxing, Nanjing to Danyang and Huzhou, and Suzhou to Changzhou and Kunshan, have been strong; (3) In terms of "spatial flow" stratification, the first level city network mainly consists of Shanghai-Suzhou-Wuxi-Changzhou and cities along the transportation routes between these cities; the second level city network is mainly composed of Shanghai and Ningbo and cities along the route; the third level city network is mainly composed of Shanghai-Hangzhou-Ningbo and cities along the transportation routes between them; the fourth level city network is mainly composed of Shanghai Jinhua and Yiwu and cities along the route.

Key words: spatial flow; high-speed railway; Yangtze River Delta Urban Agglomeration; urban linkage; new urbanization