

长三角高铁网络时空演化格局及 区域经济影响测度研究

宋欣^{1, 2} 孙伟^{2, 3} 王磊^{2, 31}

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098;

2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008;

3. 中国科学院流域地理学重点实验室, 江苏 南京 210008)

【摘要】: 高速铁路快速发展大大改善了交通通达性,在很大程度上影响空间资源再配置过程,进而影响区域经济发展格局。以长三角被纳入铁路网的40个设区城市为研究对象,在对比分析高铁开通前后(2009和2018年)铁路网络客流点强度和城际联系强度变化基础上,尝试构造改进生产函数模型,刻画了近10年间长三角地区高铁网络的时空演化格局及其对区域经济发展的影响。研究表明:(1)高铁快速发展使得长三角各城市平均最短时间可达性年均提高0.257h,10年来网络连通性提高近一倍,区域间城际联系更为密切;(2)近10年间高铁发展对长三角各城市点强度提升及城际联系强度的影响有明显区域差异,且城市可达性和连通性的变化模式截然不同,位于长三角边缘地区的城市可达性提升最大,而发展水平高的城市连通性改善最大,中心城市的枢纽地位持续强化,呈现明显的“马太效应”;(3)2018年基于铁路客流的城市点强度分布格局比2009年更加不均衡,这主要是由于强度大的极端节点(中心城市)较多造成的;(4)高铁网络演化影响着区域经济发展,且对第三产业的影响更为显著,使区域经济和第三产业发展分布更为极化。本研究可为区域发展与一体化政策制定、高铁建设与客运服务管理规划编制等提供参考。

【关键词】: 高铁网络 点强度 联系强度 区域经济发展 长三角

【中图分类号】: F294.3 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2020)02-0296-14

交通系统作为联系区域活动的重要因素和城市发展的重要支撑系统,决定着区域联系的程度与范围。交通方式和交通技术的每一次变革都将导致城市空间结构的变化,对城市发展产生深远影响^[1]。在轨道交通时代,由于人们广泛使用火车、电车等快速交通工具,城市因而有了巨大的扩张力,快速交通引起的集聚和扩散效应共同影响着城市空间形态的演变^[2]。交通方式的变革与区域空间结构演变有着密切的关系,随着我国城市化进程的加快,铁路营运里程和运行时速都大幅提升,铁路网络变化和城市空间格局、区域产业结构演变之间的相互作用越来越明显。2007年4月18日零时实施的第六次中国铁路大提速,首次开行了中国品牌的CRH动车组,对铁路提速做出巨大贡献。近些年来,高铁这种便捷快速的大区域交通工具越来越普及,已成为我国城市化快速发展阶段的一个重要变量,甚至将成为我国未来城市和区域空间形态、产业结构等产生巨大变化的关键驱动力。

作者简介: 宋欣(1995-),女,硕士研究生,主要从事区域发展规划方面研究.E-mail:songxiner8899@163.com; 孙伟 E-mail:wsun@niglas.ac.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871119)。

高速铁路极大地压缩了城市间的时间距离,大大降低了居民出行的时间成本,使得城市间人流、物流、资金流、信息流等各种要素在空间内的流动速度显著加快^[3,4]。人们对出行的空间感知也随之发生变化,比如,人们会把一些日常需要扩展到邻近城市,更愿意接受职住分离这种生活方式,同城化效应增强等^[5~7]。高铁使城市间轴向联系更加明显,沿线城市具有相对较高的对外联系和城市对间经济联系强度^[8,9]。同时,高速铁路的时空收敛效应也是不均衡的,会引发“虹吸”现象和“过滤”现象等^[10~14]。Gutiérrez 等^[15]和 Holl^[16]研究表明高速铁路的可达性带来“隧道效应”,把本来“环状”可达性格局变成了“带状”或“岛状”的格局。Preston 等^[17]研究发现区域中较小规模的城市从高铁开通中所获得的收益要远小于那些区域中心城市,贺剑峰^[18]认为高铁建设使得大城市和小城市要比中等城市获益更多。因此,“相对区位”条件的变化,对城市和区域空间结构的重组产生一定的影响^[19]。

高铁的“时空压缩”效应导致城市间可达性发生变化,会引起区域内的要素流动,重新分配区域内部的各种资源要素,重塑区域城市体系,整合区域经济,重构区域产业结构^[20,21]。目前已有大量相关研究分析了交通可达性对经济^[22~24]、人口分布^[25]等的影响。Givoni^[26]研究发现高速铁路推动了英国各大城市休闲旅游业和商务旅游业发展,从而促进社会服务业经济发展。Kotavaara 等^[27]研究了芬兰近 40 年来陆路交通可达性和人口变化之间的关系后发现,人口更倾向聚集于陆路交通可达性较高的地区。此外,高速铁路的建设将推动城市的高新技术、土木建筑等产业发展,进而为城市居民提供更多的就业机会^[28],同时高速铁路运营将会带动沿线城市旅游业、高铁站区商贸服务业等产业快速发展^[29]。由于高铁站周边地区往往发展为功能混合区,将会促进城市人口、经济增长,加速该地区转型和城市空间重构^[30]。

高速铁路的建设发展使人们出行更加便利,打破了传统交易活动中的距离限制,促进了区域经济一体化发展。在高铁等快速交通作用下,城市化发展将逐渐从单体城市扩张转变为城市群整体发展,高铁的繁荣发展必定给沿途城市的发展带来巨大的影响,甚至会对区域空间结构的演化及其内部机理带来根本性的颠覆。因此,本研究在参考国内外学者研究成果的基础上,从“流空间”的角度出发,深入剖析近 10 年来铁路变化对长三角地区空间结构和经济发展差异演化的影响,为促进长三角地区均衡发展提供实证数据支持,以期对交通网络演化对城市群区域发展影响的研究提供“中国案例”。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

长三角位于中国东部沿海地区,包括上海、江苏、浙江、安徽,面积 35.9 万 km²,占全国的 1/26。截止到 2018 年,常住人口 2.2 亿,经济总量 19.5 万亿元,分别占全国的 1/6 和 1/4,在中国发展大局中占有重要战略地位。2009 年,长三角地区仅有少量班次的动车运行,随着近十年的高铁网络快速扩张,长三角地区成为中国高铁运营里程最长、运行线路最多、停靠站点最密、运输量最大的地区。截止 2018 年,长三角高铁营业里程达 3667.8km,年旅客发送量突破 6 亿人次,是全球铁路运输旅客人次最多的世界级城市群区域。因此,选择长三角开展高铁网络时空演化格局及对区域经济发展影响的测度研究,具有很强的代表性和参考价值。

当前,推动长江三角洲区域一体化发展上升为国家战略,而基础设施的联通是区域一体化的突破口和重要基础条件。完善的一体化基础设施联通格局,可以有效降低经济距离和要素流动成本,为高效整合区域内资源、加速区域一体化进程提供强有力的支持。截止到 2018 年,长三角地区已经开通了合宁、合武、甬台温、温福、沪宁、沪杭、京沪、合蚌、宁杭、杭甬、杭长、合福、宁安、宁启等近 20 条高铁线路,连通了区域内的 33 个城市,基本形成了网络化的高铁系统。以上海、南京、杭州、合肥为中心的“0.5~3h”高铁交通圈全面形成,上海、南京、杭州、合肥的引领能力不断突出,中心城市在整个区域内辐射作用和虹吸作用并存。为了更好推进区域一体化发展,优化轨道交通网络布局,需要客观分析和准确把握当前高铁建设对区域发展差异的影响。因此,本研究以长江三角洲为例,基于网络联系模型和改进生产函数模型,定量测度铁路网络时空演化格局及其对区域经济发展的影响,为区域规划和铁路交通规划及区域一体化发展政策制定提供科学依据。需要说明的是,浙江省舟山市尚未纳入国家铁路网,因而本文研究范围为上海、江苏、浙江和安徽的 40 个地级及以上城市。

1.2 研究方法

1.1.1 平均最短时间可达性

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} T_{ij}}{n-1} \quad (1)$$

式中: A_i 表示区域内城市 i 的平均最短旅行时间可达性; T_{ij} 表示通过铁路网络从城市 i 到达城市 j 所需要的最短时间; n 为区域内的全部城市数目。 A_i 的值越小,城市的可达性越好; A_i 的值越大,则城市的可达性越差。

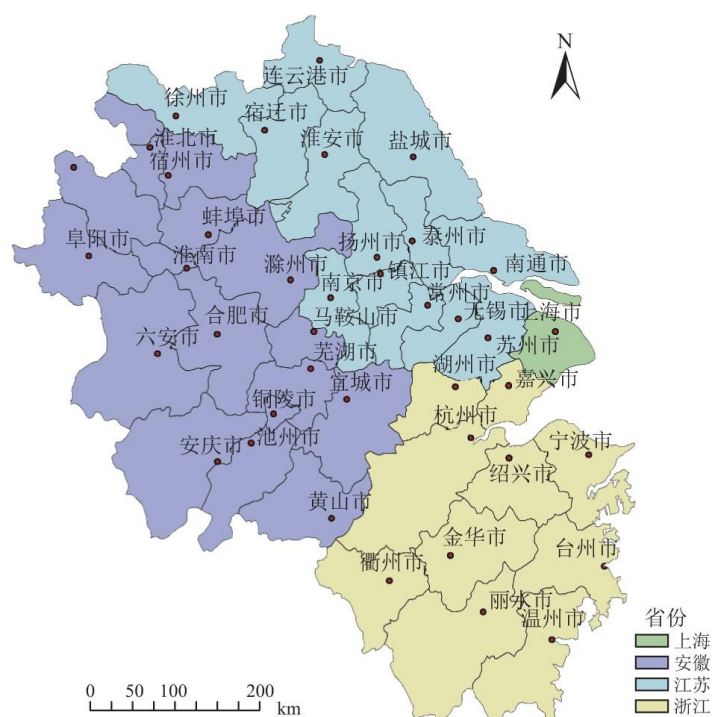


图1 研究区域示意图

1.1.2 基于铁路客流的网络连通性

$$S_i = \sum_{j=1}^{n-1} (S_{ij} + S_{ji}) \quad (2)$$

式中: S_i 表示城市 i 的连通性,即城市 i 与其他所有城市的每日总运行班次; S_{ij} 表示城市 i 到城市 j 的每日运行班次; S_{ji} 表示城市 j 到城市 i 的每日运行班次。连通性 S_i 反映了一个城市与其他城市联系的便捷程度, S_i 越大,城市在区域铁路交通网络中的连通性和集聚能力越强。

1.1.3 城际联系强度

在以前的研究中,通常把城市间列车运行班次直接作为城际联系强度。在本研究中,为了更加真实地表示各个城市间的联系强度,通过专家打分法,确定了最短时间可达性的重要性为 3,班次数目的重要性为 7。因此,首先将区域内城市 i 与城市 j 之间的平均最短旅行时间(T_{ij})与每日运行总班次(S_{ij})进行离差标准化以消除量纲影响,再分别赋予 3:7 的权重并结合起来作为城市 i 与城市 j 基于铁路客流的城际联系强度。计算公式如下:

$$T_{ij} = \frac{(T_{i-j} + T_{j-i})}{2}$$

$$S_{ij} = S_{i-j} + S_{j-i}$$

$$P_{ij} = 0.3 \times \frac{\frac{1}{T_{ij}} - \min_{1 \leq j \leq n} \left\{ \frac{1}{T_{ij}} \right\}}{\max_{1 \leq j \leq n} \left\{ \frac{1}{T_{ij}} \right\} - \min_{1 \leq j \leq n} \left\{ \frac{1}{T_{ij}} \right\}} + 0.7 \times \frac{S_{ij} - \min_{1 \leq j \leq n} \{S_{ij}\}}{\max_{1 \leq j \leq n} \{S_{ij}\} - \min_{1 \leq j \leq n} \{S_{ij}\}} \quad (3)$$

式中: P_{ij} 表示城市 i 与城市 j 的城际联系强度; T_{i-j} 为城市 i 到城市 j 的最短旅行时间; T_{j-i} 为城市 j 到城市 i 的最短旅行时间; T_{ij} 即为城市 i 与城市 j 之间的平均最短旅行时间; S_{i-j} 为城市 i 到城市 j 的每日运行班次; S_{j-i} 为城市 j 到城市 i 的每日运行班次; S_{ij} 即为城市 i 与城市 j 之间的每日运行总班次。 P_{ij} 可以反映出城市与城市之间基于铁路客流的联系密切程度, P_{ij} 的值越大,城市 i 与城市 j 的联系就越密切,反之则联系越不便利。

1.1.4 城市点强度

$$P_i = 0.3 \times \frac{\frac{1}{A_i} - \min_{1 \leq j \leq n} \left\{ \frac{1}{A_j} \right\}}{\max_{1 \leq j \leq n} \left\{ \frac{1}{A_j} \right\} - \min_{1 \leq j \leq n} \left\{ \frac{1}{A_j} \right\}} + 0.7 \times \frac{S_i - \min_{1 \leq j \leq n} \{S_j\}}{\max_{1 \leq j \leq n} \{S_j\} - \min_{1 \leq j \leq n} \{S_j\}} \quad (4)$$

式中: P_i 表示城市 i 基于铁路交通网络的点强度, P_i 的值越大,城市 i 基于铁路网络的点强度就越大。为了增强结果数据的可对比性,客观反映区域各城市节点的强度差异,采用标准化点强度系数指标对点强度结果进行归一化处理。点强度系数为某城市点强度值与区域所有城市平均点强度的比值,消除了城市点强度数值大小的影响,计算公式如下:

$$P'_i = \frac{P_i}{\bar{P}} = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i / n} \quad (5)$$

式中: P'_i 表示区域内城市 i 的点强度系数; P_i 表示区域内全部城市的强度均值。 P'_i 大于 1 表示该城市的点强度优于区域平均水平, P'_i 小于 1 表明该城市的点强度比区域平均水平差。为了客观反映不同年份长三角地区基于铁路交通网络的点强度分布的均衡性,进一步引入点强度系数的标准差,即点强度的变异系数。变异系数为一组数据的标准差与这组数据的均值之比,是测度数据离散程度的相对指标,主要用于对比分析单位或平均数不同的两组或多组数据的离散程度大小。计算公式如下:

$$cv = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n}}}{\bar{P}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P'_i - \bar{P}')^2}{n}} \quad (6)$$

式中: cv 表示点强度的变异系数; $\bar{P}$ 表示区域内全部城市点强度系数的均值; cv 值越小,表明长三角地区各城市基于铁路交通网络的点强度分布越均衡,城市在区域铁路网络中的地位差异越小。

1.1.5 回归模型

本文采用经典生产函数来估计铁路网络可达性和连通性的增加对经济发展的影响,通过能源消费总量和铁路运输发展的变量来扩展经典模型,并用方程的对数处理把函数转换成公式(8)所示的线性形式。

$$Y=f(L, K, E, HSR) \quad (7)$$

$$\log Y = \log f(L, K, E, HSR) \quad (8)$$

生产函数中, Y 为所能生产的最大产量,即经济发展水平; L 为劳动力; K 为资本投资; E 指能源消费总量; HSR 指铁路运输发展。以往的研究已经表明,在长三角地区一些社会经济变量之间有相关的显著异质性和空间依赖性。因此本研究采用空间自回归(SAR)模型来检测因变量是否存在空间影响。

$$Y_{it} = \rho WY_{it} + X_{it}\beta + \mu + \varepsilon_t \quad (9)$$

式中:Y 为每个分析单元的 N*1 因变量向量;i 为一个横截面;t 为时间维度;X 为劳动力投入、固定资产投资、能源消费总量、铁路网络可达性和连通性等独立变量的 N*T 矩阵;W 为一个分析单元对其他分析单元的空间权重向量,并且 W 是由一个归一化的 N*N 权重矩阵基于 Queen Contiguity 方法计算的,因此 WY 是因变量之间的空间相互作用,ε_t 是扰动项,ρ、β 和 μ 是待估算系数。为了测度高铁发展的影响,本文采用了 3 个指标来捕捉高铁发展带来的可达性和连通性变化,此外 USI 为两个维度之间的相互作用效应。因此,估算高铁效应的最终模型为公式(10)所示:

$$\begin{aligned} \log Y_{it} = & \rho * \log Y_{it} + \beta_1 * \log Labour_{it} + \\ & \beta_2 * \log Invest_{it} + \beta_3 * \log Energy_{it} + \\ & \beta_4 * \log NT_{it} + \beta_5 * \log NC_{it} + \\ & \beta_6 * \log USI_{it} + \mu + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (10)$$

1.3 数据来源

本研究所采用的原始铁路数据包括两两城市间列车运行的最短旅行时间和班次数目,以此来表征基于铁路客运流视角下的长三角地区各城市的联系强度。2009 年的铁路交通数据来源于网络开源数据平台“石开列车时刻表”于 2009 年 4 月更新的版本,2018 年的数据来自国内最大的旅游网站携程网,数据采集时间为 2018 年 10 月。在查询过程中遵照的原则为:两个城市之间若有直达的列车班次,则把所有列车班次中运行时间最短的设置为两城市之间的最短旅行时间,班次数目即两个城市间一天运行的铁路班次总和;若两个城市之间没有直达的列车班次,则选择网站提供的最短时间中转方案,把中转方案的运行时间设置为两城市之间的最短旅行时间,将班次数目设置为 0。由于列车上行和下行的时间、班次都不同,因此可以构成一个除舟山之外的长三角 40 个城市间基于铁路客流的 40×40 的最短时间矩阵和班次数目矩阵。本研究将高铁(G 字头)、动车(D 字头)及城际铁路(C 字头)一律视为高铁。此外,对于本研究所涉及到的人口和经济方面的数据,由于 2018 年的统计数据尚未公布,因此本研究用 2017 年的数据代替。所有 2009 和 2017 年的人口和经济数据均来源于浙江、江苏、安徽、上海 2010 和 2018 年统计年鉴,部分数据来源于 40 个城市的 2010 和 2018 年统计年鉴。由于安徽省巢湖市于 2011 年撤消地级市,原行政区划范围分别划分给合肥、芜湖和马鞍山,为了使研究结果可比较,将 2009 年原巢湖市的人口经济数据按行政区划拆分到了合肥、芜湖和马鞍山。

2 高铁网络时空演化格局:铁路基础设施和列车服务

2.1 近十年间长三角各城市可达性变化

高铁网络的快速发展大大缩短了出行时间,提升了城市的最短时间可达性。2009 年南京是可达性最优的城市(值为 3.79h),其次是合肥(4.31h)和芜湖(4.44h),尽管南京一直保持着可达性最优的地位,但由于高铁网络的发展,最低值的中心在 2016 年开始向西部地区转移。研究表明,铁路交通网络的地理位置和节点中心性决定了城市的网络可达性等级。2018 年可达性格局与 2009 年显著相关,解释力为 62.1%。此外,由于在近 10 年间传统铁路网没有显著贡献,而高速铁路网的发展改变了 37.9%的网络可达性,因此高铁网络扩张加剧了可达性格局的不均衡发展,有些城市可达性大幅改善,有些城市却愈加边缘化(图 2)。

由近 10 年间可达性的变化可以看出,位于长三角边缘地区的城市可达性变化最大。例如,浙南台州、温州、衢州、丽水和皖南安庆、黄山以及苏北宿迁、盐城等地的最短时间可达性均减少超过 3h。然而,宣城、亳州和阜阳的平均最短时间可达性却变差,这是由于这 3 个城市在 2009 年时铁路客运较为发达,但当 2018 年长三角大部分城市都已开通高铁时,这 3 个城市仍未开通高铁,由于普通铁路的提速幅度远远低于高铁,且很多火车班次会被周边城市的高铁班次所取代,一些速度较快的火车班次也不再运行,因此随着其它城市的可达性越来越高,这些城市的平均最短时间可达性反而下降,将会有优者更优、劣者更劣的趋势。

2.2 近十年间长三角各城市网络连通性变化

2018 年基于铁路客流的网络连通性最强的是南京(每日总运行班次为 4287),其次为上海(4099)、苏州(2969)、杭州(2951)、常州(2417)、无锡(2370),2009 年网络连通性最强的也是这 6 个城市,可见 2018 和 2009 年的网络连通性格局显著相关,且与城市发展水平高度相关。由近 10 年间的连通性变化可以看出,发展水平高的城市连通性改善最大,例如,南京、上海、苏州、杭州等地列车均增加超过 1000 班次。然而,宣城、连云港、扬州、亳州和阜阳的每日运行班次却变少,网络连通性变弱。这是由于数据采集时间为 2018 年 10 月,此时除了扬州都未开通高铁,扬州也只与南京和苏中城市有少量动车班次联系,随着高铁网络越来越完善,很多火车班次会被高铁班次所取代,因此这些没有开通高铁的城市网络连通性会越来越弱,与连通性强的城市差距将越来越大(图 3)。

2.3 近十年间长三角地区城际联系强度变化

由于 2009 年宿迁和台州没有开通铁路,整个区域共有 703 条联系线,2018 年时两两城市间都有了铁路联系(直达或转车),共有 780 条联系线,实现了区域全覆盖。从 2009 年各个等级的联系线数目占区域全部联系线的比例来看,联系强度最大的第一、二级共有 25 条联系线,占比 3.56%;三、四等级共有 98 条,占比 13.94%;强度最小的五、六等级共有 580 条,占比 82.5%。又由 2018 年城际客运联系强度图看出,第一、二等级共有 37 条联系线,占比 4.74%;三、四等级共有 121 条联系线,占比 15.51%;联系强度最小的第五、六等级共有 622 条联系线,总占比 79.74%。因此 2009 年和 2018 年强度小的城市联系都占据绝对优势,强弱差异显著,整体上分布都不均衡。(图 4)。

将 2009 与 2018 年城际联系强度图分解成 4 个层级(图 5、图 6),容易看出长三角地区基于铁路联系强度的城市网络凸显出明显的轴线特征。第一网络层级都展示了整个长三角铁路联系最为密切的“沪宁轴线”,这条轴线包括上海、南京、苏州、无锡、常州 5 个城市,它们任意两个城市之间的联系强度都远远大于其余城市之间的联系。此外,图 6(a)比图 5(a)集聚程度更高,说明 2018 年“沪宁线”城际联系强度与其余城际联系的差距比 2009 年更大,因此这 5 个城市不仅在 2009 和 2018 年时客运联系最密切,而且在近十年间提升幅度最大。2009 年第二层级凸显出“一横一纵”的空间格局,京沪线和沪昆线这两条铁路干线的沿线城市间空间联系开始显现;2018 年第二层级主要突出了“京沪高铁”,表征京沪高铁干线及其支线的沿线城市间空间联系。且这两年南北向的城际联系都多于东西向的城际联系,说明京沪铁路的运输力与承载力在长三角地区占据绝对优势,京沪铁路沿线城市间联系强度大于区域内其它城市。2009 年第三层级呈现了以大部分铁路干线沿线城市为节点的多中心互动关联特征,强化了京沪铁路的影响力,苏北和浙南地区城际客运联系相对较少,成为区域互动关联的塌陷地区。由 2018 年第三层级图看出,京沪、沪汉蓉、沪昆、杭深这“两横两纵”四条高铁干线的沿线城市间空间联系得以显现。由于沪昆高铁和杭深高铁贯穿浙江省,因此在近十年间浙南地区城际客运联系强度提升很大。铁路交通的跳跃性大大削减了地理距离的影响,使得位于边缘地区的六安、安庆、温州和台州等城市与其他城市间的客运联系得到改善。第四网络层级展示了长三角地区基于铁路联系的整体互动关联格局和区域内四通八达的铁路交通现状,两两城市间的联系强度较小且错综复杂。高铁干线沿线城市间的客运联系越来越紧密,周边地区的城市间客运联系却越来越薄弱,差距将越来越大,表现出“马太效应”。

2.4 近 10 年间长三角地区城市点强度变化

近 10 年来,长三角地区基于铁路客流的点强度大幅提升和较大提升的城市约各占 1/3,还有多于 1/3 城市的点强度提升不大甚至下降,中心城市极化态势明显。由图 4 看出,2009 和 2018 年点强度最大的第一等级都只有上海和南京,说明近十年间上海和南京市的铁路对外联系水平在整个研究区域内都处于不可挑战的地位,与其他城市有着明显差距。2009 年第二等级有 6 个城市,2018 年增加为 8 个城市,新增了徐州和合肥,说明近十年间徐州和合肥市的铁路交通发展迅速,城市点强度跃升了一个等级到了较高水平。其他城市中,宁波、绍兴和湖州由 2009 年的第四级上升为 2018 年的第三级,温州、铜陵由第五级上升为第四级,台州由第六级上升为第五级,共有 8 个城市的相对等级提升。温州和台州市位于长三角区域最南端,在 2009 年时铁路交通极其薄弱,台州市甚至都没有通铁路,因此它们的点强度非常小;到 2018 年时,台州和温州都开通了高铁,因此强度提升幅度很大。

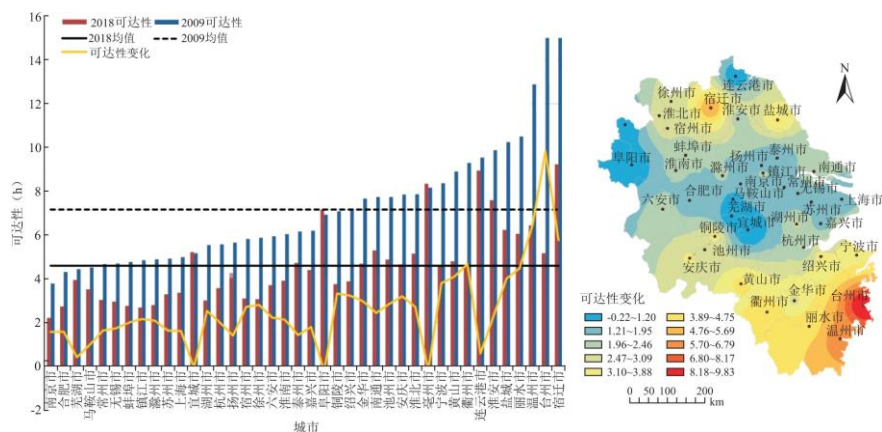


图 2 2009~2018 年长三角地区各城市网络可达性变化

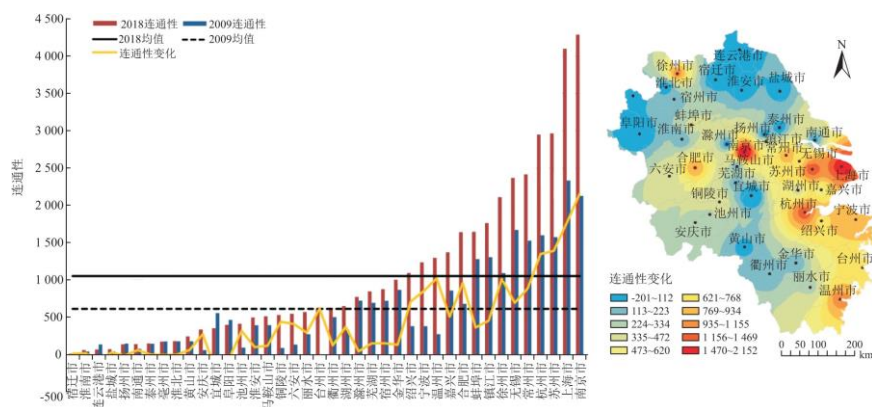


图 3 2009~2018 年长三角地区各城市网络连通性变化

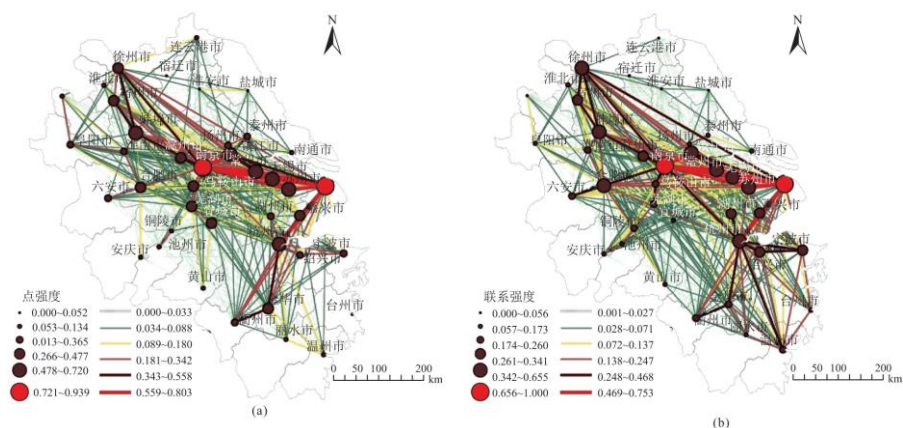


图 4 长三角地区 2009 年(a) 及 2018 年(b)城际联系强度示意图

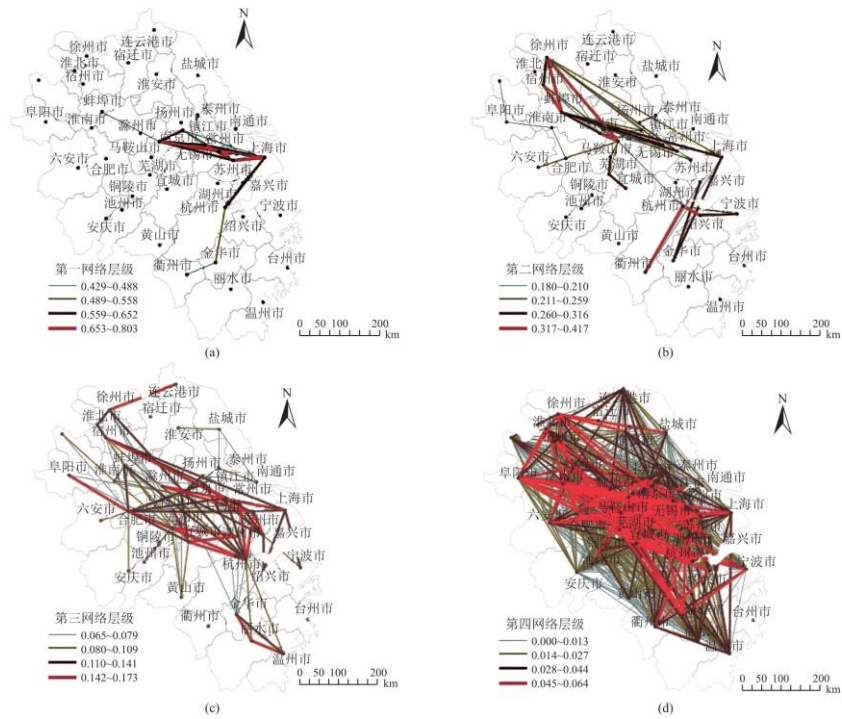


图 5 2009 年长三角地区城际联系强度网络层级图

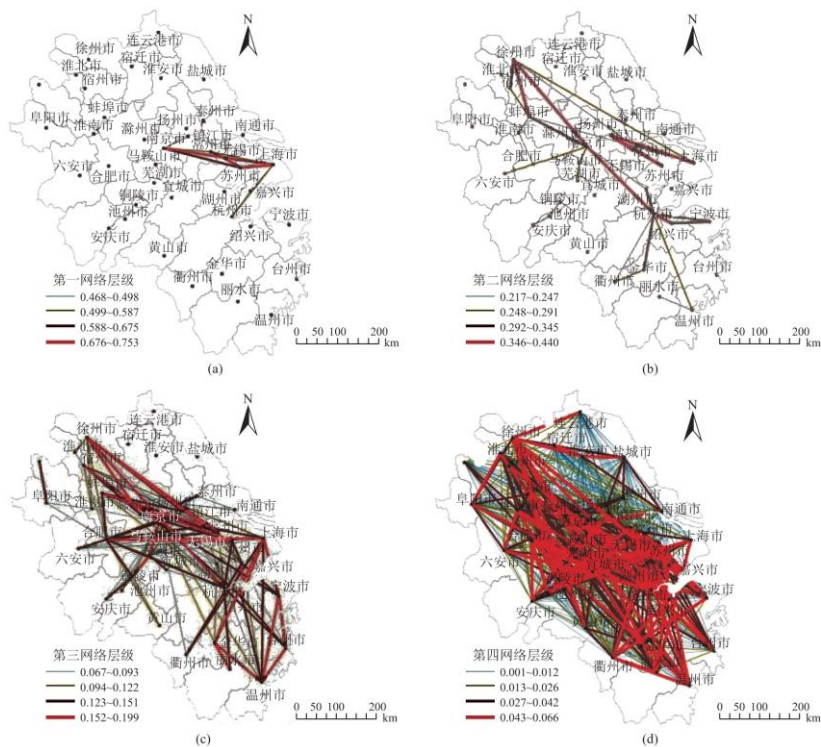


图 6 2018 年长三角地区城际联系强度网络层级图

此外,宣城市由 2009 年的第三级下降为 2008 年的第五级,芜湖、金华和马鞍山由第三级下降为第四级,阜阳、扬州和泰州由

第四级下降为第五级, 亳州和连云港由第五级下降为第六级, 共有 9 个城市的相对等级下降。阜阳、连云港和亳州截止 2018 年 10 月均未开通高铁, 且都位于整个区域的边缘地带, 随着长三角地区整体铁路交通水平的提升, 这些城市被进一步边缘化, 铁路对外联系反而变差了。宣城市的点强度下降了两个等级, 这是由于 2009 年宣城市的普通铁路客运比较发达, 每天通行的铁路班次总量为 560, 而 2018 年随着周边城市都已开通高铁, 宣城交通区位优势渐渐消失, 很多火车班次也被周边城市的高铁班次所取代, 每天的班次总量下降为 358, 因此近 10 年间点强度显著变小。南京、上海、苏州、杭州等这些强的城市越来越强, 而宣城、阜阳等弱的城市越来越弱, 差距就越来越大, 中心城市在区域铁路网络中的枢纽地位不断强化, 核心-边缘态势日益明显。

近 10 年来长三角地区基于铁路客运的城市点强度空间分布均衡性下降。空间插值通常用于将离散点的测量数据转换为连续的数据曲面, 以便与其它空间现象的分布模式进行比较。由于研究区域内采样点分布均匀且不聚集, 本文采用反距离加权插值法, 权重随着样点与预测点之间距离的增加而减小, 因此通过插值可以由 40 个城市的点强度揭示出整个长三角区域的强度空间分布格局。对比两个年度的点强度插值图可以看出, 2009 年的高值聚集区为以 上海、蚌埠、杭州 为顶点的大三角形, 2018 年的高值聚集区为以 上海、南京、杭州 为顶点的小三角形。这说明 2009 年除了区域的最边缘地区, 其余城市基于铁路客流的点强度差距不大, 整个区域呈现出较为均衡分布的状态。而 2018 年小三角区显著优于其它地区, 说明 10 年来此核心区域发展极其迅速, 与其它城市的强弱差距越来越明显, 因此 2018 年整个区域的城市点强度空间分布变得不均衡。(图 7)

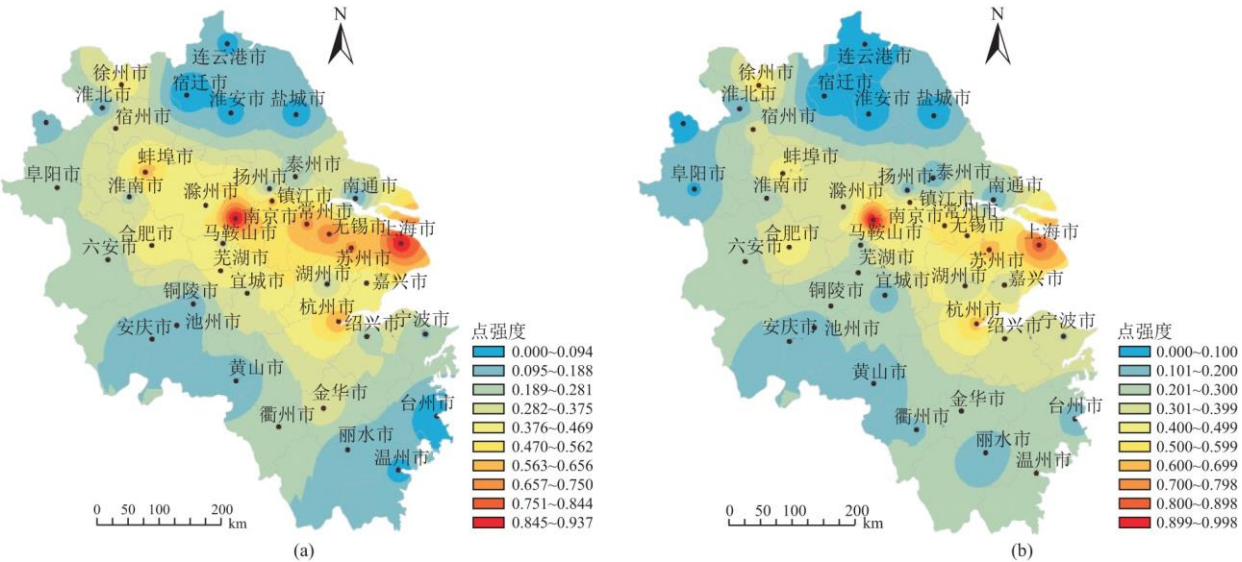


图 7 长三角地区 2009 年(a) 及 2018 年(b)城市点强度空间分布格局

分析点强度系数也可以看出, 2009~2018 年基于铁路客流的城市点强度分布格局都不均衡, 且相比而言 2018 年变得更不均衡。2009 年时 <0.2 与 >2 的极端节点数共 10 个, 2018 年有 11 个, 说明这两年点强度分布都不均衡。2009 年点强度系数的标准方差(变异系数)为 0.779, 2018 年为 0.789, 2009 年点强度系数的极差为 3.003, 2018 年为 3.444, 2018 年的标准差和极差都较高一些。此外, 2009 年 40 个城市的点强度均值为 0.313, 点强度最大的南京(0.939)与均值相差 0.626, 2018 年点强度均值为 0.290, 点强度最大的南京(1.000)与均值相差 0.710, 容易看出 2018 年各个城市的点强度差距比 2009 年更大。因此从标准差、极差、强度差看出, 与 2009 年相比, 2018 年的点强度分布格局更不均衡。且通过分析这两年点强度系数 <0.2 和 >2 的节点个数, 看出点强度大的极端节点数显著多于强度小的极端节点数, 因此这两年城市点强度分布不均衡都主要是由于强度大的极端节点较多造成的, 进一步说明中心城市在铁路网络中的极化作用在增强(表 1)。

表 1 2009 和 2018 年城市点强度系数分布统计表

指标		2009 年点强度系数	2018 年点强度系数
标准差		0.779	0.789
极值	最高值	3.003	3.444
	最低值	0	0
	极差	3.003	3.444
特定数值段节点个数	<0.2 节点个数	4	5
	>1 节点个数	17	16
	>2 节点个数	6	6
	<0.2 与>2 节点数之和	10	11

3 高铁网络扩张对长三角经济发展的影响

通过检验方差膨胀因子 (VIFs), 发现各变量值均小于 4, 表明各变量之间没有多重共线性。采用对经济发展和产业结构调整具有固定影响的 SAR 估计值进行空间回归分析, 结果表明在 99% 的置信水平上, 所列模型均具有显著性。表 2 给出了长三角地区高铁网络发展影响的回归结果, 除第一产业外, 所有其他因变量的空间滞后在 SAR 模型中都具有高度统计意义。高铁网络发展对我国整体经济发展和非农产业结构调整具有正外部性, 并且相比第二产业, 第三产业在区域尺度上的城市空间集中程度明显较高。

通过对生产函数中的劳动力投入、固定资产投资和能源消费总量进行控制, 发现时间可达性是整体经济发展和非农产业结构调整的一个重要且消极的预测指标, 表明高铁网络扩张带来的可达性改善对长三角地区第二产业和第三产业的发展产生了重要影响, 同时显著性水平也表明, 可达性改善对第三产业的影响大于第二产业。此外, 网络连通性和城市点强度对长三角经济发展和产业结构调整的影响模式也与时间可达性相似。这一发现与之前的研究相呼应, 即高铁网络快速扩张带来的高速且频繁的列车服务对第三产业产生更多的益处。

另一方面, 在所有的生产函数中, 固定资产投资对经济发展和产业结构调整具有重要的积极影响, 与其他因素相比, 结果表明近十年来长三角地区经济发展的主要驱动因素是大量投资。自 20 世纪 70 年代末改革开放以来, 固定资产投资一直被认为是中国经济发展最重要的因素之一。而劳动力投入对经济发展和产业结构调整产生了不同的影响, 结果表明劳动力投入是第一产业和第二产业的重要且积极的预测指标, 是人均 GDP 的一个重要且消极的预测指标, 对 GDP 和第三产业经济发展不重要, 这可能是由于模型只考虑了劳动力投入的数量而忽略了劳动力投入的质量。随着长三角地区由第二产业主导的经济向第三产业转变, 近年来人们越来越重视第三产业^[31, 32], 因此考虑到高铁网络发展对不同产业部门的影响不一样, 高铁服务在促进本区域经济转型方面的作用将更加突出。

表 2 长三角地区空间经济计量模型估计

	人均 GDP (对数)	GDP (对数)	第一产业产值 (对数)	第二产业产值 (对数)	第三产业产值 (对数)
劳动力 (对数)	-0.890*	0.168**	0.295***	0.171**	0.022

固定资产投资(对数)	0.212***	0.194***	0.429***	0.262***	0.232***
能源消费总量(对数)	0.014	0.007	0.025	0.012	-0.008
网络可达性(对数)	-0.176***	-0.08	-0.066	-0.072*	-0.107***
网络连通性(对数)	0.004**	0.005	-0.0008	0.031***	0.009***
城市点强度(对数)	0.096**	0.054	0.396	0.244**	0.021**
空间滞后变量	0.424***	0.63***	-0.075	0.425***	0.671***
R ²	0.555	0.718	0.322	0.699	0.546

对长三角地区 2009 和 2017 年的 GDP 分布对比分析, 由图 8(a) 可知, 2009 年一、二等级共有 6 个城市, 因此地区生产总值较高的城市共占 15%; 三、四等级共有 20 个城市, 因此 GDP 位于中等水平的城市占 50%; 五、六等级共 14 个城市, 因此 GDP 较低的城市占 35%。而 2017 年一、二等级有 4 个城市, 共占 10%; 三、四等级有 15 个城市, 共占 37.5%; 五、六等级有 21 个城市, 共占 52.5%。可以看出, 2009 年中等水平的城市占多数, 2017 年低水平的城市占多数, 且由图 8(a) 和图 8(b) 也可以直观地看出, 2009 年长三角地区 GDP 分布显著比 2017 年分布更为均衡, 经济发展总体实力差异越来越大。根据图 9(a) 和图 9(b) 以同样的方法分析长三角地区这两年的第三产业产值分布, 也可以看出 2009 年长三角地区的第三产业产值分布比 2017 年较均衡一些。高铁带来的服务业机遇使得一些获益城市发展越来越快, 与边缘城市的差异越来越大。因此, 2009~2018 年近 10 年间, 高铁的快速发展使得长三角地区的地区生产总值、第三产业产值等变得更为集聚, 经济发展的核心-边缘态势越来越明显, 中心城市极化作用大于辐射作用, 高铁建设所期望的区域均衡发展拐点尚未出现。

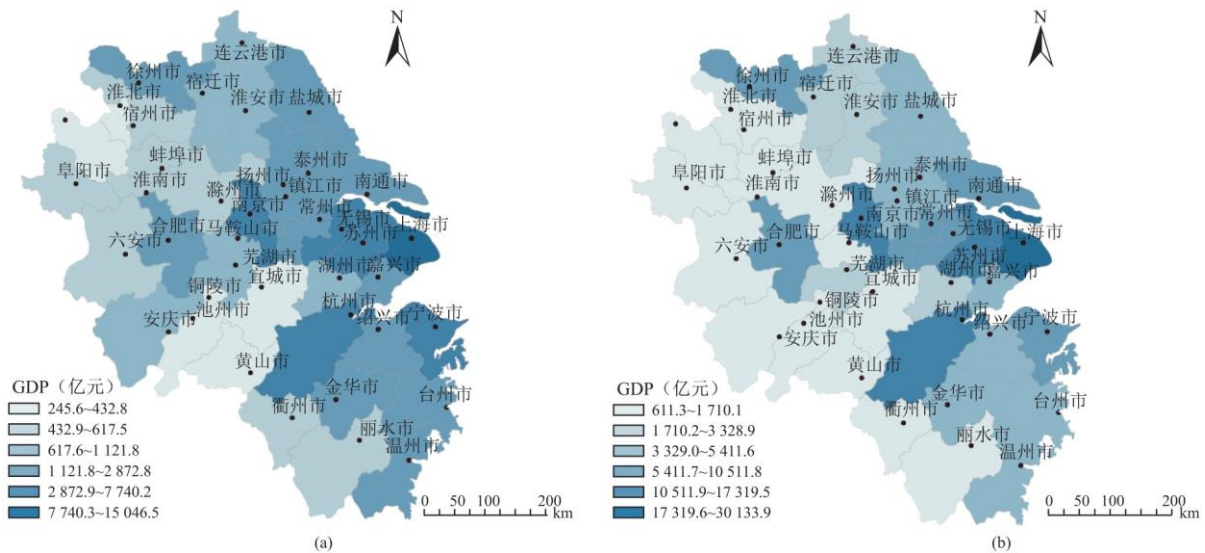


图 8 2009 (a) 和 2017 年 (b) 长三角地区 GDP 分布

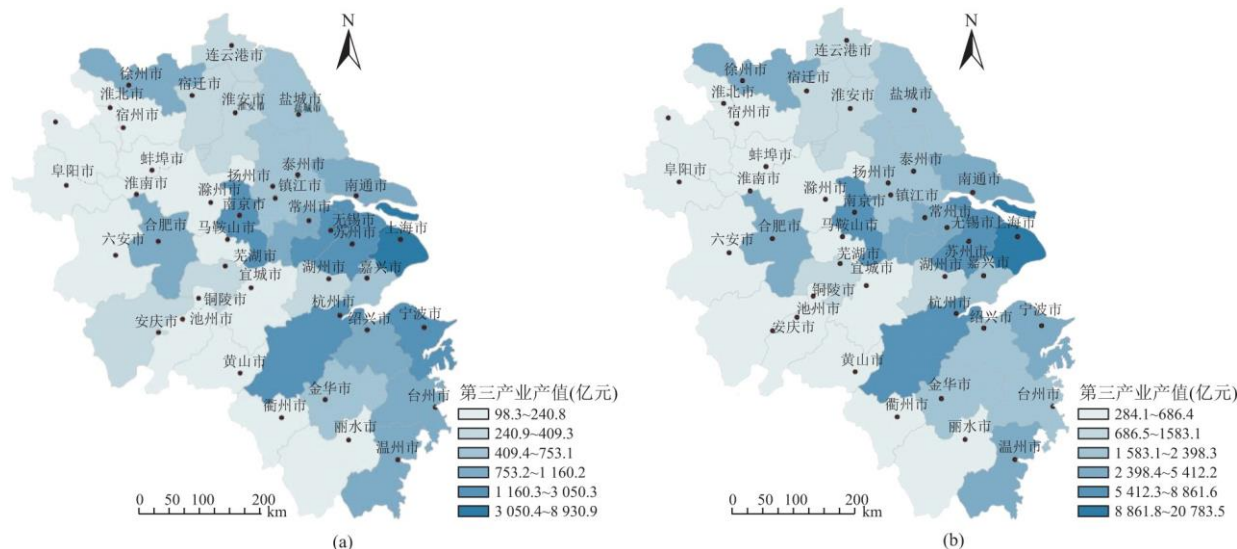


图 9 2009 (a) 和 2017 年 (b) 长三角地区第三产业产值分布

4 结论与讨论

本研究聚焦于高速铁路网络时空演化格局测度及其对区域经济发展影响这一科学问题,以长三角地区被纳入铁路网的 40 个地级及以上城市为研究对象,展开实证研究。通过对比分析 2009 年和 2018 年长三角各城市基于铁路网络客流的点强度和城际联系强度的变化,基于改进生产函数模型控制相关变量,揭示了近十年间高速铁路的快速发展对长三角地区空间格局及经济发展的影响。并得出以下结论:

(1) 近 10 年间高铁的快速发展提升了长三角地区基于铁路客流的城市点强度,使得区域间城际联系更为密切,促进了长三角区域一体化发展。40 个城市的平均最短时间可达性均值由 2009 年的 7.17h 缩短到 2018 年的 4.60h,年均减少 0.257h;网络连通性均值由 2009 年的 615.5 增加到 2018 年的 1055.4,接近提高一倍。

(2) 近 10 年间高铁的快速发展对长三角各城市的点强度及城际联系强度的影响有明显的区域差异,且城市间可达性和连通性的变化模式截然不同,位于长三角边缘地区的城市可达性提升最大,而发展水平高的城市连通性改善最大,表现出明显的“马太效应”。南京、上海、苏州、杭州这四个城市在近 10 年间的点强度提升最大,而宣城、阜阳、亳州、连云港等城市随着高铁发展点强度反而变小,因此强的中心城市越来越强,弱的边缘城市越来越弱,差距越来越大。此外,沪宁线上的 5 个城市不仅在 2009 和 2018 年时客运联系最密切,在近 10 年间提升幅度也最大,高铁干线节点城市间的客运联系越来越密切,周边非节点城市逐渐被边缘化,客运联系越来越薄弱。

(3) 2009 和 2018 年基于铁路客流的城市点强度分布格局都不均衡,且 2018 年变得更加不均衡。相比 2009 年,2018 年基于铁路客流的点强度高值聚集区显著变小,与边缘低值塌陷区的差距更为明显,并且城市点强度分布不均衡主要是由于强度大的极端节点(中心城市)较多造成的。

(4) 高铁网络扩张带来的可达性改善影响着第二产业和第三产业的发展,且对第三产业的影响更大,第三产业有着 99%的置信水平,表现出显著相关性。同时网络连通性和城市点强度对长三角经济发展和产业结构调整的影响模式也与时间可达性相似。即高速铁路的快速发展将对获益城市的商业和服务业经济带来更多的益处,但同时会使得区域 GDP 分布和第三产业产值分布更为极化且不均衡。

(5) 在所有的生产函数中, 固定资产投资对经济发展和产业结构调整具有重要的积极影响, 且近 10 年来我国经济发展的主要驱动因素是大量固定资产投资, 而高铁建设又是政府投资的重要内容, 因而高铁网络演化的影响并不局限于交通可达性和联系度的变化, 它还包含于固定资产投资来促进经济发展。

本文研究了高速铁路网络时空演化格局的测度及其对区域经济的影响, 具有一定的理论和实践意义, 对开展相关研究及制定高铁建设规划和区域一体化政策具有重要的参考价值。同时本研究还存在一些不足之处, 如在用铁路客流测度铁路交通网络变化时, 没有考虑城市内部交通的改善。此外关于高铁网络影响只是构建了一个相对简单的生产函数模型, 而铁路网络扩张对经济发展的影响极其复杂, 其中各种因素的相互作用仍待进一步阐释清楚。因此, 未来仍需完善模型变量及其表征参数, 通过不断的深入研究使结果更加科学、更具指导意义。

参考文献:

- [1] ALLEN W B. Value capture in transit[J]. Journal of the Transportation Research Forum, 1987, 28(1): 24-27.
- [2] 顾朝林, 甄峰, 张京祥. 集聚与扩散: 城市空间结构新论[M]. 南京: 东南大学出版社, 2001: 22-29.
- [3] 王缉宪, 林辰辉. 高速铁路对城市空间演变的影响: 基于中国特征的分析思路[J]. 国际城市规划, 2011, 26(1): 16-23.
- [4] 冯长春, 丰学兵, 刘思君. 高速铁路对中国省际可达性的影响[J]. 地理科学进展, 2013, 32(8): 1187-1194.
- [5] 侯雪, 刘苏, 张文新, 等. 高铁影响下的京津城际出行行为研究[J]. 经济地理, 2011, 31(9): 1573-1579.
- [6] 刘继广, 沈志群. 高铁经济: 城市转型的新动力[J]. 广东社会科学, 2011(3): 20-26.
- [7] 吴康, 方创琳, 赵渺希, 等. 京津城际高速铁路影响下的跨城流动空间特征[J]. 地理学报, 2013, 68(2): 159-174.
- [8] 王姣娥, 焦敬娟, 金凤君. 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, 2014, 69(12): 1833-1846.
- [9] 金凤君, 焦敬娟, 齐元静. 东亚高速铁路网络的发展演化与地理效应评价[J]. 地理学报, 2016, 71(4): 576-590.
- [10] MASSON S, PETIOT R. Can the high speed rail reinforce tourism attractiveness? The case of the high speed rail between Perpignan (France) and Barcelona (Spain) [J]. Technovation, 2009, 29(9): 611-617.
- [11] 李阿萌, 肖翔. 高速铁路对长三角地区城市经济联系格局的影响[J]. 现代城市研究, 2014. (9): 110-116.
- [12] 林上, 冯雷. 日本高速铁路建设及其社会经济影响[J]. 城市与区域规划研究, 2011, 4(3): 132-156.
- [13] 汪德根, 陈田, 陆林, 等. 区域旅游流空间结构的高铁效应及机理——以中国京沪高铁为例[J]. 地理学报, 2015, 70(2): 214-233.
- [14] 王昊, 龙慧. 试论高速铁路网建设对城镇群空间结构的影响[J]. 城市规划, 2009, 33(4): 41-44.
- [15] GUTIERREZ J, GONZIAEZ R, GABRIEL G. The European high-speed train network: Predicted effects on accessibility

patterns[J]. Journal of Transport Geography, 1996, 4(4):227-238.

[16]HOLL A. Twenty years of accessibility improvements: The case of the Spanish motorway building programme[J]. Journal of Transport Geography, 2007, 15(4):286-297.

[17] PRESTON J M , WALL G T , LARBIE A . The impact of high speed trains on socio-economic activity: The case of Ashford(Kent) [C]. 4th Annual Conference on Railroad Industry Structure. 2006.

[18]贺剑锋. 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, 2011, 26(6):55-62.

[19]王姣娥, 丁金学. 高速铁路对中国城市空间结构的影响研究[J]. 国际城市规划, 2011, 26(6):49-54.

[20]URENA J M, MENERAULT P, GARMENDIA M. The highspeed rail challenge for big intermediate cities: A national, regional and local perspective[J]. Urban Planning International, 2009, 26(5):266-279.

[21]CHEN C L, VICKERMAN R. Can transport infrastructure change regions' economic fortunes? Some evidence from Europe and China[J]. Regional Studies: The Journal of the Regional Studies Association, 2017, 51:1-17.

[22]黄晓燕, 曹小曙, 李涛. 海南省区域交通优势度与经济发展关系[J]. 地理研究, 2011, 30(6):985-999.

[23]王成金, 丁金学, 杨威. 中国高速公路规划网的空间效应与政策机制[J]. 地理学报, 2011, 66(8):1076-1088.

[24]朱兵, 张小雷, 桂东伟, 等. 新疆城镇发展与交通可达性相互影响[J]. 地理科学进展, 2010, 29(10):1239-1248.

[25]王振波, 徐建刚, 朱传耿, 等. 中国县域可达性区域划分及其与人口分布的关系[J]. 地理学报, 2010, 65(4):416-426.

[26]GIVONI M. The development and impact of the modern High Speed Train[J]. Transport Reviews, 2014, 26(5):593-612.

[27]KOTAVAARA O, ANTIKAINEN H, RUSANEN J. Population change and accessibility by road and rail networks: GIS and statistical approach to Finland 1970- 2007[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(4):0-935.

[28]汪建丰, 李志刚. 沪杭高铁对沿线区域经济发展影响的实证分析[J]. 经济问题探索, 2014(9):74-77.

[29]王丽, 曹有挥, 仇方道. 高铁开通前后站区产业空间格局变动及驱动机制——以沪宁城际南京站为例[J]. 地理科学, 2017, 37(1):19-27.

[30]洪世键, 姚超. 高速铁路站点与城市空间演化:述评与反思[J]. 国际城市规划, 2016, 31(2):84-89.

[31]YUAN F, GAO J L, WANG L, et al. Co-location of manufacturing and producer services in Nanjing, China[J]. Cities, 2017, 63: 81-91.

[32] WANG L, YUAN F, DUAN X J. How high-speed rail service development influenced commercial land market dynamics:

A case study of Jiangsu province, China[J]. Journal of Transport Geography, 2018, 72: 248-257.