

高速交通网络在区域要素流动中的基础支撑作用验证*——以浙江省为例

Validation of the Basic Supporting Role of High-speed Traffic Network in Regional Factor Flow: A Case Study of Zhejiang Province

丁亮 徐志乾 章俊岫 李星月 DING Liang, XU Zhiqian, ZHANG Junshen, LI Xingyue

摘要 Castells提出“流动空间”存在多个层次,交通基础设施是流动空间形成的载体。但现有研究很少关注要素流动背后的基础设施能否提供充分支撑。构建高速交通网络—企业关联网络、高速交通网络—跨城出行网络的拟合模型,从中心度和联系度两方面验证了高速交通网络对区域资本和人的流动的基础支撑作用。得到以下结论:(1) 非物质性的资本流动仍然受交通设施互联互通的影响,只是影响弱于物质性的人的流动,随着交通条件改善,城市之间的资本联系能相应增强,城市集聚资本的能力会显著增强。(2) 高等级城市杭州无论是对资本还是人流的吸引辐射力都突破了高速交通条件限制,带动周边的嘉兴、湖州、绍兴等城市形成超越全省平均交通条件所对应的资本、人流联系规模。以期能对分析各类要素流动与基础设施的关系、识别不匹配的网络、优化区域基础设施建设有所裨益。

Abstract Castells proposed that "flow space" has multiple layers, and transportation infrastructure is the carrier of flow space formation. However, few studies have focused on whether the infrastructure behind factor flow can provide sufficient support. In this paper, the basic supporting role of high-speed traffic networks in regional factor flow is examined by constructing fitting models of the high-speed traffic network and enterprise association network, and high-speed traffic network and inter-city trip network from two aspects of centrality and connection degree. The conclusions are as follows. Firstly, the immaterial capital flows are still affected by the connectivity of transport facilities, but less than the human flows. With the improvement of transport conditions, the capital links between cities can be enhanced correspondingly, and the ability of cities to gather capital will be significantly enhanced. Secondly, the attraction and radiation power of high-grade cities in terms of both people and capital flows are far beyond the high-speed traffic condition, and drive the neighboring cities such as Jiaxing, Shaoxing, and Huzhou to form a scale of capital and human flow connection that exceeds the average traffic conditions of the whole province. We hope this paper will help analyze the relationship between factor flow and infrastructure, identifying mismatched networks and optimizing regional infrastructure construction.

关键词 流动空间;城市网络;高速交通网络;基础设施;浙江省

Key words flow space; urban network; high-speed traffic network; infrastructure; Zhejiang Province

文章编号 1673-8985 (2022) 05-0019-06 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20220504

作者简介

丁亮

浙江工业大学设计与建筑学院

副教授,硕士生导师, DL861103@126.com

徐志乾

浙江工业大学设计与建筑学院

硕士研究生

章俊岫

浙江大学城乡规划设计研究院有限公司

工程师,硕士

李星月

浙江省城乡规划设计研究院有限公司

高级工程师,硕士

0 引言

“加强基础设施互联互通,促进要素自由流动”已成为我国“十四五”时期区域发展的战略导向。根据“流动空间”理论,在全球化背景下,信息、资本、技术和人力资源等要素可以通过“流”的形式超越场所空间的“邻近”,拉近城市之间的距离^{[1], [2]766, [3]44}。随着Taylor发起的GaWC(全球化与世界级城市研

究小组)研究引入国内,基于“流动空间”理论的城市网络研究已成为区域研究的热点,涌现出大量研究成果,例如用高铁班次数据研究客流网络^{[2]758, [4]}、用物流线路数据研究货运网络^[5-6]、用人流联系数据研究跨城出行网络^[7-8]、用企业总部分支机构数据研究企业关联网络^[9-10]。根据“流动空间”理论,各类“流”存在层次关系,基础设施是流动空间形成的载体,全球

*基金项目:国家自然科学基金项目(编号51808495)资助。

城市 (global cities) 是在基础设施的全球连接 (global reach) 的基础上形成的^{[11]234}。但现有研究很少关注要素流动背后的基础设施是否能提供充分支撑。分析各类网络与基础设施互联互通的关系,识别不匹配的网络,对优化区域基础设施建设具有重要意义。本文重点关注交通基础设施,验证由高速交通互联互通构建的高速交通网络对城市网络中常见的企业关联网络 (由资本流动形成) 和跨城出行网络 (由人的流动形成) 的支撑作用。

1 相关研究进展

1.1 关于“流”数据的讨论

“流”数据是城市网络研究的基础数据,但研究中很难获取真实数据,大部分情况下采取模拟或替代的方法获取^{[12]2195-2196}。模拟方法一般基于联系量与规模呈正比、与距离呈反比的规律 (引力模型) 做计算,人口数据对应于模拟人流^[13]、GDP数据对应于模拟经济流^[14],只要有相应的静态规模数据,使用模拟方法都能将其转换为“流”数据。替代方法是指用其他近似数据替代无法观测或获取的数据,如用高铁或航空班次而非实际乘客数替代客流^{[12]2199-2206},用企业总部分支机构的关联替代资金流^[15]。

模拟方法与替代方法有本质区别。替代方法虽然也无法代表被替代数据的实测值,但数据本身是真实的。而模拟方法得到的数据只是一种“最大可能”,是研究假设了模拟结果能代表真实情况,实际情况无从验证。但并不是说模拟数据的研究价值不如真实数据,有时研究就需要模拟这种“最大可能”性,如计算设施承载力,获取理想、理论极限值。

1.2 城市网络的相关性研究

在全球城市网络中,城市之间的联系仍要依赖基础设施互联互通,尤其是交通设施^{[11]234}。即便交通对非物质性的经济、信息联系的影响相对较弱,但对人流、物流等联系仍有较强影响^[16],特别是交通革命带来了时空压缩效应,要素的全球流动才成为可能^[17]。

Taylor等^{[11]240}曾使用最小二乘法验证了城

市在航空客流网络和企业关联网络中的中心度有较强相关性,依据标准残差找出客流与城市层级 (企业关联表征) 不相符的城市。Lao等^{[18]48}使用相同方法验证了中国城市在航空客流网络和经济网络中的中心度也具有强相关。张艺帅等^{[19]15-17}的研究进一步证明了城市的网络中心度仍然受到基于公路交通的地域邻近的影响。但上述研究还有以下3个方面未涉及。

首先,研究目的并非为了验证流动空间的层次关系。如Taylor^{[11]246}的研究虽然依据流动空间存在基础设施、对基础设施的利用两个层次的理论假设,研究数据、结论并未回应这一假设,而是认为之所以航空客流网络和企业关联网络存在差异,是因为存在多重全球化,城市在不同的全球城市网络中承担了不同职能。Lao^{[18]44}的研究目的则更加明确,就是比较航空客流网络和经济网络两个不同视角的城市网络。

其次,交通联系的量化有待商榷。客流与交通联系是两个不同的概念,无论是真实的客流还是用班次替代的客流都是在交通联系基础上形成的,而非交通联系本身。交通网络是各类城市网络的载体,为要素流动提供支撑,真实客流数据受上座率影响反而无法表征这种承载力。而且在现实中,城市之间交通联系的紧密程度不仅受交通工具班次的影响,通行时间 (距离) 也是重要的影响因素,即存在交通工具运载量越大、通行时间 (距离) 越短,联系越紧密的可能性就越高的特征。因此,交通联系的量化应同时考虑这两个参数,引力模型恰好能模拟这种承载力。

最后是相关性检验。城市网络不仅包括作为节点的城市,还包括城市之间的联系,两个网络的相关性检验除了检验中心度的相关性外,还要考虑联系度的一致性。这在以往研究中未曾涉及。

2 数据与方法

2.1 研究案例

根据流动空间理论,基础设施是流动空间形成的基础。这其中交通基础设施对要素的流

动至关重要。据此,本文分别选取城市网络中常见的企业关联网络与跨城出行网络,检验其与高速交通网络的关系。前者是表征城市之间非物质性的资本联系的典型^{[20]28-29, [21]},后者是表征城市之间物质性的人流联系的典型^[22],可以比较全面地反映高速交通网络对物质和非物质要素流动的支撑作用。

浙江省位于我国东部沿海,长三角城市群南翼,是我国经济最发达的省份之一,交通建设强省。浙江省有11个地级市,省会城市杭州经济最发达,2020年GDP为1 610.8亿元、常住人口为1 194万人,分别占全省GDP总量的24.9%和常住人口总数的18.5%,GDP是第二位城市宁波的1.3倍,常住人口是第二位城市温州的1.2倍,均遥遥领先。浙江省经济发展水平相对较高,城市之间非物质性与物质性的要素流动差异更具可比性。浙江省高速交通网络建设较完善,但受自然地理 (东北平原、中部丘陵、西南山地) 的影响,南北差异较显著,各类要素流动的特征可能会更明显,更利于差异比较。

2.2 研究数据

(1) 高速交通网络

根据上文对交通联系量化的讨论,交通网络应是指在现有交通条件下,由城市之间交通联系的承载力形成的网络。交通工具的运载量越大、通行时间 (距离) 越短,联系就越紧密。基于这一界定,为避免疫情对交通运载量的影响,笔者选取2019年高速公路和高铁这两种交通方式测算城市间的高速交通联系 (据《2020年浙江省统计年鉴》,2020年这两种交通方式占出行人次的92%;为简化研究,普通铁路、航空、水路等出行暂不考虑)。

计算高速公路的交通联系,需要各城市的民用汽车保有量和通行时间数据。民用汽车保有量数据从浙江省各地市统计年鉴中获取。通行时间数据利用高德地图API接口,计算各城市人民政府所在地两两之间的行车时间得到。计算高铁的交通联系需要各城市的高铁班次总数和平均通行时间。高铁是指高铁、动车、城际

列车3种类型,数据于2021年4月从12306网站上采集。计算平均通行时间时,考虑出发地、目的地分别与高铁站之间的出行时间约30 min,共增加60 min。由于上述数据量纲不同,为了具有可比性,使用MaxAbs法做标准化处理。MaxAbs标准化方法适用无异常值、需要保持分布结构的数据,契合本文对数据标准化的要求。

城市网络包括节点和边两类要素,通常以联系度表征节点之间的联系量,以中心度表征节点的吸引和辐射力。高速交通网络的联系度和中心度计算公式如下:

$$V_{JTij} = k_R \frac{R_i R_j}{t_{Rij}^2} + k_G \frac{G_i G_j}{t_{Gij}^2} \quad (1)$$

$$N_{JTi} = \sum_{j=1}^{n-1} V_{JTij} \quad (2)$$

式中: V_{JTij} 为城市*i*和城市*j*之间的高速交通网络联系度, N_{JTi} 为城市*i*的高速交通网络中心度。 k_R 、 k_G 分别为高速公路联系度和高铁联系度的权重。根据《2020年浙江省统计年鉴》中浙江省这两种交通方式的客运量比例, $k_R=0.75$, $k_G=0.25$ 。 R_i 为城市*i*的民用汽车保有量, R_j 为城市*j*的民用汽车保有量, t_{Rij} 为城市*i*和城市*j*之间的高速公路(包括上高速前的城市道路)行车最短时间。 G_i 为出行至城市*i*的高铁班次总数, G_j 为出行至城市*j*的高铁班次总数, t_{Gij} 为城市*i*和城市*j*之间的高铁平均时间。 n 为城市的数量。

(2) 企业关联网络

企业关联网络最初是指依据企业总部和分支机构的关联构建的城市之间的关联网络。Taylor^[23]提出城市之间的经济联系是城市网络的本质。城市作为资本的支点是企业的集聚地,而城市内的企业则是城市网络的作用者,可以通过汇总城市之间的企业关联,识别和解析城市网络^{[3]45, [24]26, [25]}。全球城市网络研究往往使用高端生产性服务业主要跨国公司的总部分支机构关联数据计算网络关联^[26]。此后,在国家和地区层面应用中将关联拓展为全部企业关联^{[19]11, [20]30, [24]26}、上市公司投资^{[21]89}。也有研究者提出全部企业的关联数据仍然缺少关联的权重,且只有总部分支

关系才建立关联,与实际不符;上市公司的投资数据缺少非上市公司的投资^[27]。本文将使用全部企业的投资数据构建企业关联网络,可以解决上述数据问题。数据于2021年4月从天眼查网站(<https://www.tianyancha.com>)获取,为续存的浙江省企业对省内企业两两之间的投资额,每条投资单独记录,按城市汇总投资额。企业关联网络的联系度和中心度计算公式如下:

$$V_{QYij} = I_{ij} + I_{ji} \quad (3)$$

$$N_{QYi} = \sum_{j=1}^{n-1} V_{QYij} \quad (4)$$

式中: V_{QYij} 为城市*i*和城市*j*之间的企业关联网络联系度, N_{QYi} 为城市*i*的企业关联网络中心度。 I_{ij} 、 I_{ji} 分别为城市*i*对城市*j*的投资额和城市*j*对城市*i*的投资额。 n 为城市的数量。

(3) 跨城出行网络

跨城出行网络是指由跨越城市的人的出行构建的网络。研究中常用的高铁客流、航空客流都属于跨城出行,但采样有偏差。本文将使用大样本、全目的,基于百度系APP后台定位数据识别的出行联系构建跨城出行网络。数据于2020年10月从百度迁徙网站(<https://qianxi.baidu.com>)获取,为普通工作日和周末城市两两之间的日均跨城出行量(虽然网站只提供出行量相对值,但仍然可以做横向比较)。跨城出行网络的联系度和中心度计算公式如下:

$$V_{CXij} = T_{ij} + T_{ji} \quad (5)$$

$$N_{CXi} = \sum_{j=1}^{n-1} V_{CXij} \quad (6)$$

式中: V_{CXij} 为城市*i*和城市*j*之间的跨城出行网络联系度, N_{CXi} 为城市*i*的跨城出行网络中心度。 T_{ij} 、 T_{ji} 分别为城市*i*至城市*j*的出行量和城市*j*至城市*i*的出行量。 n 为城市的数量。

(4) 数据标准化

为了便于比较分析且不改变数据分布结构,以MaxAbs法做标准化处理,将最大的联系度、中心度转换为1,其他数值以最大值的百分比进行标准化处理。

$$V_{Sij} = \frac{V_{ij}}{V_{max}} \quad (7)$$

$$N_{Si} = \frac{N_i}{N_{max}} \quad (8)$$

式中: V_{Sij} 为城市*i*和城市*j*标准化后的联系度, V_{ij} 为城市*i*和城市*j*的联系度, V_{max} 为网络中最大的联系度。 N_{Si} 为城市*i*标准化后的中心度, N_i 为城市*i*的中心度, N_{max} 为网络中最大的中心度。经处理后得到研究的基础数据(见表1-表2)。

2.3 分析方法

检验两组数据的相关性,一般使用曲线拟合的方法。相比于最小二乘法,曲线拟合不预设拟合函数,拟合函数一般为线性函数、指数函数、对数函数和幂函数,逐一拟合直到相关系数最大。

以高速交通网络联系度为自变量,分别以企业关联网络联系度、跨城出行网络联系度为因变量,逐一拟合联系度曲线;以高速交通网络中心度为自变量,分别以企业关联网络中心度、跨城出行网络中心度为因变量,逐一拟合中心度曲线。这一过程用Excel就可以实现,并且能自动生成拟合曲线的公式及相关系数。

研究还要特别关注偏离拟合曲线的异常值(标准残差大于1.65或小于-1.65),意味着城市或城市之间的企业关联或跨城出行在10%显著性水平下远远高于或低于现有高速交通条件下城市之间应有的联系。标准残差根据以下公式计算:

$$\delta_i^* = \frac{\delta_i}{\sigma_\delta} \quad (9)$$

式中: δ_i^* 为城市*i*或网络中第*i*个连线的标准残差, δ_i 为城市*i*或网络中第*i*个连线的残差(将自变量代入拟合曲线中得到的结果减去自变量), σ_δ 为残差的标准差。上述计算可在Excel中实现。

3 分析结果

3.1 网络特征

使用表1、表2的数据,在ArcGIS10.7平台上生成高速交通网络、企业关联网络和跨城出行网络(见图1)。3个网络呈现以下共同特征:一是

表1 联系度

Tab.1 Connection degree

城市 1	城市 2	高速交通网络	企业关联网络	跨城出行网络
杭州市	嘉兴市	0.60	0.57	1.00
杭州市	绍兴市	1.00	0.56	0.88
杭州市	湖州市	0.34	0.49	0.63
...

资料来源:笔者自制。

表2 中心度

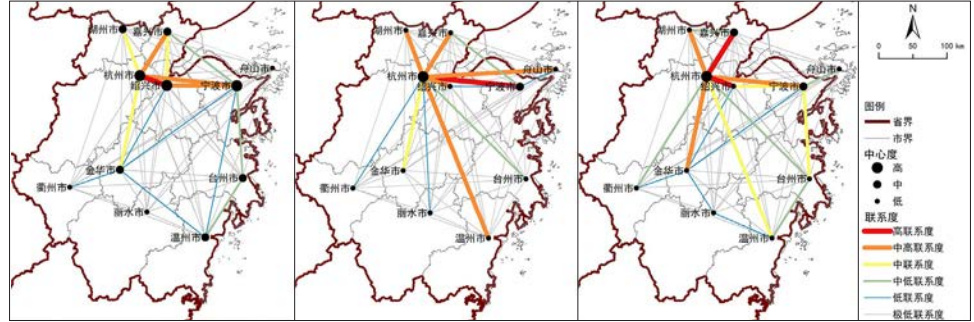
Tab.2 Centrality

城市	高速交通网络	企业关联网络	跨城出行网络
杭州市	1.00	1.00	1.00
湖州市	0.15	0.24	0.26
嘉兴市	0.23	0.36	0.50
...

资料来源:笔者自制。

联系度南北差异显著,浙北地区联系度大、浙南地区联系度小,且均以杭州为核心向外吸引、辐射;二是中心度南北差异显著,浙北城市中心度高、浙南城市中心度低,中心度以杭州为核心向外递减。总体上,3个网络比较接近。

但三者也存在差异:高速交通网络联系度高的地区仅集中在杭州湾沿线,以杭州为核心联系嘉兴、绍兴和宁波,而企业关联网络和跨城出行网络联系度高的地区能向外延伸至更远的金华、温州和湖州。



a 高速交通网络

b 企业关联网络

c 跨城出行网络

注:联系度小于平均值的标注为极低联系度,大于平均值的按自然间断点法分为5个等级。

图1 联系网络

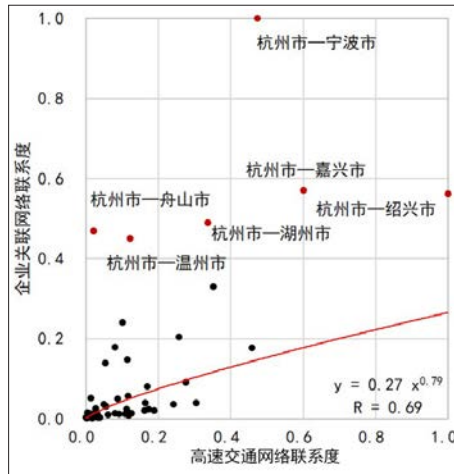
Fig.1 Connection networks

资料来源:笔者自制。

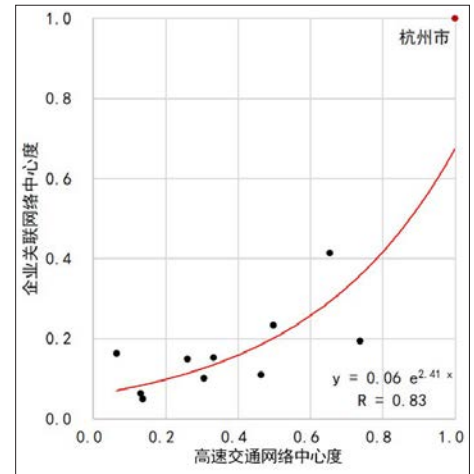
3.2 高速交通网络与企业关联网络的相关性检验

将高速交通网络与企业关联网络的联系度与中心度分别做曲线拟合(见图2)。联系度的拟合曲线为幂函数,在1%显著性水平下,各城市之间的高速交通网络联系度和企业关联网络联系度呈显著正相关(相关系数0.69),且随着高速交通网络联系度增加,企业关联网络联系度增幅趋缓。表明现阶段在浙江省,随着交通条件的改善,城市之间的资本联系能相应增强,但边际效应递减。10%显著性水平下,杭州与宁波(标准残差5.24)、舟山(标准残差2.80)、温州(标准残差2.45)、嘉兴(标准残差2.41)、湖州(标准残差2.31)及绍兴(标准残差1.82)之间的企业关联网络联系度标准残差偏高。尤其是杭州与宁波、舟山,联系度的标准残差显著性水平高达1%(见图2a)。表明杭州与南太湖—杭州湾沿线城市之间的资本联系,以及杭州与宁波、温州两大都市区核心城市之间的资本联系已远超全省平均交通条件所能给予的支撑(见图3)。

中心度的拟合曲线为指数函数,在1%显著性水平下各城市的高速交通网络和企业关联网络中心度呈显著正相关(相关系数0.84),且随着高速



a 联系度



b 中心度

图2 高速交通网络—企业关联网络曲线拟合

Fig.2 Curve fitting of high-speed traffic network and enterprise association network

资料来源:笔者自制。

交通网络中心度增加,企业关联网络中心度增幅加大。表明现阶段在浙江省,随着交通条件的改善,城市集聚资本的能力会显著增强,且边际效应仍处在递增阶段。1%显著性水平下,杭州的企业关联网络中心度标准残差(2.71)偏高(见图2b)。表明杭州对全省资本流动的影响力远超全省平均交通条件对其经济地位的支撑。这与杭州经济发展水平

远超省内其他城市、一枝独秀的特征相吻合。

3.3 高速交通网络与跨城出行网络的相关性检验

高速交通网络与跨城出行网络的联系度与中心度分别做曲线拟合(见图4)。联系度的拟合曲线为幂函数,在1%显著性水平下,各城市之

间的高速交通网络联系度和跨城出行网络联系度呈显著正相关（相关系数0.92），且随着高速交通网络联系度增加，跨城出行网络联系度增幅趋缓。表明现阶段在浙江省，随着交通条件的改善，城市之间的人流联系能相应增强，但边际效应递减。10%显著性水平下，杭州与嘉兴（标准残差5.28）、湖州（标准残差3.43）、金华（标准残差2.06）及绍兴（标准残差1.78）之间的跨城出行网络联系度标准残差偏高。尤其是杭州与嘉兴、湖州，联系度的标准残差显著性水平高达1%（见图4a）。表明杭州与其大都市区辐射范围内的嘉兴、湖州、绍兴及G60通道上的金华之间的人流联系远超全省平均交通条件所能给予的支撑（见图5）。

中心度的拟合曲线为幂函数，在1%显著性水平下各城市的高速交通网络和跨城出行网络中心度呈显著正相关（相关系数0.96），且随着高速交通网络中心度增加，跨城出行网络中心度增幅趋缓。表明现阶段在浙江省，随着交通条件的改善，城市对人流的吸引辐射力不会无限增强，已进入边际效应递减的阶段。1%显著性水平下，杭州的跨城出行网络中心度标准残差（3.13）偏高（见图4b）。表明杭州对全省人流的吸引辐射力远超全省平均交通条件对其人流集散能力的支撑。

相比而言，无论是从联系度还是中心度来看，高速交通网络与跨城出行网络的相关性更高。这与人的流动比资本流动更加依赖于交通设施的互联互通的现实情况一致。

4 结论和讨论

4.1 结论

在交通革命引起时空压缩效应的背景下，要素流动比以往更加自由。但无论是非物质还是物质的要素流动，交通设施互联互通仍然是要素流动的重要前提。本文构建高速交通网络—企业关联网络、高速交通网络—跨城出行网络的拟合模型，验证了高速交通网络在区域要素流动中的基础支撑作用。研究发现，虽然基础设施互联互通对非物质性的资本流动影响较弱，但总体上影响仍然存在。随着交通条件的改善，城市之间的资

本联系能力相应增强，城市集聚资本的能力会显著增强；高等级城市杭州无论是对资本还是人流的吸引辐射力都突破了高速交通条件的限制，带动周边的嘉兴、湖州、绍兴等城市形成超越全省平均交通条件所对应的资本、人流联系的规模。

4.2 讨论

本文区别于以往研究的特点在于不只是对不同视角的城市网络做了相关性分析，而且验证了Castells有关流动空间理论中的载体与现象的关系。根据“基础设施是流动空间形成的基础”这一理论假说，使用模拟方法计算在现有交通条

件下城市之间联系的最大可能性，分别验证高速交通网络与实测的跨城出行网络、企业关联网络之间是否匹配。

研究发现，浙江省东北沿海地区的城市对资本和人的吸引辐射力能够突破高速交通条件的限制，虽然杭州在其中发挥了主要影响，但这也与西南山区城市受制于交通不便的自然地理条件、阻碍了资本和人的自由流动不无关系。

本文虽然证明了高速交通网络分别与跨城出行网络、企业关联网络有较强的相关性，但并不能证明交通基础设施互联互通与城市之间的资本联系和人流联系存在因果关系。便捷的交通联系确

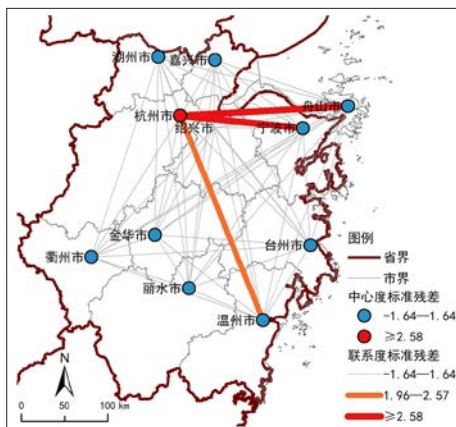


图3 高速交通网络—企业关联网络标准残差
Fig.3 Standard residuals of high-speed traffic network and enterprise association network

资料来源：笔者自绘。

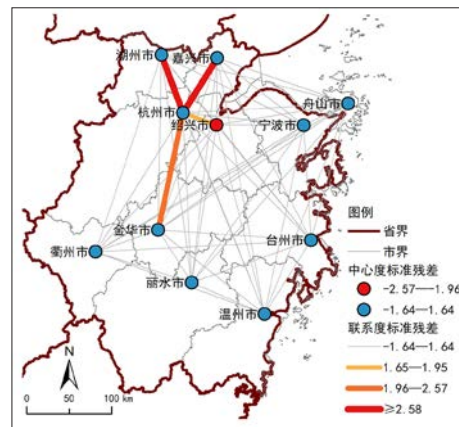
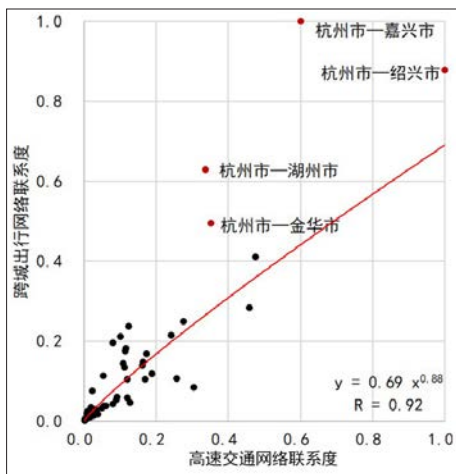


图5 高速交通网络—跨城出行网络标准残差
Fig.5 Standard residuals of high-speed traffic network and inter-city trip network

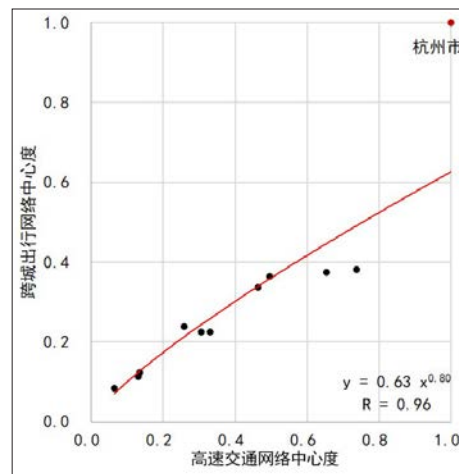
资料来源：笔者自绘。



a 联系度

图4 高速交通网络—跨城出行网络曲线拟合

Fig.4 Curve fitting of high-speed traffic network and inter-city trip network



b 中心度

资料来源：笔者自绘。

实能为居民跨城出行带来便利进而促进更大规模的跨城人员流动,方便了面对面的交流从而加强城市之间的投资。但反过来,交通基础设施建设是一项耗资巨大的工程,线路和站点布局必然会考虑城市之间的联系基础和潜力,高速交通联系不便但联系远远超出有高速交通网络承载力的城市一般会得到优先建设。本文的研究结论希望能为优化浙江省交通基础设施布局提供参考。新的高速、高铁选线优先考虑资本和人流联系远远超出有高速交通网络支撑的线路,为满足资本、人的流动需要,杭州与宁波、舟山、温州、湖州、嘉兴、金华、绍兴的高速公路、高铁联系都有待进一步加强。但也要考虑统筹协调,向发展滞后的地区适当倾斜,避免资源全部投向基础好的地区,导致强者更强、弱者更弱的“马太效应”。特别是衢州、丽水需要加强与杭州的交通联系,促进与高等级城市之间的要素自由流动,加快融入区域城市网络。

参考文献 References

- [1] CASTELLS M. The rise of the network society[M]. Oxford: Blackwell, 2009.
- [2] 黄洁,钟业喜,李建新,等.基于高铁网络的中国省会城市经济可达性[J].地理研究,2016,35(4):757-769.
HUANG Jie, ZHONG Yexi, LI Jianxin, et al. Economic accessibility of provincial capital cities in China based on the presence of high-speed rails[J]. Geographical Research, 2016, 35(4): 757-769.
- [3] 李涛,程遥,张伊娜,等.城市网络研究的理论、方法与实践[J].城市规划学刊,2017(6):43-49.
LI Tao, CHENG Yao, ZHANG Yina, et al. Theories, methods and practice of city network analysis[J]. Urban Planning Forum, 2017(6): 43-49.
- [4] CHEN W, LIU W, KE W, et al. Understanding spatial structures and organizational patterns of city networks in China: a highway passenger flow perspective[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(4): 477-494.
- [5] LEE B J, YIM S H. An analysis of urban network in Seoul metropolitan area by interaction indices[J]. Journal of the Korean Association of Regional Geographers, 2014, 20(1): 30-48.
- [6] 聂晶鑫,刘合林.我国不同区域空间组织方式的尺度与效率研究——基于城市间物流市场网络的分析[J].城市规划,2021,45(9):70-78.
NIE Jingxin, LIU Helin. A study on the scale and efficiency of spatial organization patterns in different regions of China: analysis based on urban logistics market network[J]. City Planning Review, 2021, 45(9): 70-78.
- [7] LUO X, CHEN M. Urban network of China from the perspective of population mobility: three-dimensional co-occurrence of nodes and links[J]. Environment and Planning A: Economy and Space, 2021, 53(5): 887-889.
- [8] 王焱,钮心毅,宋小冬.基于城际出行的长三角城市群空间组织特征[J].城市规划,2021,45(11):43-53.
WANG Yao, NIU Xinyi, SONG Xiaodong. Spatial organizational characteristics of the Yangtze River Delta urban agglomeration based on intercity trips[J]. City Planning Review, 2021, 45(11): 43-53.
- [9] LIU L. Measuring the economic centrality of the Chinese urban network[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Urban Design and Planning, 2017, 170(1): 31-43.
- [10] 张艺帅,赵民.东北地区及其与京津冀地区城市网络关联研究——基于企业联系[J].城市规划,2018,42(11):41-53.
ZHANG Yishuai, ZHAO Min. Research on the intercity network between China's northeast region and Beijing-Tianjin-Hebei region: based on the data analyses of enterprise connectivity[J]. City Planning Review, 2018, 42(11): 41-53.
- [11] TAYLOR P J, DERUDDER B, WITLOX F. Comparing airline passenger destinations with global service connectivities: a worldwide empirical study of 214 cities[J]. Urban Geography, 2007, 28(3): 232-248.
- [12] NEAL Z. Refining the air traffic approach to city networks[J]. Urban Studies, 2010, 47(10): 2195-2215.
- [13] 彭芳梅.粤港澳大湾区及周边城市经济空间联系与空间结构——基于改进引力模型与社会网络分析的实证分析[J].经济地理,2017,37(12):57-64.
PENG Fangmei. Economic spatial connection and spatial structure of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay and the surrounding area cities: an empirical analysis based on improved gravity model and social network analysis[J]. Economic Geography, 2017, 37(12): 57-64.
- [14] 张荣天,焦华富.江苏省城市网络空间结构演化特征与驱动机制[J].世界地理研究,2015,24(1):68-75.
ZHANG Rongtian, JIAO Huafu. Evolution characteristics and driving mechanism of urban network spatial structure in Jiangsu Province[J]. World Regional Studies, 2015, 24(1): 68-75.
- [15] 唐子来,李海雄,张泽.长江经济带的城市关联网络识别和解析:基于相对关联度的分析方法[J].城市规划学刊,2019(1):12-19.
TANG Zilai, LI Haixiong, ZHANG Ze. Identification and interpretation of urban network of the Yangtze Development Corridor: an approach based on the relative measures of connectivity between cities[J]. Urban Planning Forum, 2019(1): 12-19.
- [16] 冯长春,谢旦杏,马学广,等.基于城际轨道交通流的珠三角城市区域功能多中心研究[J].地理科学,2014,34(6):648-655.
FENG Changchun, XIE Danxing, MA Xueguang, et al. Functional polycentricity of the urban region in the Zhujiang River Delta based on intercity rail traffic flow[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(6): 648-655.
- [17] 王士君,廉超,赵梓渝.从中心地到城市网络——中国城镇体系研究的理论转变[J].地理研究,2019,38(1):64-74.
WANG Shijun, LIAN Chao, ZHAO Ziyu. From central place to city network: a theoretical change in China's urban system study[J]. Geographical Research, 2019, 38(1): 64-74.
- [18] LAO X, ZHANG X, SHEN T, et al. Comparing China's city transportation and economic networks[J]. Cities, 2016, 53: 43-50.
- [19] 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.
ZHANG Yishuai, ZHAO Min, CHENG Yao. Research findings and planning enlightenments of China's urban system in new era: from the perspective of network connectivity and territorial contiguity[J]. City Planning Review, 2021, 45(5): 9-20.
- [20] 唐子来,李涛,李粲.中国主要城市关联网络研究[J].城市规划,2017,41(1):28-39,82.
TANG Zilai, LI Tao, LI Can. Research on the interlocking network of major cities in China[J]. City Planning Review, 2017, 41(1): 28-39, 82.
- [21] LI Z, FENG Z. Mapping urban networks through inter-firm investment linkages: the case of listed companies in Jiangsu, China[J]. Sustainability, 2019, 12(1): 89.
- [22] YANG H, DIJST M, WITTE P, et al. Comparing passenger flow and time schedule data to analyse high-speed railways and urban networks in China[J]. Urban Studies, 2019, 56(6): 1267-1287.
- [23] TAYLOR P J, DERUDDER B. World city network: a global urban analysis[M]. London: Routledge, 2004.
- [24] 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.
TANG Zilai, LI Tao. A comparative analysis of urban systems in the Yangtze Delta Region and the middle Yangtze Region: an approach of firm-based interlocking network[J]. Urban Planning Forum, 2014(2): 24-31.
- [25] DERUDDER B, TAYLOR P J, HOYLER M, et al. Measurement and interpretation of connectivity of Chinese cities in world city network, 2010[J]. Chinese Geographical Science, 2013, 23(3): 261-273.
- [26] LÜTHI S, THIERSTEIN A, HOYLER M. The world city network: evaluating top-down versus bottom-up approaches[J]. Cities, 2018, 72: 287-294.
- [27] 高鹏,何丹,宁越敏,等.长三角地区城市投资联系水平的时空动态及影响因素[J].地理研究,2021,40(10):2760-2779.
GAO Peng, HE Dan, NING Yuemin, et al. Spatio-temporal dynamics and factors of urban investment linkage level in the Yangtze River Delta[J]. Geographical Research, 2021, 40(10): 2760-2779.