

分频率关联视角下的上海—邻沪地区空间网络特征及机制研究*

The Feature and Pattern of the Nested Spatial Structure of Shanghai and Neighboring Cities from the Perspective of High and Low Frequency City Network

许 劼 王 荻 XU Jie, WANG Di

摘 要 结合跨城手机信令和人口数据,区分高频与低频城际出行,运用社会网络分析法比较不同频率关联网络的空间分布特征及上海市的空间分布异质性,通过基于重力模型的泊松回归估算解析分布模式和形成机制,并分析不同频度、不同空间层面的关联网络嵌套对邻沪地区一体化发展的影响。研究发现,高、低频关联网络嵌套重叠部分的边界效应和低频关联的蔓延加飞地特征,城际与市域关联网络叠合形成多层嵌套式空间结构;城际关联符合泊松分布模式;高、低频重叠区块具备一体化发展物质空间条件,上海市新城具有衔接作用,以期为区域一体化发展政策提供依据。

Abstract This study aims to contrast the spatial distribution of the high-frequency and low-frequency city networks using mobile signaling and census data. The mechanism is explored based on the Poisson regression. The impact of the city network on regional integration is revealed. The results show that both high and low frequency city networks are densely distributed around the administrative boundaries. Secondly, the trips conform to a Poisson distribution. The high-frequency trips are very sensitive to distance, restraining the spatial scope, whereas the low-frequency trips are supported by regional transportation facilities. Lastly, the overlaid high-frequency and low-frequency networks lay the foundation for integration development. The conclusions provide implications for the integration policies such as the Yangtze Delta Region Demonstration Area.

关键词 关联网络;高频率出行;低频率出行;上海—邻沪地区

Key words city network; high-frequency trip; low-frequency trip; Shanghai and neighboring cities

文章编号 1673-8985 (2023) 06-0137-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20230618

作者简介

许 劼

上海城建职业学院

副教授,博士

王 荻(通信作者)

上海电子信息职业技术学院

副教授,博士, diwangcn@163.com

0 引言

邻沪地区包括与上海市邻接的苏州、嘉兴、南通三市。上海作为中心城市,应加强与周边城市的分工协作,推动上海与近沪区域的联动发展^[1],打造具有全球影响力的世界级城市群^[2]以应对全球化挑战。

城市之间的分工协作由城际关联体现。依托“流空间”理论^[3],以城市关联网络^[4]为切入点,在“网络腹地”(hinterworld)^[5]的理论范式下研究中心城市的腹地空间特征,突破了空间、时间圈层划定^[6-7]或重力和潜力模型^[8-9]的理论预测。

不同频率的城际关联代表了功能差异,

高频关联包括通勤和紧密商务,前者反映了统一的劳动力市场,使区域层面的职住功能重组,是大都市区的本质所在^[10-11]。此外,其出行距离具有规律性:依托快速铁路,日本的大都市区通勤距离为20—50 km^[12],在西班牙这一尺度为100 km,其中商务活动达200 km^[13];我国的沪宁、沪杭交通廊道以上海为中心的高频跨城活动已经出现^[14]。

由于选择的关系型数据库与替代参量不同,相关研究对上海腹地范围的结论有所差异^{[15]47, [16-17], [18]15};然而,较为一致的结论是地理距离为跨城人流的主要决定因素^[19],上海市的跨城联系特别是高频人流主要集中在邻沪

*基金项目:教育部人文社科青年课题“城际高铁对上海都市圈空间和经济布局的影响和机制研究——基于公路的对比”(编号22YJCZH207)、崇明区博士后创新实践基地项目(上海林同炎李国豪土建工程咨询有限公司)“人流活动的空间分布规律和形成机制”资助。

地区^{[15]47, [20]383, [21-23]}。第二,基于人流的研究常将上海市域^{[18]10}、上海市中心城区^{[20]383, [24]1901, [25]18}或上海的高铁站点^[26]视为关联网络中的一个节点。已有研究分别分析了上海市和苏州市、嘉兴市的跨城通勤^{[27]81},发现空间分布异质性。2000—2014年上海市城市扩张的热点区域以外围郊县为主^{[28]682},它们的迅速发展是否对跨城人流有吸引力?第三,较少研究对比不同频率的跨城人流。区分频率有助于细化城际功能联系类型。最后,除了少部分基于通勤率的研究以外^{[20]383, [24]1900, [27]83},大部分研究忽视了人口规模内生性影响。

针对以上情况,本文聚焦沪地区,结合常住人口对比不同频率的城际关联特征,并定量分析其分布规律和形成机制,试图回答3个问题:上海—邻沪地区的高、低频城际关联具有什么特征?受哪些要素的影响?不同频度的关联网络如何影响上海带领周边地区一体化发展?通过对比不同频率的跨城人流、人均指标及其与市域内部的空间异质性,在中微观尺度更精细地划分城市功能地域,对邻沪地区的区域空间重组、产业分工协作、交通设施协调等一体化战略落实和政策制定具有参考作用。

1 研究范围、数据及方法

1.1 研究范围

研究范围包括上海、苏州、嘉兴、南通四市,是长三角人口分布最稠密、经济最发达的地区。研究共有151个空间单元(见图1),以街道/镇为空间单元的基本划分依据,局部地区结合河道、公路等屏障进行边界修正。空间单元的划分兼顾了出行特征和人口数量,每个空间单元一般包括2—4个街道/镇,出行方向相对一致。上海市大部分空间单元的规模为20万—50万人。

1.2 数据来源与处理

本文采用智慧足迹公司的4G手机信令数据,时间为2019年9月。对于每个用户给予一个识别号用于频率计算。每条信令的信息包括信令发生时间、信令发生时连接的手机基站

等。根据各基站所在栅格及其位置,将跨城活动的轨迹映射到地图中。数据处理步骤包括数据筛选、居住地或常住地和工作地识别、频率分类、集计计算^①。

首先,在所有的手机信令数据中筛选出跨地级市行政边界的活动。其次,识别居住地和工作地。抓取每个用户在周六晚间12时至周日凌晨5时所在的空间单元,将其识别为当日的居住地,当在一个月所有周六中,超过六成的次数与当日居住地相同,则将其识别为该用户的常住地。抓取周一至周五8:00—18:00用户所在空间单元,同时满足停留时间最长且超过90 min两个条件的空间单元为当日的工作地,若达到60%的重复率,则识别为该用户的工作地。再次,统计每个用户的出行频率,将一周进行两次(含)以上城际出行,且城际出行的起讫点相同的出行,识别为高频出行。最后,按照空间单元对(OD pair)集计所有的跨城出行。

在数据采集当月的30日内,上海市域出发与到达的高频出行联系共52.57万人次。上海市域出发与到达的低频出行联系共440.52万人次,各行政区的高、低频跨城人流按照上文所述的方法进行标准化处理。根据运营商服务的用户在该范围常住居民的占比,推算上海市域出发与到达的高频出行联系共210.28万—262.85万人次。相关研究^{[25]18}得出22个工作日内上海市中心城区(包括中心城七区、闵行、浦东、宝山的部分地区)一日往返的到达和出发总量48.32万人次。本文的测算量从30日折算到22日,为44.29万—55.37万人次,与已有研究基本相当。

1.3 研究方法 with 指标

1.3.1 社会网络分析

研究采用社会网络分析方法^[29],结合绝对和相对关联度法判断网络腹地。

(1) 绝对关联度

绝对关联度为城市网络中各节点(即空间单元)的联系强度,即双向城际出行人次的总和,也称关联度(connectivity)。

$$V_{ij} = T_{ij} + T_{ji} \quad (1)$$

式中: V_{ij} 为节点*i*和*j*的绝对关联度; T_{ij} 为节点*i*到节点*j*的城际出行人次; T_{ji} 为节点*j*到节点*i*的城际出行人次。

(2) 总关联度

总关联度即网络中每个节点与其他所有节点关联度的总和。

$$N_i = \sum V_{ij} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n, j \neq i) \quad (2)$$

式中: N_i 为总关联度。

(3) 人均总关联度

为了降低空间单元的人口基数对跨城出行量的影响,计算各空间单元总关联度的人均值。

$$NP_i = \frac{\sum V_{ij}}{P_i} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n, j \neq i) \quad (3)$$

式中: NP_i 为人均总关联度; P_i 为节点*i*的常住人口。

为了便于对比,将所有关联度、总关联度、人均总关联度中的最大值定义为100,其他关联度、总关联度、人均总关联度节点以最大值的百分比进行标准化取值。

(4) 相对关联度



图1 空间单元划分图
Fig.1 Distribution of spatial units

资料来源:笔者自绘。

注释: ① 集计计算是指按照空间单元对(OD pair)进行汇总跨城出行次数,最终得出每个空间对的跨城出行总人次。

相对关联度是判定网络腹地的方法之一^[30]。对节点*i*与其他节点*j*的绝对关联度 V_{ij} 与这些节点的总关联度 N_j 进行回归分析,根据回归分析得出的残差来判断网络腹地。通常采用标准残差为判断标准,如果标准残差大于1,则判定为网络腹地。

$$V_{ij} = a + bN_j(+R_{ij}) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

1.3.2 重力模型回归

研究基于重力模型,在相关研究^{[31][1156, [32-34]}的方法和结论基础上,采用泊松回归进行城际关联的分布模式模拟和形成机制分析。

$$\Pr[V_{ij}] = \frac{\exp(-\mu_{ij})\mu_{ij}^{RSL_{ij}}}{RSL_{ij}!} \quad (5)$$

该公式可转换为:

$$\mu_{ij} = \exp(K + \beta_1 \ln M_i + \beta_2 \ln M_j + \beta_3 \ln d_{ij}) \quad (6)$$

De Goei等^{[31][1158]}将以上公式重写为:

$$\mu_{ij} = \exp(K + \beta_3 \ln d_{ij} + \eta_i + \gamma_j) \quad (7)$$

式中: η_i 是城市网络中的节点(城市或城镇)*i*的属性, γ_j 是城市网络中节点(城市或城镇)*j*的属性。

节点规模的指标包括常住人口、GDP等。这些指标一般以区(县/县级市)及以上行政单元为统计口径,因此本文将空间单元合并为区(县/县级市),选用GDP作为规模指标。

2 上海—邻沪地区的关联网络特征

2.1 邻沪地区的上海关联比重

对比分析长三角三省一市、上海“1+8”大都市圈范围、邻沪地区的城际关联。

上海市和其他城市的关联度随着空间范围的缩减而变小,但幅度不大;而关联网络中其他城市与上海市的关联度占有所有城市关联度之和的比例显著上升(见图2)。邻沪三市与上海市的关联度达到三省40市的65%;其他城市与上海市的关联度占网络关联度总和的比例则是邻沪地区最高,达85%。在三省和“1+8”大都市圈,其他城市与上海的关联度

分别占有所有城市关联度之和的17%和25%,上海市的影响力远低于邻沪地区。邻沪三市和上海市的关联度达到这3个城市之间关联度的5.7倍,体现了上海市的引领作用,是上海市在长三角产生直接影响的主要地区。

2.2 上海—邻沪地区低频关联网络特征

低频关联沿行政边界集中和交通廊道延展,呈区块状为主、部分点状飞地的空间形态(见图3),主要分布于沪、苏、嘉的行政边界处。

人均总关联度的行政边界特征更显著,无廊道特征。两者差异的主要原因是人口规模。苏州市姑苏区等空间单元的人口规模较大,拉低了人均指标。嘉兴市平湖市新仓镇和上海市金山区廊下镇人口规模不大,人均指标较高。

总关联和人均总关联度均较高的空间单元形成3个区块和多处飞地:太仓市南部与上海市嘉定城区及以北的街道/镇、宝山区罗泾镇;昆山市花桥镇、千灯镇、陆家镇、淀山湖镇与上海市嘉定区安亭镇、黄渡镇、青浦城区、朱家角镇;吴江市黎里镇、平望镇、盛泽镇与上海市青浦区金泽镇;嘉善县姚庄镇、魏塘镇、平湖市新埭镇与上海市金山区枫泾镇、兴塔镇。飞地为上海市的重要交通枢纽。

苏州市与上海市的关联最紧密,南通市最低。3个区块中的2个位于上海—苏州交界处;在总关联度最高、较高的4个空间单元中,3个位于苏州;苏州的23个空间单元中,仅有

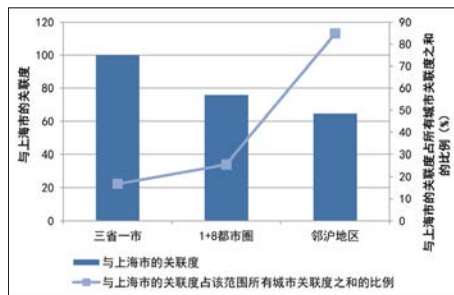


图2 长三角、“1+8”都市圈、邻沪地区的关联网络指标对比
Fig.2 Indicators of city network of the Yangtze River Delta, "1+8" mega-city region, and cities adjacent to Shanghai

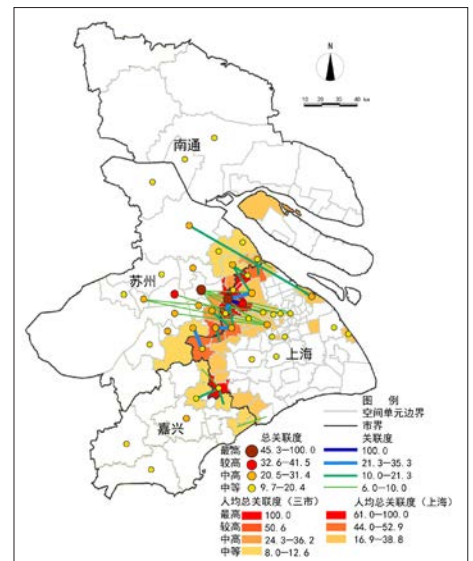
资料来源:笔者根据手机信令数据计算并绘制。

4个总关联度低于平均值。南通市是上海—邻沪城市中唯一没有总关联度中高以上空间单元的城市,在15个空间单元中,有13个总关联度最低。在关联度最高、较高、中高、中等的34个空间单元对中,上海—苏州的空间单元对有30对,上海—嘉兴的空间单元对有4对,上海和南通的关联度均未达到中等以上。

2.3 上海—邻沪地区高频关联网络特征

高频关联网络沿行政边界集中,呈以点带面的空间形态(见图4):以安亭镇和黄渡镇(上海)—花桥镇(苏州)两个空间单元为核心点,扩散至嘉定城区(上海)—安亭镇黄渡镇(上海)—花桥镇(苏州)—玉山镇(苏州)范围。

人均高频总关联度和高频总关联度的分布相对一致,前者在行政边界处更为集中。邻沪三市人均高频总关联度较高的空间单元均与行政边界相邻;上海市人均高频总关联度较高的空间单元沿着行政边界蔓延,从嘉定区、



注:使用系统聚类方法,将关联度、总关联度、人均总关联度(三市)分为5类,人均总关联度(上海)分为4类,其中关联度在中等以下的关联(OD pair),总关联度在中等以下的节点(空间单元),苏州、嘉兴、南通三市人均总关联度在中等以下的节点,以及上海市人均总关联度在中高以下等级的节点未在图中用颜色显示。

图3 上海—邻沪地区低频关联网络空间分布图
Fig.3 City network of Shanghai and neighboring cities based on low-frequency inter-city flow

资料来源:笔者自绘。

青浦区向中心城区扩展。

苏州市和上海市的高频关联最紧密，南通市最弱。苏州市的23个空间单元中60%以上的高频总关联度高于平均值。在关联度最高、较高、中高、中等的33个空间单元对中，有27对在上海—苏州产生。上海和南通的高频关联度等级均在中等以下。

2.4 上海市域的低频、高频关联网络总体特征

上海市的高频跨城活动主要布局于行政边界处的郊区，嘉定区、青浦区的高频总关联度、高频人均总关联度、高频出行的比例均较高；中心城区和浦东新区的低频出行总量大、人均小。金山区的高频、低频总关联度较低，高频、低频人均总关联度和高频出行的比例仅次于嘉定区、青浦区。中心城区的总关联度和高频出行比例仅次于嘉定区和青浦区，但是空间单元的人口规模大（达郊区的1.5—2.5倍），拉低了人均值。浦东新区位于市域最东端，跨市出行距离长，高频人均总关联度排倒数第二，高频出行比例最低。低频活动在中心城区和浦东新区的分布总量明显上升，由于人口规模大，人均值较低（见图5）。

3 关联网络的嵌套特征、形成机制与一体化影响

在邻沪层面，低频与高频网络嵌套。基于两者的对比分析和机制探究，探讨其对上海—邻沪地区一体化的影响。

3.1 不同频度关联网络的空间分布与嵌套特征

3.1.1 空间分布对比

邻沪地区的关联网络以低频为主，占跨城出行总量的89.3%。

结合上海市空间单元的高频、低频总关联度（中高以上）、人均总关联度（较高以上）、关联度（中等以上），确定中心城市的主要节点。上海市空间单元的高频、低频总关联度（中等以上）、人均总关联度（中高以上）、关联度（中等以上），确定中心城市的次要节点。综

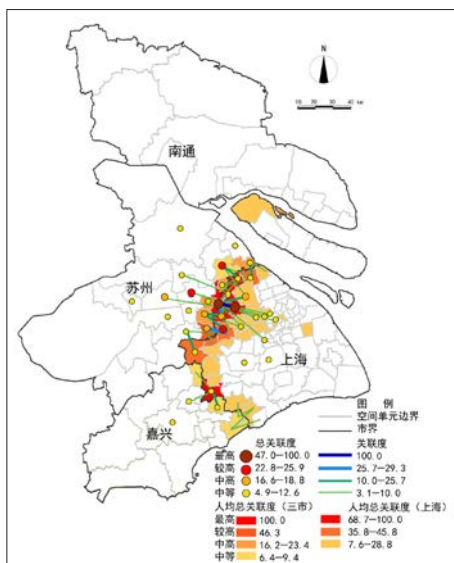
合考虑这些空间单元的高、低频绝对和相对关联度，确定网络腹地（见表1）。高、低频关联网络的重叠度较高。

3.1.2 嵌套特征

高频空间单元普遍同时存在低频关联，反之不然，因此两者嵌套形成重叠部分和低频关联的独立部分（见图6）。

两者的重叠部分形成“强边缘、弱中心”的结构和“西北密、西南疏”的分布。一方面，两者的重点区块高度重叠，在行政边界处的郊区/县的关联十分紧密，中心城区的关联较弱，重点区块紧邻行政边界连绵布局。另一方面，位于苏州市的重叠部分关联度更高，上海市的主要、次要节点和网络腹地形成“多对多”结构，网络腹地交错，初具网络特征，范围最大；上海市西南角的网络腹地稀疏，上海市的次要节点辐射其他城市多个节点的“一对多”结构，尚未成网，范围较小。

低频关联的独立部分形成空间蔓延和多点飞地的空间结构，分布范围更广。低频人均



注：使用系统聚类方法，将关联度、总关联度、人均总关联度（三市）分为5类，人均总关联度（上海）分为4类，其中关联度在中等以下的关联（OD pair），总关联度在中等以下的节点（空间单元），苏州、嘉兴、南通三市人均总关联度在中等以下的节点，以及上海市人均总关联度在中高以下等级的节点未在图中用颜色显示。

图4 上海—邻沪地区高频关联网络空间分布图
Fig.4 City network of Shanghai and neighboring cities based on high-frequency inter-city flow

资料来源：笔者自绘。

关联度较高的网络腹地从紧邻行政边界向外蔓延1—2个空间单元，低频总关联度较高的网络腹地范围扩展到苏州市常熟市、苏州市中心城区和部分郊区。蔓延部分沿沪宁走廊布局。同时，多点飞地依托对外交通设施布局。上海市重要的机场、火车站、港口所在空间单元的低频总关联度和人均低频总关联度均较高，体现了上海作为航空、航运和铁路区域性枢纽的中转和集散功能。

3.1.2 城际与市域关联的嵌套空间结构

已有研究显示，上海市中心城区的紧密通



图5 上海市高频、低频总关联度和人均总关联度分布

Fig.5 Total nodal size and nodal size per capita of high-frequency and low-frequency inter-city flow

资料来源：笔者自绘。

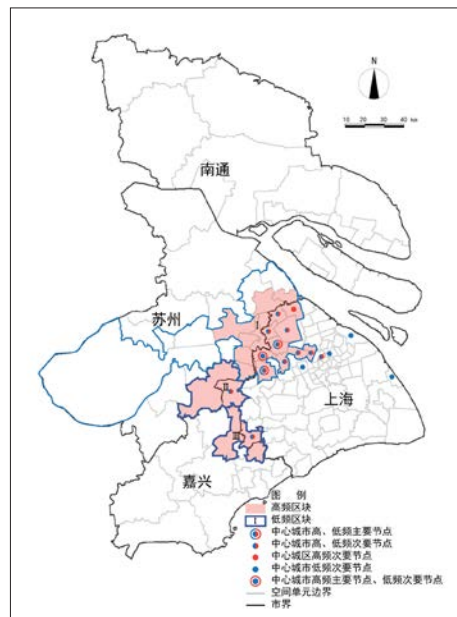


图6 上海—邻沪地区高频和低频关联网络嵌套空间结构示意图

Fig.6 Nested spatial structure of high-frequency and low-frequency inter-city network of Shanghai and neighboring cities

资料来源：笔者自绘。

表1 上海—邻沪地区的高频、低频关联网络分布一览表
Tab.1 Distribution of high-frequency and low-frequency hinterworld of Shanghai

低频关联			高频关联		
中心城市主要节点	网络腹地		中心城市主要节点	网络腹地	
	第一层级	第二层级		第一层级	第二层级
嘉定区安亭和黄渡镇	昆山市花桥镇	昆山市玉山镇、昆山市陆家镇	嘉定区安亭镇和黄渡镇	昆山市花桥镇	昆山市玉山镇、太仓市区、昆山市陆家镇、昆山市千灯镇
青浦城区	昆山市花桥镇	昆山市玉山镇、昆山市千灯镇、昆山市淀山湖镇	青浦城区	昆山市淀山湖镇	吴江市芦墟镇和黎里镇、昆山市花桥镇、昆山市千灯镇
—	—	—	青浦区白鹤镇和赵屯镇	昆山市花桥镇	昆山市千灯镇
中心城市次要节点	网络腹地		中心城市次要节点	网络腹地	
浦东新区高桥镇和高东镇	常熟市	太仓市沙溪镇和双凤镇、太仓市港区	嘉定城区	昆山市花桥镇	太仓市区、太仓市浏河镇、太仓市科教新城
金山区枫泾镇和兴塔镇	平湖市新埭镇、嘉善县魏塘镇和大云镇	嘉善县丁栅镇和姚庄镇	金山区枫泾镇和兴塔镇	平湖市新埭镇	嘉善县丁栅镇和姚庄镇、嘉善县魏塘镇和大云镇
上海火车站地区	昆山市玉山镇、苏州市姑苏区	苏州园区、吴中区	嘉定区娄塘镇	太仓市区	太仓市科教新城
虹桥枢纽	昆山市玉山镇、苏州市苏州园区、姑苏区	吴中区	嘉定区外冈镇	昆山市花桥镇太仓市科教新城	太仓市区
浦东机场	苏州园区	苏州市姑苏区、昆山市玉山镇、吴中区	嘉定区华亭镇	太仓市浏河镇	太仓市区、太仓市港区
嘉定城区	昆山市花桥镇和太仓市区	昆山市玉山镇、太仓市浏河镇	青浦区金泽镇	吴江区黎里镇	—
青浦区华新镇	昆山市花桥镇	昆山市玉山镇和千灯镇	青浦区华新镇	昆山市花桥镇和千灯镇	青浦区淀山湖镇、太仓市区
嘉定区江桥镇	昆山市花桥镇	昆山市玉山镇	普陀区长寿路街道	昆山市花桥镇	—
青浦区金泽镇	吴江区黎里镇	—	嘉定区江桥镇	昆山市花桥镇	—
青浦区白鹤镇和赵屯镇	昆山市花桥镇	昆山市千灯镇	普陀区真新街道和桃浦镇	昆山市花桥镇	—
嘉定区娄塘镇	太仓市区	太仓市科教新城	—	—	—
嘉定区外冈镇	昆山市花桥镇	太仓市科教新城	—	—	—
普陀区长寿路街道	昆山市花桥镇	昆山市玉山镇、苏州园区、姑苏区	—	—	—
普陀区真新街道和桃浦镇	昆山市花桥镇	昆山市玉山镇	—	—	—

资料来源:笔者根据手机信令数据统计。

勤范围扩展到新城^{[25]18};然而,上海市中心城区向外通勤率的距离衰减极快^{[24]1905},新城到中心城区的通勤率远低于中心城区内部。新城基本就地职住平衡,工作人员的居住地大多分布在其内部及周边^{[35]105},去往中心城的比例约为9.2%^{[36]45}。相应地,从中心城区去往新城的通勤比例也较低^{[35]107}。虽然上海市居民出行都具有向心性,但出行方向和长度的集中度不同,与中心城区距离较远的郊区受中心城区影响小,以近距离出行为主^{[37]86},中心城区内部的通勤距离也较短^[38]。邻沪的昆山、太仓、海门等城市居民在城区内部工作比例为81.3%,当地居民到上海工作的比例为4.5%—5.5%^{[36]50},大部分去往新城或行政边界处。

因此,在上海—邻沪的空间结构中,不仅有各城市的中心城区内部、新城内部的紧密通勤关系,有新城和中心城区松散的通勤关

系,还有跨地级市的通勤和商务关系,成为3级嵌套网络。当城际关联较弱时,在市域内会形成相对孤立的城镇体系,以中心城区和外围郊区/县的内部关联为主;当交通条件能够满足城际活动需求时,城际关联形成的网络能够“缝合”原有相邻城市孤立的内部关联网络并与之叠加,形成区域层面的嵌套式空间结构(见图7)。

3.2 关联网络的形成机制

3.2.1 节点规模与关联距离的影响

重力模型回归结果显示,低频和高频城际关联均符合泊松分布(见表2)。

绝对关联度与节点规模正相关,与关联距离负相关。距离的影响程度大于规模。相关研究得出的上海与长三角其他城市的距离对高铁、公路绝对关联度的泊松回归系数

表2 泊松估算和最小二乘法估算的回归计算结果
Tab.2 Regression results of OLS estimator and Poisson estimator

指标	低频关联网络	高频关联网络
A地GDP(ln)	0.78***	0.77***
B地GDP(ln)	0.65***	0.90***
关联距离(ln)	-2.45***	-3.32***
R ²	0.89	0.93
观测值	220	220

注:***P<0.01, **0.01<P<0.05, *0.05<P<0.1(95%置信区间)。

资料来源:笔者计算所得。

为-1.04和-2.80^[39]。与之相比,上海—邻沪地区出行的距离敏感性更强。

高频对距离的敏感性比低频关联更强。A地(上海市)和B地(邻沪三市)的规模对高、低频关联的影响也具有差异性。B地的经济规模对高频关联的影响明显大于低频关联,说明经济规模较大的空间单元更有可能与上海市产生高频关联。

3.2.2 关联距离的阈值分析

绝对关联度具有明显的距离衰减效应。低频关联的平均空间距离为57.77 km,高频关联为38.03 km(见图8)。

高频关联的空间距离分布集中,一半以上在30 km以内,峰值为10—20 km。随后急剧下降,60 km以上的关联度仅占20%,60 km以内累计关联度最高的分组为最低组的5倍。

低频关联的空间距离分布相对平均,虽然在10—20 km出现最大值,90—230 km的累计关联度仅占20%,但是20—90 km范围各分组的累计关联度差异不大,最高分组为最低组的2.6倍左右。

高频关联的空间距离阈值为30 km,低频关联为90 km,与出行时间密切相关。30 km的“门到门”小汽车出行时间约为60 min,符合高频特别是通勤活动的一般规律。高频跨城活动对出行时间的敏感度高于其他活动,因此超出阈值的关联度急剧下降,而低频跨城人口活动对时间的敏感度较低,所以在20—90 km区间的关联度变化不大。

3.2.3 关联网络的形成条件和限制

距离分布解释了高频关联网络的空间邻近性特征。高频关联的空间距离敏感性形成的10—20 km高峰和30 km的阈值对应到上海—邻沪地区,只有位于行政边界的相邻空间单元

满足要求。例如上海市嘉定区安亭镇和黄渡镇等空间单元的网络腹地均为相邻、相隔的空间单元,空间距离约为12 km。高频关联集中布局于沿行政边界的区块状地区。

飞地式的高频网络腹地于苏州市昆山市花桥镇,对应的上海市空间单元大多位于中心城区,如真如镇和桃浦镇、徐家汇、莘庄,乘坐11号线或者换乘1号线可达,体现了轨道交通对高频关联的促进作用。

低频关联的阈值为90 km,是上海市区与三市中心城区的平均距离,80%的低频关联分布在连接中心城区的走廊上。苏州市与上海市的低频关联分布与沪宁走廊一致。该走廊上既有高速公路又有高速铁路。上海市的区域性交通设施所在空间单元的网络腹地大多是飞地式布局,与其网络腹地相隔5个以上空间单元,空间距离为50—100 km。大虹桥地区是典型的依托高速铁路促进低频关联的区域。上海市浦东新区的空间单元总关联度普遍较低的原因是区域性客运设施较少和空间距离较远。

3.3 关联网络与上海—邻沪地区一体化发展

3.3.1 不同频率关联嵌套的影响

高、低频嵌套网络中的重叠区块具有复合型功能,具备一体化发展的条件。一方面,突破行政边界初步形成了区域性的职住分布,但

空间范围有限,以郊区/县之间的关联为主,郊区/县与中心城区、中心城区之间的关联不够紧密,且占总体跨城出行的比例较低,作用有限。另一方面,低频关联具有促进区域中的上下游产业分工协作的功能,但是节点的社会经济资源集聚能力不高。

低频关联的独立部分沿交通轴线布局,关联类型包括郊区/县之间的关联和郊区/县和相邻城市中心城区之间的关联,有利于郊区/县承接两端中心城区的“溢出”及从区域角度统筹调整沿线城镇的主导产业布局,沿走廊形成产业聚集。如果高铁车站的接驳条件提升,具有激发区域性职住分离的潜力,可提升为高、低频重叠的复合型功能节点。

位于中心城市的多点飞地,主要依托对外交通设施在城市内部起到吸引作用,迅速集聚中心城市的对外关联,同时沿交通廊道扩散,是中心城市直接向外辐射的主要枢纽。

3.3.2 城际与市域关联嵌套的影响

远郊新城在上海市域网络的节点等级相对较低,中心城区的节点值最高^[40]。城际市域两个空间层面关联网络的嵌套使作为次要节点的新城区位条件转变。远郊新城是上海—邻沪区域的城际关联网络的主要节点,辐射影响周边相邻城镇,起到连接市域和城际关联网络的作用,也可以认为是上海市社会经济活动发

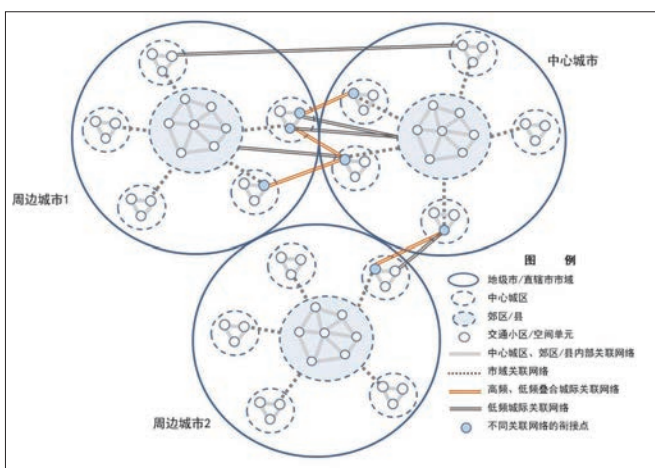


图7 上海—邻沪地区城际、市域关联网络嵌套空间结构示意图
Fig.7 Nested spatial structure of inter-city and intra-city network of Shanghai and neighboring cities

资料来源:笔者自绘。

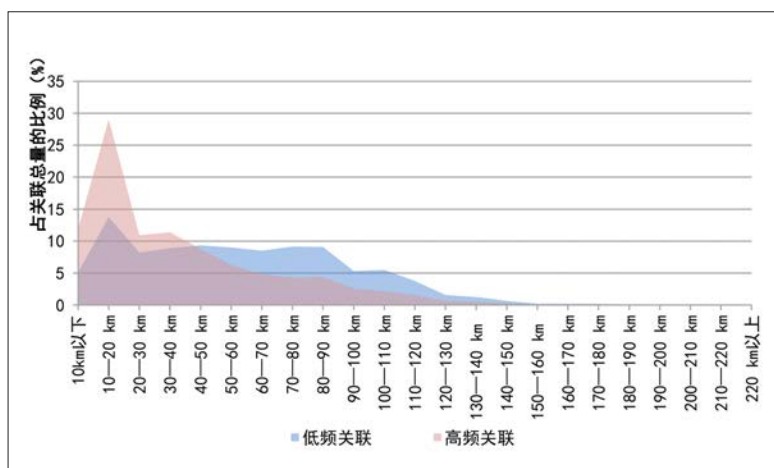


图8 低频和高频关联网络的空间距离分布
Fig.8 Distance distributions of high frequency and low frequency inter-city flow

资料来源:笔者计算所得。

挥对外影响的衔接点。

上述衔接作用为市域边界处的新城发展带来机遇。区域层面形成上海市中心城区—新城—邻沪地区的两级扩散阶梯,使新城起到传导作用;市域层面,由于具备社会经济资源在上海市域重新布局的条件,市域西部的新城有机会接受中心城区部分资源的转移而形成副中心,有利于中心城区的疏散和市域城镇体系优化。例如:在五个新城中,嘉定新城与中心城区的联系最紧密^{[36]45},在城际网络中也是主要节点。

4 结论与结语

4.1 主要结论

本研究对比高、低频城际关联在上海市域的空间分布异质性,分析了上海—邻沪地区的关联网络特征,发现高频关联紧邻行政边界分布,与已有研究的结论一致,基于人均值的关联网络强化了这一特征。高、低频关联网络的嵌套形成重叠的重点区块和低频的独立部分。

距离对绝对关联度的影响大于节点规模。高频关联范围小,集中度高;低频关联范围大,分布较平均。不同类型跨城活动对出行时间的敏感性形成以上差异。

高、低频关联网络嵌套形成的重叠区块具有复合型功能,具备一体化发展的空间条件,但目前节点的社会经济资源集聚能力不高;低频区块有利于郊区/县承接两端中心城区的“溢出效应”,依托交通枢纽的低频飞地是中心城市直接向外辐射的主要节点。城际关联网络与市域关联嵌套,新城起到连接市域和城际关联网络的作用。

4.2 启示和展望

高频关联是社会经济紧密联系的集群或社区中功能区域形成的关键,促进新的职住和产业分布格局产生。通过政策引导,发挥高频关联优势的同时促进低频向高频关联的转化,推动上海—邻沪地区一体化。例如针对定位为区域副中心或具有区域性功能的区块,一方面,应依托现有或规划交通廊道选址,优化

对外交通条件,将跨城出行时间降低到阈值以下;另一方面,应完善其职住功能配套,加强产业分工协作,引导具有对外联系需求的产业用地布局于网络腹地和中心城市的重要对外节点,促进其积极融入城际高频关联网络。

位于上海、苏州、嘉兴交界处的长三角一体化示范区已于2021年开始规划建设先行启动区^②。从本文研究结果看,关联网络的活跃区分布于行政边界附近,是先行启动区的优势所在;但是它与上海市中心城区距离超过60 km,超过高频关联空间阈值的2倍,且不在主要走廊上,承接中心城市溢出效应以及形成产业与职住关联的条件不佳。从功能区域构建的目标出发,第一,先行启动区应充分利用在建交通基础设施即沪苏湖高速铁路提升关联水平,弥补该区域与中心城市联系不便的弱点,形成上海市中心城区—松江城区—先行启动区—南浔区—湖州市中心城区发展廊道。第二,先行启动区应利用与苏州和嘉兴市中心距离较近的优势,促进苏州市吴江区和嘉兴市嘉善县与中心城区形成高频关联,推动省际地区的社会经济资源联动,形成区域副中心。整体来看,以该先行启动区为城际关联网络的中心节点,具有发展形成“高铁廊道+边界”的“十字形”功能区域结构的基础,同时也有利于调整现有邻沪地区关联网络北强南弱的不均衡布局。后续研究有3个主要方向:一是着眼于中心城市的重要节点,深入分析上海市域范围内建成环境对人流活动的影响机制;二是增加数据样本,比较各城市的市内出行和跨城出行关联,判定目前跨城关联的强度等级,对区域空间网络进行整体分析;三是进行多源数据对比,综合分析人流与企业网络、物流网络、信息流网络,进一步精准把握上海—邻沪地区的关联网络特征和空间布局。[■]

参考文献 References

[1] 国务院. 长江三角洲区域一体化发展规划纲要[Z]. 2019.
The State Council. The guidelines for integration development of the Yangtze River Delta[Z]. 2019.

[2] 国务院. 国务院关于上海市城市总体规划的批复(国函〔2017〕147号)[Z]. 2017.
The State Council. The approval of Shanghai Master Plan[Z]. 2017.

[3] CASTELLS M. Grassrooting the space of flows[J]. Urban Geography, 1999, 20(4): 294-302.

[4] TAYLOR P, HOYLER M, VERBRUGGEN R. External urban relational process: introducing central flow theory to complement central place theory[J]. Urban Studies, 2010, 47: 2803-2818.

[5] TAYLOR P. Specification of the world city network[J]. Geographical Analysis, 2001, 33: 181-194.

[6] 王德, 刘镭, 耿慧志. 沪宁杭地区城市一日交流圈的划分与研究[J]. 城市规划汇刊, 2001 (5): 38-44.
WANG De, LIU Kai, GENG Huizhi. The study of daily communication area in Hu-Ning-Hang Region[J]. Urban Planning Forum, 2001(5): 38-44.

[7] 王德, 刘镭, 郭洁. 沪宁杭市一日交流圈的空间特征及其比较[J]. 城市规划汇刊, 2004 (3): 33-38.
WANG De, LIU Kai, GUO Jie. The comparison of spatial characteristics and dynamic changes of daily-communication-areas of Hu-Ning-Hang[J]. Urban Planning Forum, 2004(3): 33-38.

[8] 刘美华, 罗守贵. 基于潜力模型的上海都市圈城市等级划分[J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (9): 3903-3904.
LIU Meihua, LUO Shougui. Classification of Shanghai metropolitan coordinating area hierarchy based on potential model[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2008, 36(9): 3903-3904.

[9] 张萍, 张玉鑫. 上海大都市区空间范围研究[J]. 城市规划学刊, 2013 (4): 27-32.
ZHANG Ping, ZHANG Yuxin. A study on the spatial extent of Shanghai metropolitan area[J]. Urban Planning Forum, 2013(4): 27-32.

[10] Office of Management and Budget. Standards for delineating metropolitan and micropolitan statistical areas[Z]. 2010.

[11] Office for National Statistics. Travel to work area analysis in Great Britain[Z]. 2010.

[12] KANASUGI H, USHIJIMA K. The impact of a high-speed railway on residential land prices[J]. Papers in Regional Science, 2018, 97(4): 1305-1335.

[13] UREÑA J, MENERAULTB P, GARMENDIA M. The high-speed rail challenge for big intermediate cities: a national, regional and local perspective[J]. Cities, 2009, 26: 266-279.

[14] 武前波, 陶娇娇, 吴康, 等. 长江三角洲高铁日常通勤行为特征研究——以沪杭、宁杭、杭甬线为例[J]. 城市规划, 2018, 42 (8): 90-97.
WU Qianbo, TAO Jiaojiao, WU Kang, et al. Daily commuting behavior characteristics of high speed rail passengers in the Yangtze River Delta Region: a case study of Shanghai-Hangzhou, Nanjing-Hangzhou, and Hangzhou-Ningbo Lines[J]. City Planning Review, 2018, 42(8): 90-97.

注释: ② 长三角一体化示范区的先行启动区范围为青浦区朱家角镇、金泽镇,嘉善县西塘镇、姚庄镇,吴江区黎里镇。

- [15] 朱鹏程, 曹卫东, 张宇, 等. 人口流动视角下长三角城市空间网络测度及腹地划分[J]. 经济地理, 2019, 39 (11): 41-48.
ZHU Pengcheng, CAO Weidong, ZHANG Yu, et al. Measurement of urban spatial network and its hinterland division in the Yangtze River Delta from the perspective of population flow[J]. Economic Geography, 2019, 39(11): 41-48.
- [16] 王启轩, 张艺帅, 程遥. 信息流视角下长三角城市群空间组织辨析及其规划启示[J]. 城市规划学刊, 2018 (3): 105-112.
WANG Qixuan, ZHANG Yishuai, CHENG Yao. Spatial organization of the Yangtze River Delta urban agglomeration and its implications on planning from the perspective of information flow: analysis of city network based on Baidu Index[J]. Urban Planning Forum, 2018(3): 105-112.
- [17] 郑德高, 朱郁郁, 陈阳, 等. 上海大都市圈的圈层结构与功能网络研究[J]. 城市规划学刊, 2017 (s2): 63-71.
ZHENG Degao, ZHU Yuyu, CHEN Yang, et al. Structure and functional network of Shanghai metropolitan area[J]. Urban Planning Forum, 2017(s2): 63-71.
- [18] 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.
- [19] 田琳. 基于迁徙数据的上海都市圈跨城联系特征研究[C]//2020年第十六届中国城市规划信息化年会暨中国城市规划学会城市规划新技术应用学术委员会年会, 2020.
TIAN Lin. Characterization of cross-city linkages in the Shanghai metropolitan area based on migration data[C]//The 16th Annual China Urban Planning Informatization Conference, 2020.
- [20] 钮心毅, 李凯克. 跨城功能联系视角下的都市圈国土空间规划实施监测[J]. 资源科学, 2021, 43 (2): 380-389.
NIU Xinyi, LI Kaike. Implementation monitoring of territorial and spatial planning in metropolitan areas from the perspective of intercity functional linkages[J]. Resources Science, 2021, 43(2): 380-389.
- [21] 蒋凯, 答晓毓, 李政寰. 城镇体系识别及空间结构特征比较——以北京、上海、东京都市圈为例[J]. 城市发展研究, 2020, 27 (4): 55-61.
JIANG Kai, ZAN Xiaoyu, LI Zhenghuan. Identification of urban system and comparison of spatial structure characteristics: a case study of Beijing, Shanghai and Tokyo Metropolitan Areas[J]. Urban Development Studies, 2020, 27(4): 55-61.
- [22] 程遥, 张艺帅, 赵民. 长三角城市群的空间组织特征与规划取向探讨——基于企业联系的实证研究[J]. 城市规划学刊, 2016 (4): 22-29.
CHENG Yao, ZHANG Yishuai, ZHAO Min. The spatial self-organization and planning agendas of the Yangtze River Delta's city cluster: spatial analysis based on enterprise connectivity[J]. Urban Planning Forum, 2016(4): 22-29.
- [23] 刘雯婷, 左桐祯, 李冰夷, 等. 全球功能流动视角下上海都市圈网络空间特征——基于国际手机漫游数据的实证[J]. 城市建筑, 2021, 18 (10): 14-16.
LIU Wenting, ZUO Tongzhen, LI Bingyi, et al. Spatial characteristics of Shanghai metropolitan area from the perspective of global function flow[J]. Urbanism and Architecture, 2021, 18(10): 14-16.
- [24] 王德, 顾家焱, 晏龙旭. 上海都市区边界划分[J]. 地理学报, 2018, 73 (10): 1896-1909.
WANG De, GU Jiahuan, YAN Longxu. Delimiting the Shanghai metropolitan area using mobile phone data[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(10): 1896-1909.
- [25] 钮心毅, 李凯克. 紧密一日交流圈视角下上海都市圈的跨城功能联系[J]. 上海城市规划, 2019(3): 16-22.
NIU Xinyi, LI Kaike. Inter-city functional linkages in Shanghai metropolitan region from the perspective of close daily communication area[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2019(3): 16-22.
- [26] 李峰清. 基于高铁网络的我国城镇化空间模式再探[J]. 城市规划, 2018, 42 (3): 109-117.
LI Fengqing. Re-exploring the spatial model of urbanization in China based on high-speed rail network: inspection an analysis of Shanghai-Hinterland of Yangtze River Delta[J]. City Planning Review, 2018, 42(3): 109-117.
- [27] 钮心毅, 王焱, 刘嘉伟, 等. 基于跨城功能联系的上海都市圈空间结构研究[J]. 城市规划学刊, 2018 (5): 80-87.
NIU Xinyi, WANG Yao, LIU Jiawei, et al. Spatial structure of Shanghai conurbation area from perspective of inter-city functional links[J]. Urban Planning Forum, 2018(5): 80-87.
- [28] 焦利民, 龚晨, 许刚, 等. 大都市区城市扩张过程及形态对比分析——以东京、纽约和上海为例[J]. 地理科学进展, 2019, 38 (5): 675-685.
JIAO Limin, GONG Chen, XU Gang, et al. Urban expansion dynamics and urban forms in three metropolitan areas: Tokyo, New York, and Shanghai[J]. Progress in Geography, 2019, 38(5): 675-685.
- [29] SCOTT A J. Social network analysis[M]. London: Sage Publication Inc, 2000.
- [30] TAYLOR P J. Urban hinterlands: geographies of corporate service provision under conditions of contemporary globalization[J]. Geography, 2001, 86(1): 51-60.
- [31] DE GOEI B, BURGER M, VANOORT F, et al. Functional polycentrism and urban network development in the Greater South East, United Kingdom: evidence from commuting patterns, 1981-2001[J]. Regional Studies, 2010, 44(9): 1149-1170.
- [32] FLOWERDEW R, AITKIN M. A method of fitting the gravity model based on the Poisson distribution[J]. Journal of Regional Science, 1982, 22: 191-202.
- [33] LONG J. Regression models for categorical and limited dependent variables[M]. Thousand Oaks, CA: Sage, 1997.
- [34] ARVIS J, SHEPHERD B. The Poisson quasi-maximum likelihood estimator: a solution to the 'adding up' problem in gravity models[J]. Applied Economics Letters, 2013, 20(6): 515-519.
- [35] 杨超, 陈明洋, 袁泉, 等. 上海市新城通勤人群出行特征分析[J]. 城市交通, 2022 (2): 99-110.
YANG Chao, CHEN Mingyang, YUAN Quan, et al. Travel characteristics of commuters living in Shanghai new towns[J]. Urban Transport of China, 2022(2): 99-110.
- [36] 张天然, 王波, 訾海波, 等. 上海五个新城职住空间特征对比研究[J]. 上海城市规划, 2021 (4): 44-52.
ZHANG Tianran, WANG Bo, ZI Haibo, et al. A comparative study on the spatial characteristics of job-housing in five new towns in Shanghai[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2021(4): 44-52.
- [37] 张月朋, 王德. 上海市早高峰出行问题源头区识别[J]. 城市规划, 2021, 45 (7): 83-90.
ZHANG Yuepeng, WANG De. Identification of the source of morning peak-hour traffic congestion in Shanghai[J]. City Planning Review, 2021, 45(7): 83-90.
- [38] XIAO Y, WANG Y, MIAO S, et al. Assessing polycentric urban development in Shanghai, China, with detailed passive mobile phone data[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2020, 48(9): 2656-2674.
- [39] 王荻. 中心城市城际高铁人流分布与城市群发展研究——以长三角核心区为例[D]. 上海: 复旦大学, 2022.
WANG Di. The impact of city-cluster high-speed rail passenger flow from the central city on the development of mega-regions: evidence from the core area of the Yangtze River Delta[D]. Shanghai: Fudan University, 2022.
- [40] 李志鹏. 基于居民活动的上海空间结构网络特征研究[C]//面向高质量发展的空间治理——2021中国城市规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
LI Zhipeng. The spatial network features of Shanghai based on residents' mobility[C]//High-quality spatial governance: proceedings of 2021 China Annual National Planning Conference. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021.