

中心性与对称性:多空间尺度下长三角城市群 人口流动网络结构特征

薛峰¹ 李苗裔¹ 党安荣²¹

(1. 福州大学 建筑与城乡规划学院, 中国福建 福州 350100;

2. 清华大学 建筑学院, 中国 北京 100084)

【摘要】:以人口流动数据为基础,利用社会网络分析等方法,从地市级及以上尺度与区县级尺度,刻画长三角城市群人口流动网络的中心性与对称性,研究发现:①区域人口流动网络已形成“直辖市-省会城市-一般地级市”三级梯队结构。②上海、杭州、南京、苏州的人口流动均表现为城内与城际协调融合的状态,而合肥的人口流动网络局限于市内,尚未对外形成人口强联系的城市集群。③区域在人口流动上以中心地模式为主导,尚未进入到中心流模式主导的阶段。④“苏南-上海-浙北”大都市连绵带已形成,合肥尚未融入,随着滁州、马鞍山等中小城市人口的不净流入,“皖中-苏南-上海-浙北”大都市连绵带将逐渐形成。⑤区域人口流动“核心-边缘”结构显著,由于强中心性城市不断虹吸,“核心-边缘”结构逐渐强化。

【关键词】:城市网络 中心性 对称性 口流动 区域一体化

【中图分类号】:TU982 **【文献标志码】**:A **【文章编号】**:1000-8462(2020)08-0049-10

在信息化和交通便利化时代,随着各类智能设备持续接入互联网及信息基础设施不断完善,各种资源要素在虚拟或实体空间中的流动频率呈指数增长的趋势,“流空间”越来越受到人们关注。同时,随着高速公路等城际交通基础设施的完善,地理距离对城市联系的限制愈发弱化,城市联系不再仅局限于近邻的腹地范围,而越来越多地与非近邻城市保持紧密联系。基于此,城市体系的研究逐渐由基于城市等级规模的静态结构研究转向基于要素流动的城市网络研究^[1-4]。

以往对城市网络的研究多为城市网络结构特征分析,其中多数学者通过社会网络分析法中的中心度^[5-10]或“核心-边缘”模式^[11]表征城市等级关系,反映网络纵向等级结构。少数学者通过凝聚子群^[8-9,12]或社区发现^[5,13-16]法划分群体,反映社团或子群结构。此外,也有学者通过网络密度^[8-10]及城市联系强度^[10]表征城市网络特征。然而,随着流空间的盛行,城市网络趋于复杂化,城市间,特别是大城市与中小城市间要素往来的方向与均衡性逐渐受到人们重视,有向城市网络研究成为新的研究热点。相比于无向城市网络,有向城市网络能够表征城际要素流的对称性^[17]。既有关于城市网络对称性的研究中,Narisra Limtanakool 提出了节点对称性、链接对称性等概念,以及对应的量化方法,并将对称性作为刻画城市网络结构的补充手段^[17-18]。此外,Taylor等学者对生产性服务业网络的不对称问题进行了研究^[19-22],陈映雪、马妍分析了信息网络与功能网络的不对称性^[23-24],但他们并没有从人口流动的角度展开研究城市网络的不对称性。此外,空间单元作为城市网络的研究落脚点,基于不同尺度空间单元的城市网络特征往往有所

基金项目:福建省自然科学基金青年创新项目(2019J05038);清华大学中国新型城镇化研究院开放基金项目(TUCSU-K-17026-01)
作者简介:薛峰(1994-),男,浙江宁波人,硕士研究生。主要研究方向为区域规划与城市定量。E-mail: N181520027@fzu.edu.cn。
李苗裔(1987-),男,辽宁朝阳人,博士,副教授。主要研究方向为城市定量、时空大数据分析建模、智慧城市建设与管理。
Email: myli@fzu.edu.cn。

差异,既有相关研究一般从省级与地市级空间尺度着手,对城市网络的节点特征与关系特征进行探究^[1, 25-26]。少数学者从区县级及乡镇级空间尺度出发,对城市网络的节点特征^[27]、整体网络结构特征^[28]及多尺度的网络特征差异^[29]进行研究,但其均采用了无向网络,难以表征多空间尺度下城市网络的对称性特征。因此,尽管既有关于城市网络特征的研究趋于成熟,但在“流空间”日益盛行背景下,较少有研究涉及到多空间尺度下城市间的要素往来关系,从这一角度来看,上述研究在应对区域复杂性方面仍存在一定发展空间。

2019 年中央政府工作报告明确指出,将长三角区域一体化发展上升为国家战略,为该区域的发展带来了新的契机。然而既有研究主要为单一空间尺度下长三角城市群无向网络研究,因而在加快区域一体化发展背景下,亟需对长三角区域城市网络特征进行进一步识别,明确城市间的内在等级关系与要素流动均衡关系,以期从理论层面提供规划决策支持。因此,本研究利用社会网络分析法和对称性量化方法,分析长三角城市群人口流动网络中心性与对称性,在此基础上,对地市级以上尺度(地级市、副省级城市、直辖市)与区县级尺度的城市网络异同进行讨论。这将在一定程度上更好地回应城市网络的复杂性与动态性,并在城市网络对称性研究上做出一定的拓展和补充。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

地市级及以上尺度及区县尺度的人口流动数据均来自于“腾讯位置大数据”平台中的人口迁徙数据,包括迁徙人次、出行方式、迁徙方向等出行信息,是典型的半结构化数据。由于相比周末,工作日是生产要素和经济要素流动的主要时段,且出行特征较为稳定,因此本文仅考虑工作日城际人口流动,并且我们假设在工作日,人员以商务出差为跨市出行的主要目的。为了提升城际人口流动数的真实性及减小因偶然性而带来的误差,我们设法取较具代表性的工作日的人流数据作为研究数据。具体而言,我们随机抽取 2016 年 4 月与 5 月中 7 天工作日(4 月 26-29 日,5 月 9-11 日),并取任一城市对(两座地级市),对不同日期该城市对间的人流数量进行标准差计算,计算公式如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (1)$$

式中: σ 表示不同日期某对城市间人流数量的标准差; N 表示所取日期的天数; x_i 表示该对城市第 i 天时的人流数量; μ 表示该对城市在不同日期下的人流数量均值。

我们以标准差最小的工作日为该对城市人流最稳定的日期,并将区域所有城市对均进行人流最稳定日期的识别,进而反过来对每个工作日对应的标准差最小的城市对出现的频次进行统计,以频次最高的工作日为研究日期。最终我们取 5 月 10 日的地级市人口流动数据,且为了统一不同尺度人口流动数据的时段,我们同样取 5 月 10 日的区县级人口流动数据。

1.2 研究框架

首先,以地市级及以上尺度与区县级尺度的人口流动数据为数据源,分别构建地市级及以上尺度与区县级尺度的人口流动网络并分析城际空间联系特征。其次,分别对两种尺度的网络进行中心性分析,通过计算城市的点度中心度判断城市中心性强弱,以此划分城市中心性等级,筛选出强中心性的城市,刻画现状城市网络结构。在此基础上,通过节点对称性与链接对称性,分析强中心性城市人口流入与流出的均衡关系,以及强中心性城市对其他城市的人口虹吸/辐射情况。最后,对多尺度视角下人口流动网络的相似性与差异性进行比较,提出地方差异化发展建议。

1.3 网络中心性与对称性分析的方法

1.3.1 网络中心性

点度中心度在网络分析中是刻画城市中心性的最直接度量指标^[30]。城市的点度中心度越大,该城市的重要性越突出,中心性强度越大^[31]。具体来看,点度中心度是指与城市*i*联系较紧密的城市数量。在有向网络中,点度中心度分为点出度和点入度,其中点出度代表城市的辐射能力,点入度代表城市的集聚能力。在无向网络中,点度中心度代表网络中城市的交往能力。其计算公式为^[8]

$$CD(i) = \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (2)$$

式中:CD(*i*)在有向网络中表示城市*i*的点出度/点入度,在无向网络中表示与城市*i*联系较紧密的城市数量; X_{ij} 在有向网络中表示网络中城市*i*与城市*j*的有向联系值,在无向网络中表示网络中城市*i*与城市*j*的无向联系值。

1.3.2 网络对称性

网络中心性能够表征城市的等级关系,筛选出强中心性城市。但进一步分析强中心性城市同其他城市间的往来关系,判断城市网络的均衡状态,需要通过对称性来实现。为了量化对称性,Narisra Limtanakool 提出节点对称性(Node Symmetry Index)和链接对称性(Link Symmetry Index)^[17],前者强调城市本身的要素流动方向,后者强调城市之间的要素流动方向,两者共同反映了城际作用的方向属性。

1.3.3 节点对称性

节点对称性用以描述节点的入度与出度所反映的城市对称性。但仅仅通过入度和出度往往无法很好地反映城际人员流动的数量关系,因此本文结合有效流动率的概念^[32],对节点对称性进行优化,对于节点*i*:

$$NSI_i = \frac{\sum I_i - \sum O_i}{\sum I_i + \sum O_i} \quad (3)$$

式中: I_i 指城市*i*来自区域其他城市的流入人口数量; O_i 指城市*i*流向区域其他城市的流出人口数量。当 $NSI_i = -1$ 时,对于城市*i*为净流出;当 $NSI_i = 1$ 时,对于城市*i*为净流入。

1.3.4 链接对称性

链接对称性用以判断城市链接的不对称性水平,但NSI无法体现链接的方向性。针对于此,刘铮提出了修正的链接对称性 $LS\Gamma$,在判断链接的不对称性水平的同时,对链接的方向性进行区分^[26]。计算公式为:

$$LS\Gamma_{ij} = 2f_{ij} - 1 \quad (4)$$

式中: f_{ij} 指节点*i*至节点*j*的流量占节点*i*与节点*j*流量的比值;当 $LS\Gamma_{ij} < 0$ 时,表示从节点*i*流向节点*j*的流小于从节点*j*流向节点*i*的流,且当 $LS\Gamma_{ij} = -1$ 时,为流从节点*j*净流向节点*i*;当 $LS\Gamma_{ij} = 0$ 时,链接中为双向等值流;当 $LS\Gamma_{ij} > 0$ 时,表示从

节点 i 流向节点 j 的流大于从节点 j 流向节点 i 的流,且当 $LS \Gamma_{ij}=1$ 时,为流从节点 i 净流向节点 j 。

2 城市群多尺度人口流动网络特征分析

2.1 研究区域

本研究以长三角城市经济协调会第 13 次市长联席会议确定的长三角城市群成员为研究区域(图 1),这主要基于两方面的考虑:一是长三角城市经济协调会是 2004—2013 年长三角一体化发展的主要协调机制,其成员已扩容至 30 座城市,具体包括直辖市上海、浙江及江苏全部地级市和安徽的合肥、芜湖、马鞍山、滁州、淮南,这与 2016 年国家发改委发布的《长江三角洲城市群发展规划》的核心范围一致。二是长三角城市经济协调会的成员名单是学术界广泛采用的长三角城市群标准^[33]。



图 1 研究区域

2.2 城市群多尺度人口流动网络构建

2.2.1 地市级及以上尺度人口流动网络构建

参考自然断点法阈值划分,我们认为人口流动数量小于 3600 人表明城际人员联系不显著,并将大于 3600 人且小于 12000 人的联系定义为区域轻微显著的人员联系,将大于 12000 人且小于 30000 人的联系定义为区域中等程度人员联系,将大于 30000 人且小于 57000 人的联系定义为区域主要人员联系,将大于 57000 人的联系定义为区域核心人员联系。

研究发现,从地市级及以上尺度看(图 2a),核心人员联系的城市对为上海—苏州、苏州—无锡,主要人员联系的城市对为南京—镇江、常州—无锡、杭州—嘉兴、杭州—绍兴。从行政管辖及邻近情况来看,除了上海—苏州,其余城市对均为由同省接壤城市组成,这体现了近邻城市联系紧密的中心地模式仍是区域人口流动的主要模式,距离是限制城际人口流动的重要因素。主要或核心人员链接在区域北部形成“上海—苏州—无锡—常州”带状城市组群,在区域南部形成“嘉兴—杭州—绍兴”卫星状城市组群。

2.2.2 区县级尺度人口流动网络构建

同样参考自然断点法阈值划分,我们认为人口流动数量小于 900 人表明城际人员联系不显著,并将大于 900 人且小于 4300 人的联系定义为区域轻微显著人员联系,将大于 4300 人且小于 12000 人的联系定义为区域中等程度人员联系,将大于 12000 人且小

于 24000 人的联系定义为区域主要人员联系,将大于 24000 人的联系定义为区域核心人员联系。

研究发现,在区县级尺度上(图 2b),表现为核心人员联系的地区对形成了四个人口流动活跃的地区集群,其中上海的“杨浦区—宝山区—普陀区—浦东新区—闵行区—嘉定区—青浦区”集群人口流动最为活跃,而南京的“建邺区—雨花台区—浦口区—江宁区—栖霞区”集群、杭州的“江干区—余杭区—西湖区—拱墅区—滨江区—萧山区”集群及合肥的“蜀山区—肥西县—包河区—庐阳区—肥东县”集群的人口流动活跃程度次之,这与区域内直辖市和省会城市一一对应。其次,区域形成了多个人员流动较频繁的地区集群,包括宁波的“鄞州区—江北区—镇海区—海曙区”集群、温州的“鹿城区—瓯海区—永嘉县—瑞安市—龙湾区”集群、苏州的“姑苏区—相城区—虎丘区—吴中区—吴江市”集群、无锡的“梁溪区—滨湖区—惠山区—锡山区”集群、常州的“新北区—钟楼区—武进区—天宁区”集群、南通的“港闸区—通州区—崇川区—海门市”集群、淮安的“淮阴区—清河区—清浦区—淮安区”集群和徐州的“云龙区—鼓楼区—泉山区—铜山区—贾汪区”集群。可见区域在人口流动活跃程度上已经形成了“直辖市—省会城市—一般地级市”三级梯队。

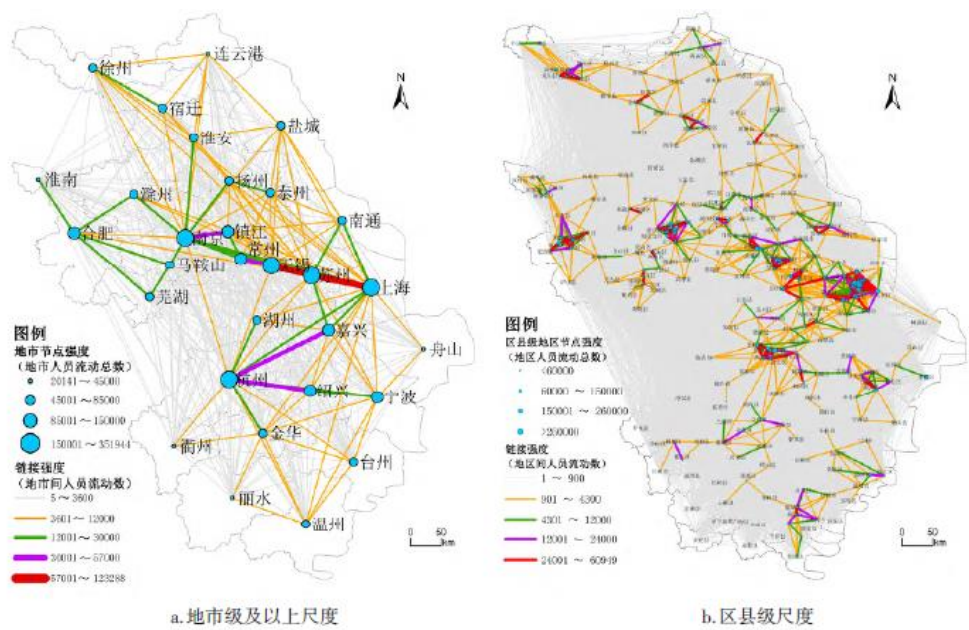


图 2 长三角人口流动网络

与此同时,区域也存在一些与其他城市人员联系均不显著的城市,并没有融入区域人口流动网络。其中江苏省的盱眙县形成了明显的人口流动“孤岛”,而浙江省西部的文成县、龙泉市、泰顺县、景宁族自治县、庆元县、遂昌县、开化县和淳安县形成了对外人口流动欠活跃的“孤立”片区。

对比两种尺度的网络结构,发现上海、杭州、南京、苏州均存在人口流动较频繁的区县集群,同时存在同其城际人口流动较频繁的城市。而合肥尽管城市内存在人口流动较频繁的区县集群,但同其他城市的城际人口流动欠活跃。

此外,除了贾汪区—姑苏区,人口流动较频繁的“地区对”在地理区位上均为相邻关系,进一步体现了即使到区县级尺度,中心地模式仍是地区人口流动的主要模式,区域尚未进入突破近邻城市、同较远地区广泛而紧密联系的阶段。

2.3 区域多尺度人口流动网络中心性分析

2.3.1 地市级及以上尺度人口流动网络中心性分析

点度中心度体现了城市在区域中的中心性和重要性^[38-39]。根据相对点度中心度分析长三角城市网络的中心性(表1), 结果显示, 从地市级及以上的尺度看, 上海、浙江省的杭州以及江苏省的苏州、南京、无锡和常州的中心性最高, 位列中心性强度的第一梯队, 其中仅杭州市为区域南部城市, 且与其余五座城市非相邻。而上海、苏州、南京、无锡和常州在区域北部形成了东西向的带状城市组团。其次, 浙江省的嘉兴、宁波、绍兴、金华, 江苏省的镇江、泰州、南通、扬州以及安徽省的合肥的中心性也较高, 位列中心性强度的第二梯队, 形成了互不相邻的城市个体或组团。区域内其余城市的中心性相对较低, 位列中心性强度的第三梯队。我们认为处于中心性第一梯队与第二梯队的城市为中心性较强的城市(强中心性城市)。

表 1 长三角地市级及以上尺度人口流动网络相对点度中心度

排名	城市	相对点度 中心度	排名	城市	相对点度 中心度
1	上海	9.52	16	盐城	1.92
2	苏州	9.32	17	湖州	1.81
3	杭州	6.82	18	滁州	1.76
4	南京	6.23	19	淮安	1.75
5	无锡	5.53	20	徐州	1.66
6	常州	4.01	21	宿迁	1.60
7	嘉兴	3.63	22	马鞍山	1.44
8	宁波	2.72	23	温州	1.44
9	绍兴	2.70	24	台州	1.38
10	镇江	2.70	25	芜湖	1.27
11	合肥	2.60	26	连云港	1.17
12	泰州	2.26	27	衢州	0.69
13	南通	2.26	28	舟山	0.63
14	金华	2.25	29	丽水	0.62
15	扬州	2.15	30	淮南	0.55

总体来看, 中心性第一、二梯队的城市集中于区域中部, 以上海为中心, 形成了一个较完整的城市集群, 而合肥作为中心性较强的城市, 并不在该城市集群范围内, 而是被滁州与马鞍山所隔离。

2.3.2 区县级尺度人口流动网络中心性分析

根据相对点度中心度分析长三角区县级尺度城市网络的中心性, 结果显示, 区域形成了 5 个中心性较高的城市集群(图 3b)。分别为上海的“浦东新区—静安区—闵行区—松江区—宝山区—普陀区—徐汇区—嘉定区—黄浦区—长宁区”集群, 苏州的“姑苏区—吴中区”及无锡的滨湖区构成的集群, 杭州的“余杭区—拱墅区—江干区—西湖区—下城区”集群, 南京的“江宁区—鼓楼区—秦淮区—玄武区”集群及合肥的“庐阳区—瑶海区—蜀山区—包河区”集群。从中心性前 30 区县所属城市来看(表 2), 中心性较强的区县主要集中在上海(40%)、杭州(16.7%)、南京(13.3%)与合肥(13.3%)。

总体来看, 区域区县地区以浦东新区、闵行区、吴中区、蜀山区为中心性第一梯队, 以徐汇区、静安区、宝山区、江干区、普陀区(上海)、秦淮区、包河区、鼓楼区(南京)、江宁区为中心性第二梯队, 其他区县地区为中心性第三梯队。且我们认为处于中心性第一梯队与第二梯队的区县为中心性较强的区县(强中心性区县)。

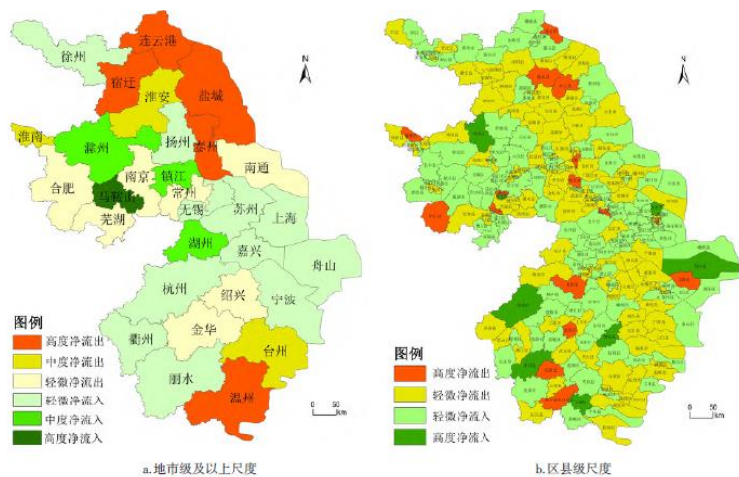


图3 长三角人口流动网络节点对称性空间化

表2 长三角区县级尺度人口流动网络相对点度中心度

排名	地区	相对点度中心度	排名	地区	相对点度中心度
1	浦东新区（上海）	1.552	16	玄武区（南京）	0.712
2	闵行区（上海）	1.428	17	嘉定区（上海）	0.701
3	吴中区（苏州）	1.037	18	瑶海区（合肥）	0.700
4	蜀山区（合肥）	1.015	19	姑苏区（苏州）	0.697
5	徐汇区（上海）	0.951	20	黄浦区（上海）	0.669
6	静安区（上海）	0.943	21	松江区（上海）	0.638
7	宝山区（上海）	0.859	22	余杭区（杭州）	0.634
8	江干区（杭州）	0.845	23	下城区（杭州）	0.621
9	普陀区（上海）	0.817	24	长宁区（上海）	0.612
10	秦淮区（南京）	0.808	25	庐阳区（合肥）	0.601
11	包河区（合肥）	0.788	26	拱墅区（杭州）	0.589
12	鼓楼区（南京）	0.764	27	鄞州区（宁波）	0.562
13	江宁区（南京）	0.756	28	武进区（常州）	0.557
14	滨湖区（无锡）	0.736	29	杨浦区（上海）	0.557
15	西湖区（杭州）	0.724	30	虹口区（上海）	0.544

此外，结合两类尺度的人口流动网络，发现合肥作为中心性第二梯队的城市，其中仅包河区处于中心性第二梯队，其他区县均处于中心性第一梯队或第三梯队，体现了合肥各区县人口流动总量两极分化较严重。

2.4 区域多尺度人口流动网络对称性分析

2.4.1 节点对称性分析

①地市级及以上尺度人口流动网络节点对称性分析。根据节点对称性分析地市级及以上尺度人口流动网络中城市人口流入流出均衡性，并将其空间化(图3a)。参考自然断点法，我们将节点对称性小于-0.025的城市定义为人口高度净流出城市，将节点对称性大于-0.025且小于-0.015的城市定义为人口中度净流出城市，将节点对称性大于-0.015且小于0的城市定义为人口轻微净

流出城市,将节点对称性大于 0 且小于 0.015 的城市定义为人口轻微净流入城市,将节点对称性大于 0.015 且小于 0.025 的城市定义为人口中度净流入城市,将节点对称性大于 0.025 的城市定义为人口高度净流入城市。

结果显示,区域人口净流入城市(马鞍山、湖州、滁州、镇江、宁波、衢州、上海、苏州、丽水、无锡、舟山、扬州、杭州、嘉兴、徐州)与净流出城市(宿迁、温州、泰州、连云港、盐城、淮南、台州、淮安、南京、合肥、常州、南通、绍兴、芜湖、金华)各占一半。人口净流入城市中,马鞍山是人口高度净流入城市,滁州、镇江和湖州是人口中度净流入城市,其中镇江为强中心性城市。人口净流出城市中,宿迁、盐城、连云港、泰州和温州是人口高度净流出城市,台州、淮南和淮安是人口中度净流出城市,其中泰州为强中心性城市。

②区县级尺度人口流动网络节点对称性分析。同样根据节点对称性分析区县级尺度人口流动网络中地区人口流入流出均衡性,并将其空间化(图 3b)。参考自然断点法,我们将节点对称性小于-0.05 的地区定义为人口高度净流出地区,将节点对称性大于-0.05 且小于 0 的地区定义为人口轻微净流出地区,将节点对称性大于 0 且小于 0.05 的地区定义为人口轻微净流入地区,将节点对称性大于 0.05 的地区定义为人口高度净流入地区。

结果显示,区域人口高度净流入的地区在空间上较分散,包括浙江省西部的淳安县、遂昌县、文成县、磐安县,东部的岱山县,上海的宝山区,江苏省的雨山区及安徽省的明光市,其中宝山区为强中心性地区。而区域人口高度净流出的地区同样在空间上较分散,包括浙江省西部的富阳市、金东区、松阳县、景宁畲族自治县,东部的岱山县,上海的徐汇区,江苏省的虎丘区、新北区、高港区、阜宁县、涟水县、连云区、花山区及安徽省的庐江县、潘集区、鸠江区,其中徐汇区为强中心性地区。

总体来看,区域人口净流出的区县主要分布于江苏省中部及浙江省中部,而区域人口净流入的区县主要分布于上海、安徽省、浙江省外围及江苏省外围。

2.4.2 链接对称性分析

根据链接对称性分析城际人口流动的主要方向和差异程度,进而揭示两两城市间的不平等吸引关系,对节点对称性的结果作进一步补充。

①地市级及以上尺度人口流动网络链接对称性分析。对于城际人口流动总人次较少“城市对”,其间人口流动欠活跃,对应的链接对称性具有一定偶然性。因此,本研究剔除了城际人口流动总人次较少的“城市对”,以 100 人次为城际人口流动总人次的阈值,仅将城际人口流动总人次大于 100 人次的“城市对”作为研究对象。同时,参考自然断点法,本文认为链接对称性小于 0.03 表明城际人员流动基本对称,将对称性在 0.03-0.07 的链接定义为轻微不对称联系,将对称性在 0.07-0.13 的链接定义为中度不对称联系,将对称性在 0.13~0.20 的链接定义为显著不对称联系,将对称性大于 0.20 的链接定义为高度不对称联系。

为了表征强中心性城市同其他单个城市人流联系的对称性,我们提取了强中心性城市及同其人口高度/显著不对称流动的城市,并将流向强中心性城市的高度/显著不对称链接定义为显著/中度虹吸,将始于强中心性城市的高度/显著不对称链接定义为显著/中度辐射(图 4a)。结果显示,强中心性城市中,上海、苏州、杭州、南京对个别城市存在人口虹吸现象:上海的人口高度净流入自淮南,显著净流入自宿迁和连云港;苏州的人口高度净流入自淮南与丽水;杭州的人口显著净流入自宿迁和盐城;南京的人口显著净流入自台州和温州。南通、常州、绍兴、扬州对个别城市存在人口向外辐射现象:南通、常州的人口显著净流出至舟山;绍兴的人口显著净流出至连云港和芜湖;扬州的人口高度净流出至合肥,显著净流出至温州和金华。金华、合肥、无锡、宁波、嘉兴对个别城市同时存在虹吸与辐射现象:金华的人口显著净流出至马鞍山和湖州,同时显著净流入自扬州;合肥的人口高度净流出至舟山,显著净流出至淮安,同时高度净流入自扬州和泰州,显著净流入自台州;无锡的人口高度净流出至舟山,同时显著净流入自宿迁;宁波的人口显著净流出至湖州和马鞍山,同时高度净流入自连云港,显著净流入自徐州和淮南;嘉兴的人口显著净流出至滁州、丽水和舟山,同时高度净流入自连云港,显著净流入自淮安。

通过 2.4.1, 我们发现在强中心性城市中, 镇江和泰州的人口流动不对称性较强。而从链接对称性结果看, 镇江作为人口中度净流入城市, 人口的净流入主要贡献自淮南, 同时其人口显著净流出至湖州与马鞍山; 泰州作为人口高度净流出城市, 人口的净流出主要贡献自合肥和舟山, 同时其人口显著净流入自台州。

②区县级尺度人口流动网络链接对称性分析。在区县级尺度上, 本研究以 50 人次为地区间人口流动总人次的阈值, 仅将地区间人口流动总人次大于 50 人次的“城市对”作为研究对象, 以避免人口流动欠活跃“城市对”的异常链接对称性对研究结果产生负面影响。同时, 参考自然断点法, 本文认为链接对称性小于 0.06 表明城际人口流动基本对称, 将链接对称性大于 0.45 的链接定义为城际人口高度不对称联系。

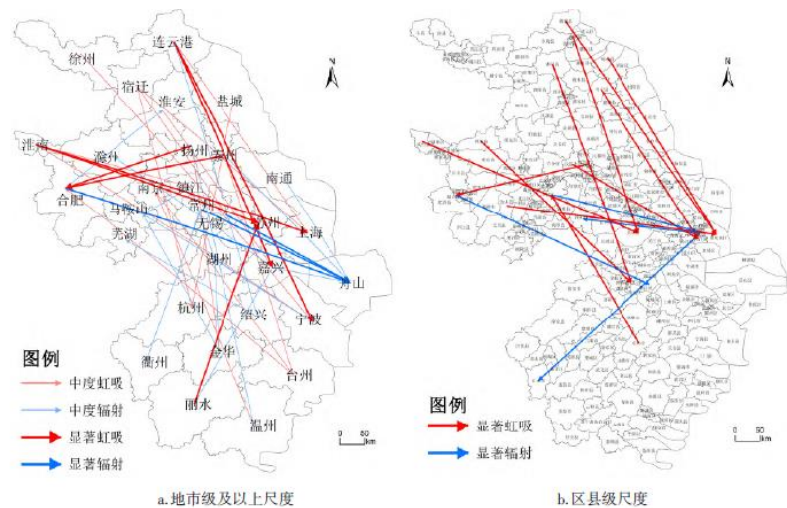


图 4 长三角人口流动网络强中心性城市链接对称性

为了表征强中心性地区同其他单个地区人流联系的对称性, 我们提取了高度不对称链接中含强中心性城市的“城市对”, 将流向强中心性地区的高度不对称链接定义为显著虹吸, 将始于强中心性地区的高度不对称链接定义为显著辐射(图 4b), 并根据链接对称性大小进行重新排名(表 3)。结果显示, 中心性第一梯队的地区中, 闵行区、浦东新区、吴中区对个别区县存在人口显著虹吸现象: 浦东新区的人口高度净流入自响水县、赣榆区和含山县, 闵行区的人口高度净流入自阜宁县和仪征市, 凤台县和海州区的人口高度净流出至吴中区。而蜀山区对个别区县同时存在人口显著虹吸与显著辐射现象: 蜀山区的人口高度净流入自广陵区, 高度净流出至萧山区。在中心性第二梯队的地区中, 江干区表现为人口高度净流入自沭阳县和凤阳县, 徐汇区表现为人口高度净流出至溧阳县和江山市, 江宁区表现为人口高度净流出至长宁区, 且人口高度净流入自东阳市, 而秦淮区、普陀区(上海)、包河区、鼓楼区(南京)、静安区同其他地区不存在人口显著虹吸或显著辐射现象。结合地级市与区县链接对称性结果, 发现从扬州高度净流出至合肥的人口, 主要从扬州的广陵区流向合肥的蜀山区; 而从淮南高度净流出至苏州的人口, 主要从淮南的凤台县流向苏州的吴中区。

表 3 长三角强中心性地区同其他地区人口高度不对称流动情况

排名	流出地区	流入地区	链接对称性
1	广陵区(扬州)	蜀山区(合肥)	0.7857
2	凤台县(淮南)	吴中区(苏州)	0.7302
3	沭阳县(宿迁)	江干区(杭州)	0.6941
4	响水县(盐城)	浦东新区(上海)	0.6721
5	蜀山区(合肥)	萧山区(杭州)	0.6446
6	东阳市(金华)	江宁区(南京)	0.6119

7	凤阳县（滁州）	江干区（杭州）	0.6098
8	徐汇区（上海）	溧阳市（常州）	0.6038
9	江宁区（南京）	长宁区（上海）	0.5573
10	赣榆区（连云港）	浦东新区（上海）	0.5146
11	徐汇区（上海）	江山市（衢州）	0.4902
12	阜宁县（盐城）	闵行区（上海）	0.4894
13	仪征市（扬州）	闵行区（上海）	0.4857
14	海州区（连云港）	吴中区（苏州）	0.4769
15	含山县（马鞍山）	浦东新区（上海）	0.4737

3 结论与讨论

长三角城市群人口流动网络整体形成“直辖市—省会城市—一般地级市”的三级梯队结构,网络空间结构以城际联系强度随距离增大而衰减的“中心地”模式占据主导,尚未进入到“中心流”模式主导的阶段。网络中强中心性城市以上海为轴心,连带浙江省北部与江苏省南部,已初步形成“苏南—上海—浙北”强中心性城市连绵带。进一步看,该城市连绵带中上海、杭州、南京、苏州的人口流动均表现为城内与城际协调融合的状态。而合肥作为强中心性城市与安徽省核心城市,各区县人口流动总量两极分化现象较显著,且其人口流动呈“市内强,城际弱”态势,并没有融入区域强中心性城市连绵带,这可能与合肥同其他强中心性城市距离较远有关。然而由于邻近强中心性城市的滁州、马鞍山、湖州、舟山受到前者的辐射带动作用,其在工作日人口不断净流入,城市中心性与竞争力增强,将逐渐形成更为完整的“皖中—苏南—上海—浙北”强中心性城市连绵带,长三角一体化程度将进一步提升。究其原因,由于强中心性城市发展到了一定阶段,城市产业结构不断调整与升级,金融业等现代服务业快速发展,传统工业不断向周边中小城市转移,具体表现为强中心性城市在中小城市的产业投资力度加大,并设立系列子公司及工厂,人口在中小城市不断集聚,后者将承担强中心性城市的经济腹地角色。在该背景下,应完善此类中小城市的公共服务配套,并放宽城市落户限制,以更好留住人才资源。

然而由于地理距离的限制,一般强中心性城市优先考虑邻近地区作为经济腹地,这使得其辐射带动范围十分有限,同时也是造成区域工作日人口流动“核心—边缘”结构较为显著的重要原因。此外,处于区域边缘位置的江苏省北部城市与浙江省南部城市在工作日人口净流出现象较为显著,区域“核心—边缘”结构正在强化,不利于长三角城市群的一体化发展,而链接对称性结果显示其基本净流向区域中部的强中心性城市连绵带,可见强中心性城市对中小城市的虹吸现象较显著。在此背景下,亟需区域边缘城市在立足地域特色基础上,寻求区别于其他城市的差异化发展路线,深化区域产业分工,同时进一步完善联系强中心性城市的交通、信息基础设施,促使区域边缘城市战略性承接强中心性城市的优质产业,加大其产业投资力度与子公司、工厂开设数量,以扩大强中心性城市的经济腹地范围,强化其辐射带动能力,促进区域空间结构从“中心地”模式向“中心流”模式转变,最终提升长三角城市群的一体化发展水平。具体来看,强中心性城市中,上海、苏州、无锡、杭州、宁波、扬州、嘉兴和镇江在工作日均表现为人口的净流入,在产业上对其他城市的人口具有一定吸引力。其中镇江人口呈较强的净流入,有潜力成为区域新的经济增长极。而南京、常州、金华、绍兴、合肥、南通和泰州在工作日均表现为人口的净流出,且基本净流向弱中心性城市,可见其正以产业转移形式辐射带动中小城市发展。

不同空间尺度下人口流动网络的中心性与对称性为明确城市差异化发展路径提供科学支撑。从中心性上看,泰州虽然整体中心性较强,但并不存在强中心性区县,建议战略性全面统筹并结合地方发展潜力着重发展个别区县,以加快形成具有区域竞争力的强中心性区县,进而提升城市整体竞争力。此外,区域内存在不少城市虽然城市整体中心性较弱,但存在中心性较强的区县(徐州、温州、芜湖、盐城、淮安),需要在未来进一步巩固强中心性区县经济实力的同时,发挥其对其他区县的辐射带动作用,促进城市协调共荣。而对于整体中心性及区县中心性均较弱的城市(丽水、衢州、台州、舟山、湖州、滁州、宿迁、连云港、芜湖、淮南),亟需培育城市内具有较大发展潜力的区县作为新的经济增长极。从对称性上看,温州、连云港、盐城和泰州虽然表现为人口净流出,但均

存在人口净流入的区县,体现其仍具有一定产业发展潜力,需要立足地方资源环境本底,强化地方产业发展优势,从而推动劳动力回流。而宿迁所有区县均表现为人口净流出,亟需明确地方产业特色,优化营商环境,提升招商引资水平。

与此同时,本研究刻画的人口流动网络结构特征缺乏时间上的纵向比较,难以表征网络结构特征的演变过程。其次,本研究对于地区间人口流动原因,采取的是经验上的假设,而未结合问卷、访谈等实地调查进行验证,这些都是我们在未来的研究中需要改进的方向。

参考文献:

- [1]吴康,方创琳,赵渺希.中国城市网络的空间组织及其复杂性结构特征[J].地理研究,2015,34(4):711-728.
- [2]Castells M. Globalisation, networking, urbanisation: reflections on the spatial dynamics of the Information Age[J]. Urban Studies,2010,47(13):2737-2745.
- [3]Taylor P J,Hoyler M,Verbruggen R. External urban relational process:introducing central flow theory to complement central place theory[J]. Urban Studies,2010,47(13):2803-2818.
- [4]Castells M. The rise of the network society[M]. Oxford:John Wiley & Sons,2011.
- [5]焦敬娟,王姣娥,金凤君,等.高速铁路对城市网络结构的影响研究——基于铁路客运班列分析[J].地理学报,2016,71(2):265-280.
- [6]Ye K,Liu G,Shan Y. Networked or un-networked? A preliminary study on KIBS-Based sustainable urban development:the case of China[J]. Sustainability,2016,8(6):509-521.
- [7]刘正兵,丁志伟,卜书朋,等.中原城市群城镇网络结构特征分析:基于空间引力与客运联系[J].人文地理,2015,30(4):79-86.
- [8]孟德友,冯兴华,文玉钊.铁路客运视角下东北地区城市网络结构演变及组织模式探讨[J].地理研究,2017,36(7):1339-1352.
- [9]庄德林,杨羊,晋盛武,等.基于战略性新兴产业的长江三角洲城市网络结构演变研究[J].地理科学,2017,37(4):546-553.
- [10]刘辉,申玉铭,孟丹,等.基于交通可达性的京津冀城市网络集中性及空间结构研究[J].经济地理,2013,33(8):37-45.
- [11]叶强,张俪璇,彭鹏,等.基于百度迁徙数据的长江中游城市群网络特征研究[J].经济地理,2017,37(8):53-59.
- [12]Lu S,Huang Y,Zhao Z,et al. Exploring the hierarchical structure of China's railway network from 2008 to 2017[J]. Sustainability,2018,10(9):3173-3187.
- [13]王姣娥,景悦.中国城市网络等级结构特征及组织模式——基于铁路和航空流的比较[J].地理学报,2017,72(8):1508-1519.

-
- [14]Blondel V D,Guillaume J L,Lambiotte R,et al. Fast unfolding of communities in large networks[J]. Journal of Statistical Mechanics:Theory and Experiment,2008(10):10008-10019.
- [15]Newman M E J. Fast algorithm for detecting community structure in networks[J]. Physical Review E,2004,69(6Pt2):066133.
- [16]Zhan C,Derudder B,Peng Z. Comparing the physical,functional and knowledge integration of the Yangtze River Delta city-region through the lens of inter-city networks[J]. Cities,2018,82:119-126.
- [17]Limtanakool N,Dijst M,Schwanen T. A Theoretical frame work and methodology for characterising national urban systems on the basis of flows of people:empirical evidence for France and Germany[J]. Urban Studies,2007,44(11):2123-2145.
- [18]Limtanakool N,Schwanen T,Dijst M. Developments in the Dutch urban system on the basis of flows[J]. Regional Studies,2009,43(2):179-196.
- [19]Beaverstock J V,Smith R G,Taylor P J. World-city network:a new metageography?[J]. Annals of the Association of American Geographers,2000,90(1):123-134.
- [20]Beaverstock J V,Smith R G,Taylor P J,et al. Globalization and world cities:some measurement methodologies[J]. Applied geography,2000,20(1):43-63.
- [21]Pearce J,Dorling D. Tackling global health inequalities:closing the health gap in a generation[J]. Environment and Planning A,2009,41(1):1-6.
- [22]Smith D A,Timberlake M. Conceptualising and mapping the structure of the world system's city system[J]. Urban Studies,1995,32(2):287-302.
- [23]陈映雪,甄峰,王波,等. 基于微博平台的中国城市网络信息不对称关系研究[J]. 地球科学进展,2012,27(12):1353-1362.
- [24]马妍,薛峰,孙威,等. 海峡西岸经济区城市网络特征分析——基于功能网络与创新网络的视角[J]. 地理研究,2019,38(12):3010-3024.
- [25]赵梓渝,魏冶,王士君,等. 有向加权城市网络的转变中心性与控制力测度——以中国春运人口流动网络为例[J]. 地理研究,2017,36(4):647-660.
- [26]刘铮,王世福,赵渺希,等. 有向加权型城市网络的探索性分析[J]. 地理研究,2013,32(7):1253-1268.
- [27]高鑫. 基于交通流的重庆市各区县关联网络研究[D]. 长春:东北师范大学,2014.
- [28]韩小爽. 安徽省城市一区域空间格局研究——基于经普数据[D]. 上海:华东师范大学,2017.

[29]侯贺平. 湖北省多尺度社会经济空间网络构建与分析[D]. 武汉:武汉大学, 2015.

[30]孙阳, 姚士谋, 张落成. 中国沿海三大城市群城市空间网络拓展分析——以综合交通信息网络为例[J]. 地理科学, 2018, 38(6):827-837.

[31]路紫, 张秋雯, 邢晨宇, 等. 基于图论的 SNS 社区中人际节点空间关系的中心性研究——以新浪微博为例[J]. 经济地理, 2013, 33(12):77-83.

[32]高更和, 罗庆, 樊新生, 等. 中国农村人口省际流动研究——基于第六次人口普查数据[J]. 地理科学, 2015, 35(12):1511-1517.

[33]崔大树, 张晓亚. 长江三角洲城市群空间效率测度研究[J]. 地理科学, 2016, 36(3):393-40.