

# 基于社会网络分析的长三角地区人口迁移及演化

王 珏<sup>1,2</sup>, 陈 雯<sup>1</sup>, 袁 丰<sup>1</sup>

(1. 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:** 在当今全球化与地方化、区域化的背景下, 物质和能量在各节点间的高速流动促进了城市网络的形成并成为一种新的区域组织模式和空间结构, 尤其是对区域一体化高度发达的区域产生了深刻影响。以长江三角洲地区为例, 从人口迁移的网络空间入手, 从网络密度、中心势等角度对1982-2010年长三角地区人口网络的演变进行研究。结果表明: 整体上人口迁移网络日趋成熟, 但空间分布不均衡; 人口迁移主要流向上海、杭州、南京、宁波和苏锡常等核心城市, 同时这些城市的人口外迁现象逐渐显现; 以无锡、苏州、杭州之间人口迁移联系为主体的省际间人口流动行为增多, 空间上具有等级扩散的特征; 不同空间尺度的网络结构相互嵌套, 在地方尺度下形成了江苏以邻域渗透为主和浙江的等级辐合两种网络结构。最后从就业机会、收入水平、产业结构、迁移成本等方面分析了人口迁移网络的演化历经均质离散—单核心集聚—多核心等级网络—链式空间网络四个阶段的成因。

**关键词:** 人口迁移网络; 社会网络分析; 重力模型; 长江三角洲

DOI: 10.11821/dlyj201402016

## 1 引言

人口迁移是城市地理学的传统关注焦点, 也是研究城市间相互作用和联系的重要途径。自20世纪40-50年代Zipf提出人口流动的重力模型<sup>[1]</sup>, 展开了对人口迁移的系统研究以来, 在模型算法、数据获取以及迁移机制等方面取得突破。首先在模型算法方面, Montis等在原有的重力模型基础之上从模型的参数、变量的设定等方面对模型加以改进<sup>[2-4]</sup>。尤其是21世纪后系统工程等学科在人口迁移模型中的应用, 创建出各种人流量的新算法, 如Barthélemy空间网络模型等<sup>[5-11]</sup>。近期, Simini等根据迁移决策的随机过程, 提出了无参数的辐射模型(the radiation model)。该模型通过证实人口迁移的自相似性, 即在人口源地规模和迁移尺度比例变化条件下, 人口迁移的概率不变, 实现了在只输入人口分布信息的条件下就可较为精确地模拟人口的迁移流量的目标<sup>[12]</sup>。同时, GPS高分辨率和社会网络(诸如Foursquare)数据的补充, 大大推动了人口流动的研究。Lawlor等通过Brightkite的签客数据从多空间尺度构建了权重型的城市居民的迁移模式<sup>[13]</sup>。Noulas等人利用基于GPS智能手机定位服务获取了精确的区位数据, 对全球主要34个大都市的城市人口迁移模型进行了研究。结果表明城市的社会、文化环境等存在差异, 但迁移模式存在普遍性, 表现为迁移概率与城市位序成反比<sup>[14]</sup>。在强调研究模型和方法的创新之外,

收稿日期: 2013-07-21; 修订日期: 2013-11-25

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41130750); 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-YW-339)

作者简介: 王珏(1988-), 女, 浙江省湖州人, 硕士, 主要研究方向区域发展和规划。

E-mail: jwang@niglas.ac.cn

Skeldon等从社会平等、种族隔离、土地制度等人文地理要素分析,解释了国际移民、技术移民等迁移动机和偏好<sup>[15-18]</sup>。近年来,国内学者的研究视角也从人口预测、人口空间分布开始转向人口迁移流模式和特征研究<sup>[19-22]</sup>。但大多针对人口数量的时序特征或空间分布格局的定态分析,研究数据以属性数据为主,并以省或某一行政单元内居民点为研究尺度,缺乏对跨区域人口迁移网络模式的探讨,因此需要引入新的研究方法和视角。社会网络分析以行动主体之间的关联为数据,通过构建主体之间的联系,弥补了原有属性数据的不足,为研究人口迁移网络提供了新的分析工具。因为人口的迁入或迁出并不完全取决于迁入地或迁出地的属性,而是权衡各类因素之后的结果,单纯从迁入率(量)、迁出率(量)、净迁移量都会耗损部分信息<sup>[23,24]</sup>;与之不同的是,社会网络分析是从关系数据的角度出发,可以综合考察不同地区之间人口流向和流量以及相互之间的联系,从而描述出人口迁移中群体集聚和联络关系的动态变迁过程,以减少属性数据的信息耗损。因此,运用社会网络分析研究人口迁移网络不仅具有其特殊的优势,也是有益的探索。

人口迁移网络是指依托于城市网络并以城市为节点、人口迁移流向和流量连线表征节点间关系的结构。根据空间的依赖程度不同,还可将其进一步分为认知层、物理层、关系层三个层次<sup>[25]</sup>。其中,在认知层,人口迁移倾向于有共同文化、历史和认同感的区位,造成了潜在人口迁移偏好的空间差异;在物理层,现实的经济势能、信息和交通的可达性等外部条件将进一步决定人口是否真正迁入某一地理空间,形成实际的人口迁移流,并表现出对空间的强烈依赖性;而关系层则在物理层基础上形成基于亲缘等人际关系和企业间生产关系的社会空间,因而对空间依赖性最弱。由于人口迁移网络的多层次性,使得人口迁移网络空间也具有显著的差异性,突出表现为:①移动速度上,人口迁移网络兼具内、外部性,即人口迁移在网络中移动的快慢不仅受制于运输方式、户籍管制等外部制约,还取决于行为者信息完整性、家庭决策、价值取向等内部差异;②距离对迁移的影响具有空间尺度分化的特征,即在大空间尺度范围内距离对迁移的影响较大,而在中小尺度下的影响作用会逐渐弱化;③迁移场所方面,在物理层具有相互隔离的特性,而在认知层和关系层上具有空间收敛性。

伴随全球化与地方化、区域化的进程,人口流动网络化的趋势日益显著<sup>[26,27]</sup>,尤其是资源、信息、人才等跨区域自由流动的特征使得城市间联系的空间通道和生产组织方式多样化,中心地理论所强调等级性的城市经济联系和地域组织模式发生改变。在城市网络中,各种企业及组织间以价值创造为导向的横向、纵向的正式与非正式的联系构成了人口迁移网络存在的基础<sup>[28]</sup>。因此,本文基于人口迁移网络的内涵、特征及现有研究的基础,首先借鉴重力模型重构人口迁移的关系数据,采用网络分析方法对长江三角洲74个城市的4个时点的人口迁移流进行实证分析;然后探讨长江三角洲人口迁移网络形成的影响机制,并在此基础上,提出人口迁移网络空间模式的演化假设,旨在为长三角区域一体化的发展提供新的分析视角。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与网络构建

根据社交网络的重力法则(gravitational law of social interaction)<sup>[29-32]</sup>,本文在Taylor

提出的人口重力模型的基础上, 假设迁入地与迁出地经济水平与迁移人口吸引力成正比, 并考虑到城市间结构差异导致的引力贡献不一, 将参数 $k$ 定义为城市GDP占两个城市GDP的比重以表征城市经济结构差异, 将城市 $i$ 对城市 $j$ 的人口引力表示为:

$$T_{ij} = K \frac{\sqrt{P_i \times G_i} \times \sqrt{P_j \times G_j}}{d_{ji}^b}, K = \frac{G_i}{G_i + G_j} \quad (i \neq j, T_{ij} = 0, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中:  $T_{ij}$  是城市 $i$ 对城市 $j$ 的引力大小;  $P_i$  和  $P_j$  是城市规模 (这里指人口规模);  $G_i$  和  $G_j$  是相应的人均GDP水平;  $d_{ji}$  指 $i$ 和 $j$ 两地之间的最短交通距离, 用ArcGIS中任意两地间行政中心的直线距离代替<sup>[33]</sup>;  $b$ 为距离衰减系数<sup>①</sup>。采用1982年、1990年、2000年、2010年长江三角洲74个地区<sup>②</sup>的人口普查数据, 利用公式(1)计算4个时段任意2个城市之间的人口引力, 以此得到4个 $74 \times 74$ 的矩阵 $X_{ij}$ 作为初始矩阵。通过剔除引力异常值后的引力的均值作为人口迁移网络的切分点 (当迁移人口引力达到某一切分值代表两者之间有关系, 记为1; 反之则为0<sup>[35]</sup>), 得到二值化矩阵 $X'_{ij}$ , 表示各节点之间是否具有迁移流关系的1-mode有向网络, 从而构建了长江三角洲地区人口迁移的网络数据。

## 2.2 网络分析指标

(1) 人口迁移网络密度: 测量网络的数量指标, 表示网络中节点联系的紧密程度<sup>[36]</sup>。密度值越大, 节点联结数量和人口流动性也越大。计算公式如下:

$$D = \frac{L}{g(g-1)} \quad (2)$$

式中:  $L$ 为人口迁移网络中人口迁移关系数;  $g$ 表示人口迁移网络中城市数目。

(2) 人口迁移网络的中心性和中心势: 中心性是衡量人口迁移网络中某一城市在与其他城市互动中的影响力和控制力<sup>[37]</sup>; 中心势是指网络的整体中心性, 高数值表示网络中权利过分集中, 网络结构趋于不均衡化<sup>[38]</sup>。其内外程度中心性(3)式及中心势(4)式为:

$$C_{D,in}(n_i) = \sum_{j=1}^g r_{ij,in}; C_{D,out}(n_i) = \sum_{j=1}^g r_{ij,out} \quad (3)$$

$$C_D = \frac{[\sum_{i=1}^g C_D(n_i^*) - C_D(n_i)]}{\max \sum_{i=1}^g [C_D(n_i^*) - C_D(n_i)]} \quad (4)$$

式中:  $C_{D,in}(n_i)$  和  $C_{D,out}(n_i)$  分别表示内向程度中心性和外向程度中心性;  $r_{ij,in}$  表示从城市节点 $j$ 到 $i$ 的方向存在有向联系;  $r_{ij,out}$  表示 $i$ 到 $j$ 方向的有向联系;  $C_D(n_i^*)$  为网络中最大的程度中心度。

(3) 关联度和聚类系数: 从网络的结构维度出发, 测量人口迁移网络节点间的可达性的指标。其中, 关联度数的大小表示网络的连通程度, 而各个点的个体网密度系数的均值等于整个网络的聚类系数<sup>[38]</sup>。关联度数计算公式如下:

$$C = 1 - \left[ \frac{V}{N(N-1)/2} \right] \quad (5)$$

式中:  $V$ 是该网络中不可达的点对数目;  $N$ 是网络规模。

① 人口具有2维变量的特点<sup>[34]</sup>, 因而本文中 $b=2$ 。

② 本研究的长三角范畴仍界定为上海市, 江苏省的南京、苏州、无锡、常州、镇江、扬州、泰州、南通, 浙江省的杭州、宁波、湖州、嘉兴、绍兴、舟山、台州等16个城市。考虑到行政区划的调整, 对扬州和泰州的数据进行了相应年份差值运算, 并根据1982年后六合县、锡山市、武进、吴县等撤县并市, 对其数据以2010行政区划为标准进行了整理。

(4) QAP 相关分析: 是以重抽样为基础, 通过两个 1-mode 的  $N \times N$  矩阵中各个格值的相似性比较的方法, 给出两个矩阵之间的相关系数<sup>[38]</sup>。由于该方法可适用于观察值存在共线性、自相关等情况, 因而比 OLS 更加适合于网络数据的分析<sup>[38]</sup>。鉴于不同网络数据的量纲不同, 先采用极差标准化对人口迁移的自变量差值网络矩阵数据 (不包括对角线) 进行预处理<sup>[39]</sup>, 再使用 QAP 对人口迁移网络的影响机制进行相关和回归分析。

### 3 网络视角下的长三角地区人口迁移特征

根据上述方法, 对长江三角洲地区 74 个城市的人口迁移网络进行计算, 结合地理空间的网络格局, 其分析结果如下:

(1) 总体上人口流动性增强, 迁移网络日趋形成, 但空间分布不均衡。表 1 的计算结果显示, 自 1982-2010 年长三角地区的人口迁移网络整体密度、关联度和聚类系数普遍增加, 其幅度分别为 0.272、0.994、0.582, 网络趋于紧凑, 可达性提高, 表明城市间人口迁移渠道和交换行为增多。拓扑结构图更明显地显示了这种变化, 1982 年长三角地区人口迁移网络存在较多孤立节点, 核心节点数目稀少、等级分明, 只有少数城市间形成了一定规模人口迁移流; 到 2010 年网络密度大幅度提高, 节点的水平联系和连通度增加, 在核心节点之间、边缘节点与核心节点间都建立了较紧密联系 (图 1)。同时, 伴随着人口流动性的提高, 内向度数中心势显著高于外向度数中心势, 城市对人口的吸纳效应凸显, 形成了人口集聚与扩散的空间投影。总体上看, 人口迁移网络由萌芽阶段进入快速成长阶段, 上海单核心的网络模式正向多核心演变。

(2) 人口流向上海、杭州、南京等核心城市, 具有明显层次。如图 2 所示, 人口迁移网络的内向度数中心性与城市经济规模呈现一定的正相关。人口主要流向上海、杭州、南京、宁波和苏锡常等核心城市, 此外江阴、常熟、昆山等经济发展基础较好、实力雄厚或外向经济发达的地区也是主要的人口迁入地。而人口扩散并没有明显的空间偏好性, 随着时间变化在上海、南京、杭州以及中小城市均出现了人口的外迁现象, 基本上形成了“大扩散, 小聚集”的格局。按照城市的个体网络关系数由大到小的排列顺序, 观察图 3 可以发现四个明显的城市层次, 对其进一步划分构建了长三角地区人口迁移网络层级结构 (表 2): 上海、杭州, 网络连接度 >1300, 是人口迁移网络的核心, 与其他节点形成最广泛、最紧密的联系; 无锡、南京、苏州、常州、江阴、昆山、宁波等 7 个城市, 网络连接度 >1000, 是网络的副中心; 南通、常熟、张家港、宜兴、吴江等 11 个城市, 网络中心性 >600, 是区域内部人口迁移的枢纽, 主要承担地方性功能; 其余城市为一般节点, 网络中心性较低。

(3) 人口流动形成区域和地方两种空间尺度的网络结构。区域尺度, 省际人口流动性显著增强, 原以省内迁移为主的迁移模式正向省际、省内网络化发展。1982-2010 年浙江和江苏之间人口迁移网络的密度增长了近 15 倍, 增长幅度远超过省内的人口网络密度 (表 3)。结合人口迁移的空间结构演变, 进一步显示 2000 年后无

表 1 长三角地区人口迁移网络结构变化  
Tab. 1 The change of network structure in Yangtze

River Delta		1982	1990	2000	2010
密度		0.003	0.016	0.096	0.272
标准差		0.056	0.124	0.294	0.445
中心势	外向度数中心势	0.025	0.054	0.125	0.168
	内向度数中心势	0.136	0.373	0.861	0.738
关联度		0.004	0.383	0.946	0.998
聚类系数		0.228	0.579	0.797	0.810



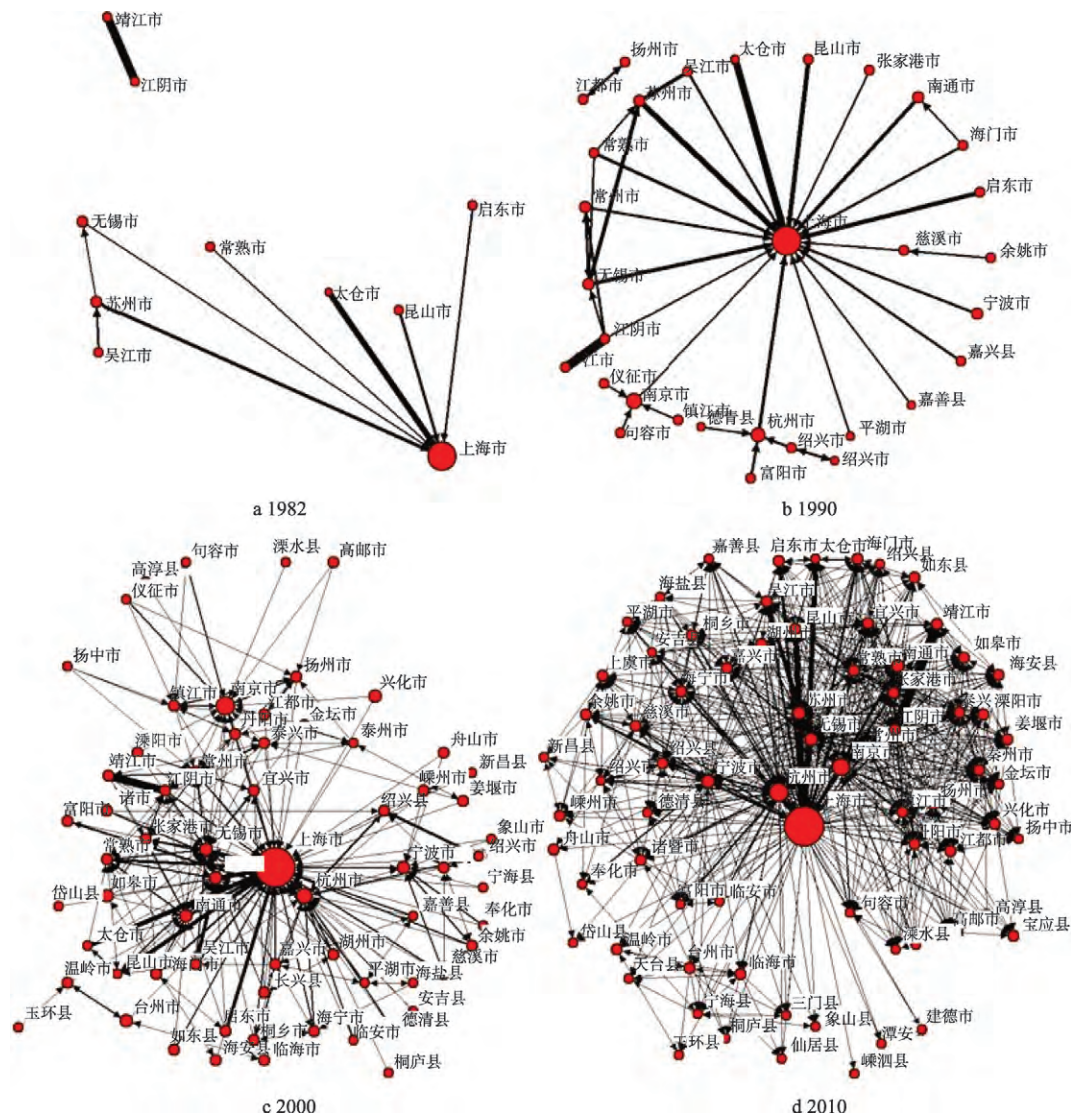


图1 长三角地区人口迁移网络的拓扑结构变化

Fig. 1 The topological structure of human mobility in Yangtze River Delta

注：由于1990-2010年引力值变动幅度很大，网络连线过于复杂，故图中1982年、1990年按照引力值大于均值1712切分，2000年、2010年按照引力值大于3330（2000年、2010年均值）切分。网络中弧的宽度代表不同的迁移引力大小，箭头表示迁入地对迁入地的人口引力方向，城市节点的大小表示城市人口总量。

锡、苏州、杭州为主体的省际迁移网络开始向两省纵深扩展，网络范围进一步扩大到南京、宁波等城市，并出现了由较高等级城市向临安、诸暨等次等级城市扩散的趋势（图4）。地方尺度上，形成了江苏和浙江两种不同的网络结构。主要表现为：江苏的迁移网络是以苏锡常及省会南京为核心，整体形态呈西向延展；网络中并存有苏锡常、吴江、扬州等多个迁移网络中心，因此核心—边缘结构并不显著；人口迁移以邻域渗透和核心节点间的交互流动为主。而浙江的人口迁移主要以杭州为核心，并呈现出单核心集聚向杭州、宁波双核心模式演变的趋势，核心—边缘结构明显；人口迁移以等级辐合型的空间模式为主（图5）。而形成这种结构差异的原因与城市空间分布、经济模式、历史文脉等因素密不可

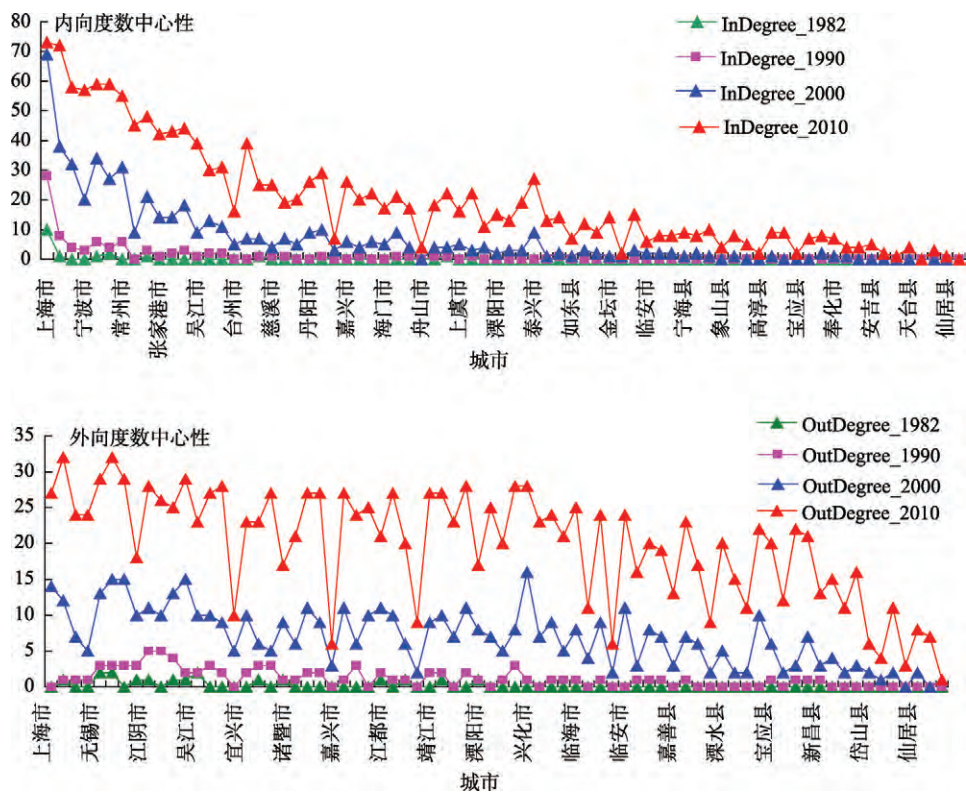


图2 人口迁移网络内向中心、外向中心性与城市规模关系图（只显示部分城市以为示例）  
Fig. 2 The relationship between centrality and city size in the network

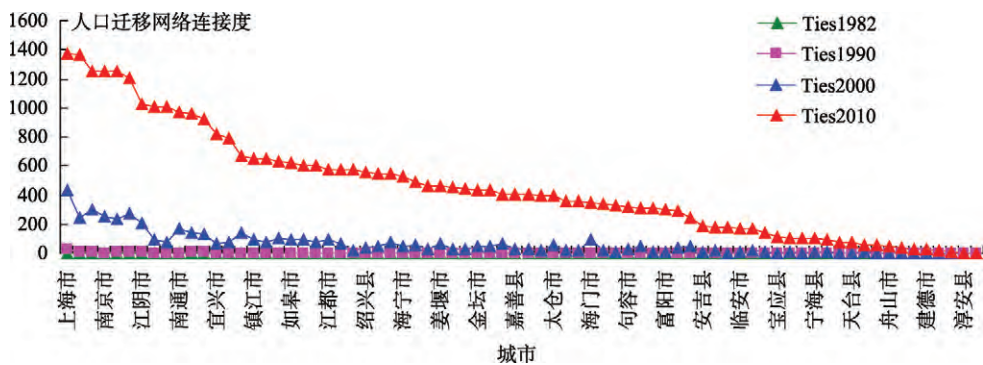


图3 人口迁移网络连接度排序图（只显示部分城市以为示例）  
Fig. 3 The rank of the connection rate of cities in the network

表 2 长三角地区人口迁移网络层级结构

Tab. 2 The hierarchy system of the cities in the network in Yangtze River Delta		
层级	网络中心性	城市目录
网络联系核心	>1300	上海、杭州
网络联系副中心	1000~1300	无锡、南京、苏州、常州、宁波、江阴、昆山
次区域网络联系中心	600~1000	南通、常熟、张家港、宜兴、吴江、泰兴、镇江、湖州、扬州、如皋、丹阳
地方网络联系节点	<600	靖江、江都、嘉兴、慈溪、绍兴县、桐乡、泰州等其余 54 城市



表 3 1982–2010 年长三角地区省际人口迁移密度

Tab. 3 The network density of inter–province migration from 1982 to 2010

1982	浙江	江苏	1990	浙江	江苏	2000	浙江	江苏	2010	浙江	江苏
浙江	0.314	0.129	浙江	0.649	0.332	浙江	1.688	1.182	浙江	2.286	2.063
江苏	0.129	0.676	江苏	0.332	1.256	江苏	1.182	2.155	江苏	2.063	2.469

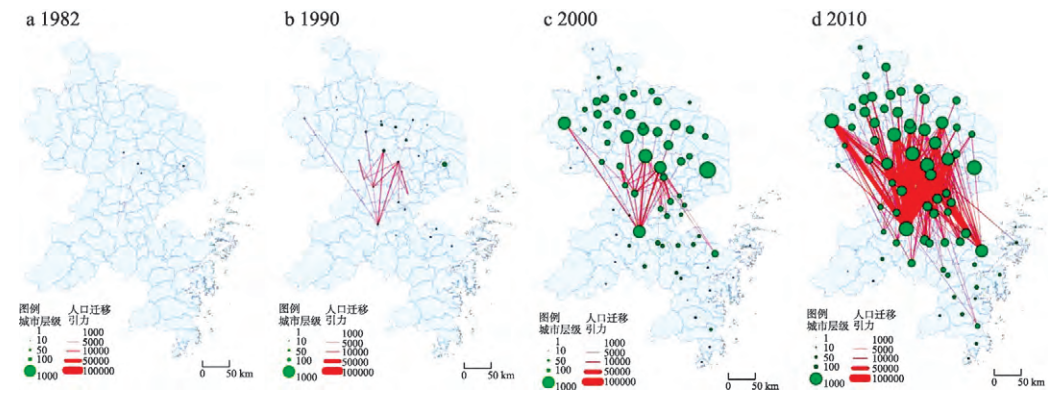


图 4 长三角地区苏浙两省人口迁移网络演化

Fig. 4 The evolution of inter-province migration network

注：由于 2000 年后城市人口引力作用大幅度增强，故对 1982–1990 年、2000–2010 年分别以 500 和 2000 为阈值，筛选引力强度大于阈值的人口迁移关系线并划分成 5 个等级，得到 1982–2010 年浙江、江苏两省间人口迁移网络图。

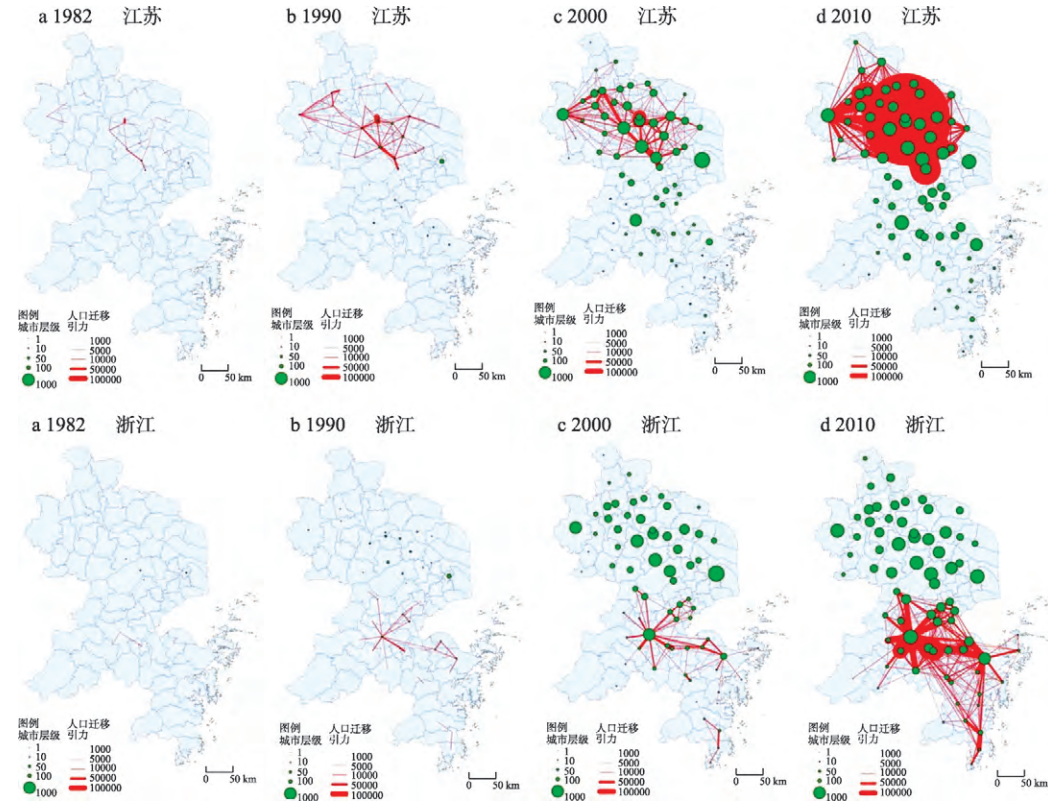


图 5 江苏、浙江省内人口迁移网络演化

Fig. 5 The evolution of Jiangsu and Zhejiang human mobility network

分。首先,从城镇布局来看,苏锡常地区是全国城市与城镇分布最为稠密的地区之一,且地域上分布均衡,这就为人口在邻接城市之间的频繁迁移创造了条件;而在浙江省内由于自然条件的约束及较为稀疏的城市空间布局等因素,人口聚集和迁移主要发生在核心城市,而与其他次等级城市的关联性就较小。其次,不同的经济路径也影响了人口迁移网络的特征。苏南地区发起自20世纪70-80年代的乡镇企业到90年代大规模引进外资不仅活跃和壮大了小城镇的经济和规模,还促进城镇间生产资料的交换,塑造了相对均衡的经济格局。而在此期间,浙东北利用邻近上海的区位优势,通过企业联营、“星期日工程师”等吸收上海经济和科技等资源的外溢,比浙西南获得先发优势,在浙江内部形成了以杭州为核心的浙东北和以宁波为中心的浙西南的发展格局。这种极化的发展格局进一步形成了人口网络中明显的核心—边缘结构,并在路径依赖和锁定效应下成为整个网络的骨架。此外,苏锡常地区也是吴文化发祥和传承的中心地带,有着共同的历史文化渊源,这份特殊的亲近感也拉进了人与人之间的心理距离,塑造了彼此渗透的人口迁移模式。

## 4 人口迁移网络演化的动因分析

### 4.1 人口网络化迁移动因的理论分析

人口迁移受到迁移主体的性别、教育、生命周期、年龄等微观因素的影响,也受到迁入地与迁出地经济发展状况等宏观背景的制约。这些因素决定了人口迁移的流向、流速及城市在人口迁移网络中的地位,进而塑造了人口迁移网络的结构特征。但由于微观分析视角往往忽视了结构性外界因素,因此本文主要从迁入地与迁出地之间的差异,从就业机会、收入水平、产业结构及迁移成本等视角讨论其演化过程。

首先,就业机会对人口迁移的作用主要表现为就业势能高的地区对人口的集聚能力强。尤其是20世纪80年代以来的经济全球化浪潮将“地点空间”改造成了“流的空间”,生产全球扩展与分化,促进了经济功能在世界范围内的分散和合并,导致了资本的空间不均衡分布,在资本集聚的地区产生了更高的就业势能,从而促发了跨界人口流动的产生<sup>[40]</sup>。Clark对美国州际人口迁移的研究、Richetts对在美国的加勒比海国家移民都表明,人口总是向资本密集的地区迁移<sup>[41,42]</sup>。而对于地区而言,资本的流动性又受到地区自身的对外开放程度的影响,外向经济越发达的地区,吸纳的外来投资更为丰富,就业机会也就相应增加。

其次,产业结构的转型为人口的跨界流动性提供了条件。随着制造业比重的下降、信息业和生产性服务业的比重的提升,一方面劳动密集型等企业逐渐将生产性部门外迁到劳动力成本较低的地区,成为了人口密集分布的中心;另一方面,以科技进步为依托的高级化的产业结构,提高了劳动生产效率,劳动力的数量需求向高素质人才转变,改变了传统由工资、就业机会等要素形成的人口迁移模式和特征<sup>[43]</sup>。

同时,收入水平是直接影响人口是否落脚于该地的关键因素。新古典经济学认为迁移的目的就在于获得更高的劳动报酬,因此劳动力总是由低收入地区流向高收入地区。但高收入地区的人口集聚优势并非一成不变,人口迁移决策是收益和成本权衡之后的结果,因而又必然受到迁移成本的制约。俞路对长三角、珠三角、京津冀三大都市圈的分析得出,当距离大于1200 m以上时,空间摩擦作用将凸显<sup>[19]</sup>。这种阻碍作用不仅在于空间上的隔离,更为重要的是所耗费的时间成本、心理成本及信息的不确定性。Schwartz通过实证研



究后指出物理距离、心理距离及信息流通三种距离中,信息流通是迁移决策的最主要的影响因子<sup>[44]</sup>。此外,区域的制度壁垒也会增加迁移成本,成为阻碍人口自由流动的制约因素。例如:中国长期以来的户籍制度限制了农村剩余劳动力向城市转移,形成了中国半开放、有限的劳动力流动体制,而且也成为了人口迁移的心理屏障<sup>[45]</sup>。

最后,文化、语言、宗教等属性在地方、小尺度上赋予了人口迁移网络的独特性。Mitchell将这种以共享诸多共性为基础的联结而成的社会经济网络称为族裔网络<sup>[40]</sup>。它所形成的团体认同感可以创造并维持一个排他性的商务关系系统,即族裔经济,使得处于这个网络中的每个成员都能够获得特殊的社会资本。而物理邻近是族裔经济得以发挥的主要要素,自我强化和认同则是族裔经济及族裔网络存在的基础。

## 4.2 指标选取及理论验证

基于上述的理论分析,本文从就业机会、收入水平、产业结构、迁移成本等维度考察长三角地区人口迁移网络的影响机制。其中,就业机会指标用人均全社会固定资产投资、实际利用外资表示,因为固定资产投资及外商投资反映了地区资本的集聚能力,地区的资本富集程度越高,则就业岗位的供给往往越为丰富。由于收入来源的多样化,实际收入水平远远高于统计上的收入数值,而且城镇、乡村的分离统计也无法体现城市、乡村人口迁移并存的现状,因此收入水平以人均社会消费品零售额作为替代变量<sup>[46]</sup>。产业结构分别用二、三产业比重和全员劳动生产率表示,其高级化的过程表现为第三产业比重的增加和劳动生产率提高。迁移成本包括生活成本、交通成本及边界效应三部分。其中生活成本主要通过城市的房价反映,搜集自房价网74个城市近两年的二手房均值;交通成本则以城市节点之间实际公路通行的最短时间来测度,通过百度地图查询功能共收集了2701个数据,构造了节点之间最短通行时间的O-D矩阵。边界效应测量户口门槛的限制作用,由于这个指标难以定量化,引入虚拟变量1和0分别表示迁入和迁出地同属一个省份或不同省份。综合以上因素,考虑到区域差异对人口迁移的重要影响<sup>[23]</sup>,本文构建了以上述要素的差异矩阵为自变量、人口迁移网络为被解释变量的分析模型<sup>[35]</sup>,通过QAP相关分析检验现有研究对长三角人口迁移网络的解释力。

由表4可见,本模型与已有研究及长三角的现实状况基本相符,具有一定的解释力。由于本模型中的自变量取自各城市节点的差值,因此表中相关系数为正,表示迁入地与迁出地差异越大,人口迁移流量越大,是吸引人口迁移的拉力;反之负数表示差值越大,迁移量越小,是阻碍人口流动的约束力。相关分析说明,对外开放程度、产业结构、生活成本及空间距离、边界效应对长三角地区人口迁移产生了显著影响;而收入水平、固定资产投资和劳动生产率的差异并没有成为人口迁移的主要因素,这与长三角地区整体发展水平较为均质、经济形势运行良好有关。其中,对外开放程度越高的城市对人口产生明显的拉力,这主要是由于外向型经济发达的地区经济活力强,对劳动需求大。产业结构对人口迁移的影响表现为产业结构越相似的地区间,人口的迁移量越大。根据Lewis的部门理论,由于工业部门的劳动生产率与边际收益远远高于农业部门,工业将成为吸纳农业剩余劳动力的部门。而随着长三角地区服务业的蓬勃发展及上海等地区退二进三的产业结构转型,劳动力开始由第二产业转向第三产业。2010年长三角地区服务业比重达到了45.85%,从业人员比例为40.75%,分别高出全国平均水平2.7%、6.1%,在这种趋势下,服务业发达地区之间的人口流动性可能将会进一步增强。房价对人口的流动具有带动作用,这主要是

表 4 长三角人口迁移网络动因分析

Tab. 4 The mechanism analysis of human mobility network in Yangtze River Delta

自变量	自变量解释	长三角人口迁移网络					
		QAP 相关分析		QAP 回归 1		QAP 回归 2	
		相关系数	P	标准化	P	标准化	P
	常数项			0.000		0.000	
就业机会	人均全社会固定资产投资差值网	0.009	0.295	-0.073**	0.003	-0.069***	0.001
	实际利用外资差值网	0.191***	0.001	0.220***	0.000	0.220***	0.000
收入水平	人均社会消费品零售额差值网	0.045	0.084	0.011	0.058		
产业结构	二三产业比重差值网	-0.095***	0.000	0.003	0.427		
	劳动生产率差值网	-0.009	0.438	-0.049*	0.024	-0.043*	0.019
迁移成本	平均房价差值网	0.120***	0.001	0.030	0.058	0.032*	0.031
	城际实际通行最短时间	-0.190***	0.000	-0.225***	0.000	-0.225***	0.000
	行政边界 0-1 网络	0.057***	0.000	-0.065**	0.007	-0.064**	0.007
	R <sup>2</sup>			0.085		0.085	
	调整后 R <sup>2</sup>			0.083		0.084	

注：\*表示在 0.05 显著水平下通过检验，\*\*表示在 0.01 显著水平下通过检验，\*\*\*表示在 0.001 显著水平下通过检验。

因为房价高的地区一般也是经济发展较为快速的城市，在经济收益的驱动下，人口仍然具有向高生活成本地区迁移的可能性。空间距离的增加对人口迁移起到阻碍作用，对于长三角交通网络较为发达的地区而言，这种空间距离的制约作用更加重要的意义在于信息的损失及社会关系网络的维护成本增加。行政边界与人口迁移为正相关，表明地域属性对人口流的黏着性正在减少，这与肖群鹰等对中国省际迁移的研究结果一致，而且从长三角省际迁移网络密度的大幅增加的现实也反映人口迁移体系已经从省内迁移向省际、省内的网络化模式发展。

选取所有自变量与人口迁移矩阵进行回归分析，模型可以解释人口迁移网络的 8.3% 变异，一般而言，同一数据的 QAP 回归分析一般比 OLS 分析的确定系数要低<sup>[38]</sup>。由于此时模型中较多变量未通过显著性检验，因此通过逐步回归剔除无显著意义的变量。模型的解释力略微上升，结果显示固定资产对人口迁移有显著影响，符合人口向资本密集地区集聚的理论假设。同时，劳动生产率的差异作用也开始显现，在劳动生产效率普遍较高的地区，出于劳动需求的相近性，人口的流动性也相应加强。而二三产业比重对人口迁移的意义不再显著，这可能是因为产业结构高级化的地区往往劳动生产效率高，经济较为发达，因此人口向产业发达地区集聚是受到经济差异的驱动。

5 人口迁移网络的空间演化过程

人口迁移作为区域空间结构演变过程中重要表现形式，早在 Friedmann 的空间一体化理论中就对前工业化时代到后工业化阶段过程中的人口流动进行了论述<sup>[47]</sup>，Peter Hall 在城市演变模型中又进一步详细地阐述了城市发展过程中人口在城市中心区、郊区及外围地区迁移的流量、流向变化；另一方面，Ravenstein 对 19 世纪后期英国等欧洲国家人口迁移空

间趋向的实证研究，以及近期Henrie等对美国西海岸所形成的新人口空间分配特征的分析<sup>[48,49]</sup>，从理论和实证两方面奠定了人口迁移的空间模式的理论基础。同时，Dredge基于旅游流特征提出的旅游流空间模式也为构建人口迁移网络的演化提供了有益的启示<sup>[50]</sup>。因此，基于上述的研究成果和长三角人口迁移网络的实证研究，本文提出人口迁移网络的变迁过程。

假设在人口迁移网络中：①迁入地与迁出地在空间上分离；②人口迁移网络具有空间弹性等级结构；③人口迁移网络是由节点、迁移路径、通道及引力范围四部分构成。其中，节点是指由各种设施、服务等集聚而成的具有多层结构的空间体（一般指城市），包括与城市交通设施、通信条件的便利程度相关的物理层和人们对城市的感知程度和以往经历形成的认知层。通道是指包括城际公交、地铁、铁路等交通廊道在内的人口迁移的物理通道。迁移路径是伴随通道产生的城市人口迁移的入口，且相较于通道，主要受到人们对城市信息获取的完整程度、城市形象认知、政府管制等软要素的影响。引力范围区是指以节点为圆心的城市对人口吸引所达的最大影响范围，邻近的节点间会出现引力范围区重叠。人口迁移网络的演化过程如下（图6）：

（a）均质离散阶段：工业发展早期受到自然条件的制约和交通手段的限制，地理距离成为影响人口迁移的首要因素，即随着距离的递增，地区之间的人口迁移行为越少。人口迁移主要集中在邻近地区之间，由于这些地区之间经济发展势能相当、亲缘相近、文化相通，地域间可形成双向的人口迁移流。整体上迁移通道和路径较少，人口流动速度较为缓慢，没有明显的核心，网络结构尚未形成。

（b）单核心集聚阶段：在长期的城市规模等级及就业和经济的位势差的累积作用下，城市之间形成非均衡的人口“引力”，原有离散的空间结构向等级辐合型空间模式演变，

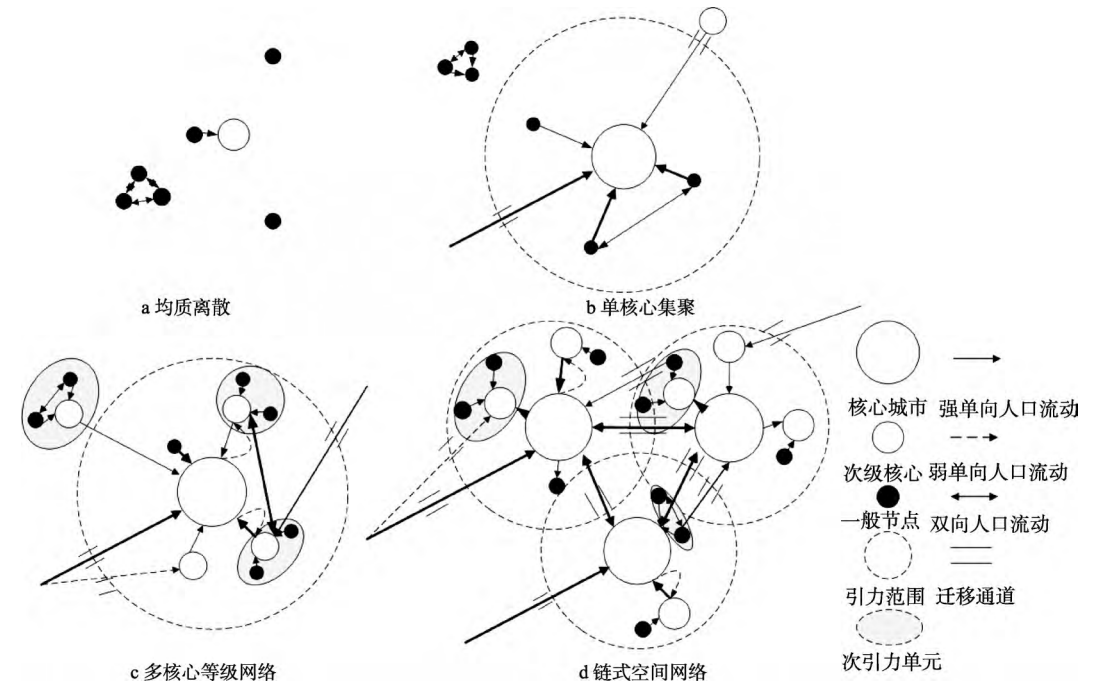


图6 人口迁移网络的演化

Fig. 6 The evolution of human mobility network



是人口迁移出现网络化特征的初期。在流动方向上,人口向高能量的城市(即网络中的强节点)迁移,形成与强节点连接的迁移通道和路径;在迁移速度上,流动性增强,但受到空间摩擦力、户籍管制、城市高等级人口门槛等作用,形成从乡村到集镇,再到小城市,最后汇聚于大城市的等级集聚的特征。但在边缘地区,由于信息可得性、运输条件等内外部制约仍可能存在离散的人口迁移空间结构。

(c) 多核心等级网络阶段:随着一些中小城市的成长,强节点城市周边逐步发展起次级人口核心(即网络中的次级节点),原有单中心的空间结构被多核心所代替,形成了次级节点和强节点引力单元嵌套的网络结构。原强节点的人口引力作用减弱,半径缩短,人口在流动方向上表现为由核心城市向邻近的乡村扩散和较远地区中小城市的人口向核心城市集聚的双流向特征,等级辐合型空间模式向辐合—扩散型演变。而次级节点与邻接地区依托便捷的交通或紧密的社会关系网络仍然可形成等级辐合型的迁移模式,进入(b)阶段。总体上迁移通道多样化,距离效应减弱,流动速度进一步加快;但迁移等级性仍较为明显。

(d) 链式空间网络阶段:伴随着(c)阶段所形成的多个次级节点中一些城市进一步发育为强节点,原引力范围区被分裂,区域内形成以强节点为中心的多个引力单元重叠的复杂网络结构。对于每个强节点而言,各自都具有独立的引力范围和通道,半径进一步缩小,但引力强度增大,人口主要向节点迁移,整个结构有向(b)或(c)发展的趋势,并在经济社会发展水平相当的强节点之间可形成双向的人口迁移流。区域内基本形成易通达的迁移通道,距离摩擦进一步削弱,资金、企业交流以及生产关系等路径对人口迁移的影响作用增强,人口在区域范围内基本实现自由流动。

## 6 结论与讨论

人口迁移网络是一个包含成长、壮大、甚至消亡的动态过程,长三角地区的人口迁移网络就经历了上海单核心的网络模式向多核心演变的过程,并形成了不同空间尺度下嵌套的网络特征。其中,在区域尺度下具有等级扩散特性,在地方尺度下表现为邻域渗透和等级辐合型两种网络模式。按照网络的演化过程,可将研究期划分为三个阶段:①萌芽期(1982-1990年):人口迁移网络中只存在上海一个强核心,且城市间人口流动较少,主要以省内为主。苏浙两省间的迁移主要集中在无锡、苏州和杭州三个城市。②生长期(1990-2000年):人口迁移网络进入快速成长阶段,省际间人口交流的城市节点增多,原有的核心—边缘结构逐渐向多核心演化。③成熟期(2000-2010年):人口迁移网络密度大幅度提高,城市间人口流动增强,出现了“大扩散,小聚集”的格局,人口主要向上海、杭州等城市集聚。不同空间尺度下的网络结构相互叠加,多核心网络结构逐渐成熟,并出现向链式模式演化的趋势。同时,通过对长三角地区人口迁移网络的动因分析,发现人口迁移网络不仅受到行政边界、空间距离的分割,城市节点间的收入、外向经济差异也深刻影响到网络的演化过程。

长久以来,人口流动扮演着沟通城市之间信息交流、促进资源交换和资本流动的重要载体,尤其是创新经济背景下的长三角,各种形式的面对面交流和知识的传播学习已经成为了城市创新过程中的关键角色;加之,各种企业之间建立起纵向和横向的生产网络,构

建了长三角多中心的城市网络结构。因此,人口迁移网络在很大程度上反映了城市网络的特征。但是,人口迁移网络并不是城市网络在地理空间上的简单表征。相比于城市网络中高速流动的资本和信息等物质流,人口的迁移具有强烈的“粘着性”和“依附性”。这表现为:一方面,家庭的代际纽带、乡缘亲情会“粘着”人口流,改变人口的流向和流速;各种制度环境,例如城乡二元结构、户籍制度、土地征用、医疗卫生等政策直接影响人口迁移的意愿。另一方面,人口的迁移需要依托一定的物质基础,交通基础设施、产业发展、基本公共服务供给及就业保障等条件的好坏往往限制了人口的迁移。因此,人口迁移网络可以成为研究长三角城市网络和区域一体化的重要补充。

同时,人口迁移网络的研究也为长三角城市发展战略提供了有益的启示。首先,随着长三角城市化和工业化进程的加快带来的人口向上海、杭州等中心城市高速集聚,城市拥堵、生活环境恶化、职住分离已经成为大城市可持续发展面临的拦路虎。因此,有必要加大对核心人口城市的公共服务配套设施建设,逐步改善城市内部的公共交通条件,增强应对人口增多可能带来的环境、管理等方面的挑战。其次,通过提高次区域人口网络中心的引力,有利于疏导大城市的人口压力,形成分散化集中的城市空间组织结构,从而遏制城市的无序蔓延,提升城市发展的空间质量和效率。同时,伴随高铁时代的到来,在城市空间规划中需要强化人口迁移流量较大的沿线的交通基础设施,尤其是加大对城际铁路、轨道交通的建设,为人口迁移提供必要的物质条件,可以发挥核心城市对周边地区的涓滴效应。此外,人口迁移网络还为城市的跨界合作提供了客观条件,促进了多层次多中心的区域管治模式建立。这种网络管治的模式不仅有利于制定有效的区域规划和区域协调政策,也将是实现长三角区域一体化的重要途径。

由于数据的可获性约束,本文运用修正后的重力模型构建基于人口迁移网络的研究仍存在一些不足,例如这种基于人口基数和城市经济总量基础之上获得的人口迁移数据只能体现相对“人口流动”,而不能完全反映出城市间实际的人口流动数量;而且,限于模型的局限,在模型的变量中并没有充分考虑到影响人口迁移其他相关的制度、社会、文化等因素,所构建的人口迁移网络有一定的局限性。因此有待进一步探索新的数据来源、采用新方法和模型,揭示区域一体化背景下人口迁移网络的形成及变迁过程。

## 参考文献(References)

- [1] Zipf G K. The P1 P2/D hypothesis: On the intercity movement of persons. *American Sociological Review*, 1946, 11 (6): 677-686.
- [2] Montis D A, Barthélemy M, Chessa A, et al. The structure of inter-urban traffic: A weighted network analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2007, 34(5): 905-924.
- [3] Reggiani A, Vinciguerra S. *Network connectivity models: An overview and empirical applications*. New York: Springer, 2007, 147-161.
- [4] Vries D, Nijkamp P, Rietveld P. Exponential or power distance-decay for commuting? An alternative specification. *Environment and Planning A*, 2009, 41(2): 461-480.
- [5] Barthélemy M. *Spatial networks*. *Physics Reports*, 2011, 499: 1-101.
- [6] Rouwendal J, Nijkamp P. Living in two worlds: A review of home-to-work decisions. *Growth and Change*, 2004, 35 (3): 287-303.
- [7] Wilson A G. Land-use/Transport interaction models-past and future. *Journal of Transport Economics and Policy*, 1998, 32(1): 3-26.
- [8] Choukroun J M. A general framework for the development of gravity-type trip distribution models. *Regional Science*

- and Urban Economics, 1975, (5): 177-202.
- [9] Fotheringham A S. Spatial structure and distance-decay parameters. *Annals of the Association of American Geographers*, 1981, 71(3): 425-436.
- [10] Fik T J, Mulligan G F. Spatial flows and competing central places: Towards a general theory of hierarchical interaction. *Environment and Planning A*, 1990, 22(4): 527-549.
- [11] Gargiulo F, Lenormand M, Huet S, et al. Commuting network models: Getting the essentials. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2012, 15(2): 6.
- [12] Simini F, González M C, Maritan A, et al. A universal model for mobility and migration patterns. *Nature*, 2012, 484(7392): 96-100.
- [13] Lawlor A, Coffey C, McGrath R, et al. Stratification structure of urban habitats. [http://ncg.nuim.ie/content/staff/staff/downloads/apozdnoukhov/stratified\\_habitats](http://ncg.nuim.ie/content/staff/staff/downloads/apozdnoukhov/stratified_habitats), 2012-8-7.
- [14] Noulas A, Scellato S, Lambiotte R, et al. A tale of many cities: Universal patterns in human urban mobility. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 104: 20167-20172.
- [15] Skeldon R. Trends in international migration in the Asian and Pacific Region. *International Social Science Journal*, 2000, 52(3): 369-382.
- [16] Riddell J B. Beyond the description of spatial pattern: The process of proletarianization as a factor in population migration in West Africa. *Progress in Human Geography*, 1981, 5(3): 370-392.
- [17] Bravoureta B E, Quiroga R E, Brea J A. Migration decisions, agrarian structure, and gender: The case of Ecuador. *Journal of Developing Areas*, 1996, 30(4): 463-376.
- [18] Jeanty P W, Partridge M, Irwin E. Estimation of a spatial simultaneous equation model of population migration and housing price dynamics. *Regional Science and Urban Economics*, 2010, 40(5): 343-352.
- [19] 俞路, 张善余. 基于空间统计的人口迁移流分析: 以我国三大都市圈为例. *华东师范大学学报: 哲学社会科学版*, 2006, 37(5): 25-31. [Yu Lu, Zhang Shanyu. Spatial analysis of population migration: The case study of three metropolitan areas in China. *Journal of East China Normal University: Philosophy and Social Science*, 2006, 37(5): 25-31.]
- [20] 张永庆, 赵海, 张文波, 等. 城市人口迁移的网络特征. *东北大学学报: 自然科学版*, 2006, 27(2): 169-172. [Zhang Yongqing, Zhao Hai, Zhang Wenbo, et al. Network characteristics of urban population migration. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2006, 27(2): 169-172.]
- [21] 林飞娜, 赵文青, 张萍. 基于 GIS 的城市人口空间分布模型与应用: 以长春市为例. *测绘科学*, 2008, 33(4): 163-166. [Lin Feina, Zhao Wenqing, Zhang Ping. GIS based urban population spatial distribution model and application in Changchun. *Science of Surveying and Mapping*, 2008, 33(4): 163-166.]
- [22] 郑明娟, 李满春, 毛亮, 等. GIS 支持的县域人口迁移空间模型研究: 以浙江省临安市为例. *长江流域资源与环境*, 2006, 15(3): 281-286. [Zheng Mingmei, Li Manchun, Mao Liang, et al. The spatial model for county-scope population migration aided by GIS. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006, 15(3): 281-286.]
- [23] 段成荣. 省际人口迁移迁入地选择的影响因素分析, *人口研究*, 2001, 25(1): 56-61. [Duan Chengrong. Factor analysis of ingoing places choice based on inter-provinces population migration. *Population Research*, 2001, 25(1): 56-61.]
- [24] 严善平. 中国省际人口流动的机制研究. *中国人口科学*, 2007, (1): 71-77. [Yan Shanping. Study of mechanism of inter-provinces population migration in China. *Chinese Journal of Population Science*, 2007, (1): 71-77.]
- [25] Li F, Whalley J, Williams H. Between physical and electronic spaces: The implications for organisations in the networked economy. *Environment and Planning A*, 2001, 33(4): 699-716.
- [26] 甄峰, 张敏, 刘贤腾. 全球化、信息化对长江三角洲空间结构的影响. *经济地理*, 2004, 24(6): 748-753. [Zhen Feng, Zhang Min, Liu Xianteng. Study on the influence of globalization and information on Yangtze River Delta region's spatial structure. *Economic Geography*, 2004, 24(6): 748-753.]
- [27] 罗震东, 张京祥. 全球城市区域视角下的长江三角洲演化特征与趋势. *城市发展研究*, 2009, (9): 65-73. [Luo Zhendong, Zhang Jingxiang. The development characters and trends of Yangtze River Delta from the global city-regions perspective. *Urban Studies*, 2009, (9): 65-73.]
- [28] 池仁勇. 区域中小企业创新网络形成、结构属性与功能提升: 浙江省市政考察. *管理世界*, 2005, (10): 102-112. [Chi Renyong. The formation, structure and function of regional innovative network of small and medium-sized enterprises:



- A case study of Zhejiang province. *Management World*, 2005, (10): 102-112.]
- [29] Lambiotte R, Blondel V D, Kerchove D C, et al. Geographical dispersal of mobile communication networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2008, 387(21): 5317-5325.
- [30] Krings G, Calabrese F, Ratti C, et al. Urban gravity: A model for inter-city telecommunication flows. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2009, (7): 1-8.
- [31] Levy M. Scale-free human migration and the geography of social networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2010, 389(21): 4913-4917.
- [32] Hu Y, Wang Y, Di Z. The scaling laws of spatial structure in social networks. <http://arxiv.org/abs/0802.0047>, 2012-10-25.
- [33] 朱杰. 长江三角洲人口迁移空间格局、模式及启示. *地理科学进展*, 2009, 28(3): 353-361. [Zhu Jie. Spatial structure, mode and the meaning of population migration in the Yangtze River Delta. *Progress in Geography*, 2009, 28(3): 353-361.]
- [34] Lee Y. An allometric analysis of the US urban aystem. *Environment and Planning A*, 1989, 21(4): 463-476.
- [35] 刘法建, 张捷, 陈冬冬. 中国入境旅游流网络结构特征及动因研究. *地理学报*, 2010, 65(8): 1013-1024. [Liu Fajian, Zhang Jie, Chen Dongdong. The characteristics and dynamical factors of Chinese inbound tourist flow network. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(8): 1013-1024.]
- [36] Borgatti S P, Everett M G, Freeman L C. *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, MA: Analytic Technologies, 2002.
- [37] 刘军. 社会网络分析导论. 北京: 社会科学文献出版社, 2004. 94-146. [Liu Jun. *An Introduction to Social Network Analysis*. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2004. 94-146.]
- [38] 刘军. 整体网分析讲义: UCINET软件实用指南. 上海: 格致出版社, 2009. 54-86, 134-141. [Liu Jun. *Lectures on Whole Network Approach: A Practical Guide to UCINET*. Shanghai: Truth and Wisdom Press, 2009. 54-86, 134-141.]
- [39] 肖群鹰, 刘慧君. 基于QAP算法的省际劳动力迁移动因理论再检验. *中国人口科学*, 2007, (4): 26-33. [Xiao Qunying, Liu Huijun. Retesting dynamical factor theories on inter-provincial labor migration with QAP algorithm. *Chinese Journal of Population Science*, 2007, (4): 26-33.]
- [40] 凯瑟琳·米切尔, 族裔网络. 见: 埃里克·谢泼德, 特雷弗·J·巴恩斯. *经济地理学指南*. 北京: 商务印书馆, 2008. 470-488. [Mitchell K. *Networks of ethnicity*. In: Sheppard E, Barnes T. *A Companion to Economic Geography*. Beijing: The Commercial Press, 2008. 470-488.]
- [41] Clark G L, Gertler M. Migration and capital. *Annals of the Association of American Geographers*, 1983, 73(1): 18-34.
- [42] Ricketts E. US investment and immigration from the Caribbean. *Social Problems*, 1987, 34: 374-387.
- [43] 姚华松, 许学强. 西方人口迁移研究进展. *世界地理研究*, 2008, 17(1): 154-166. [Yao Huasong, Xu Xueqiang. Progress of research on migration in western countries. *World Regional Study*, 2008, 17(1): 154-166.]
- [44] Schwartz A. Interpreting the effect of distance on migration. *The Journal of Political Economy*, 1973, 81(5): 1153-1169.
- [45] 李强. 影响中国城乡流动人口的推力与拉力因素分析. *中国社会科学*, 2003, 1(5): 125-136. [Li Qiang. An analysis of push and pull factors in the migration of rural worker in China. *Social Sciences in China*, 2003, 1(5): 125-136.]
- [46] 杨云彦, 陈金永, 刘塔. 中国人口迁移: 多区域模型及实证分析. *中国人口科学*, 1999, (4): 20-26. [Yang Yunyan, Chen Jinyong, Liu Ta. An analysis of Chinese population migration: Multi-region model. *Chinese Journal of Population Science*, 1999, (4): 20-26.]
- [47] Friedmann J. *Regional Development Policy: A Case Study of Venezuela*. Cambridge: MIT Press, 1966.
- [48] 王恩涌, 赵荣, 张小林. *人文地理学*. 北京: 高等教育出版社, 2000. 51-90. [Wang Enyong, Zhao Rong, Zhang Xiaolin. *Human Geography*. Beijing: Higher Education Press, 2000. 51-90.]
- [49] Henrie C J, Plane D A. Exodus from the California core: Using demographic effectiveness and migration impact measures to examine population redistribution within the western United States. *Population Research and Policy Review*, 2008, 27(1): 43-64.
- [50] Dredge D. Destination place planning and design. *Annals of Tourism Research*, 1999, 26(4): 772-791.

## Human mobility and evolution based on social network: An empirical analysis of Yangtze River Delta

WANG Jue<sup>1,2</sup>, CHEN Wen<sup>1</sup>, YUAN Feng<sup>1</sup>

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The fast flow of various productive assets and power among different places has promoted the formation of city networks in the context of globalization, regionalization and localization. The city network has nowadays become a new mode of regional organization and spatial structure, and imposes a significant influence on the process of regional integration. By applying the social network analysis, this article attempts to investigate the characteristics, emergence and evolution of human mobility networks in the Yangtze River Delta region. The density, centralization and connectedness of the networks are calculated, and the results show that the human mobility networks in this region have formed and are characteristics of spatial unbalance in population distribution. Secondly, cities including Shanghai, Hangzhou, Nanjing, Ningbo and Suzhou-Wuxi-Changzhou areas have constituted important nodes of population agglomeration. Meanwhile, these cities are experiencing the process of emigration of population to other adjacent areas. Thirdly, two modes of human mobility networks, inter-province network and intra-province network, coexist in the Yangtze River Delta region. Specifically speaking, the inter-province network is characteristic of hierarchical diffusion, and the migration of population mainly occurs among Wuxi, Suzhou and Hangzhou. However, the intra-province network becomes more complex and can be further categorized two models—Jiangsu's intra-province network and Zhejiang's intra-province network. From the perspective of the spatial pattern, Jiangsu's intra-province network is characteristic of adjacent infiltration which means the relocation of population from population cores to peripheral areas. However, Zhejiang's intra-province network exhibits a hub-and-spoke structure and primarily includes three nodes of population mobility—Hangzhou, Ningbo and Taizhou. Based on the discussion mentioned above, the mechanism of human mobility network is analyzed with the consideration of the effect of employment opportunity, income, industrial structure and mobility cost on the population mobility. The analysis manifests that factors involving the openness of cities, the ratio of secondary industry and tertiary industry, housing price, spatial distance and institutional thickness have significantly affected the formation of human mobility network in the Yangtze River Delta. Finally, this article proposes a theoretical hypothesis of the evolution of human mobility network which includes the following four stages—discrete distribution stage, single-core agglomeration stage, multi-center network stage, and chained spatial network stage.

**Key words:** human mobility network; social network; gravity model; Yangtze River Delta