

# 基于人口流的中国省域城镇化空间关联特征及形成机制

刘帅宾<sup>1,2,3,4</sup>, 杨 山<sup>1,2,3,4</sup>, 王 钊<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 3. 虚拟地理环境教育部重点实验室(南京师范大学), 南京 210023; 4. 江苏省地理环境演化国家重点实验室培育建设点, 南京 210023)

**摘要:** 空间关联是区域相互作用和影响的纽带, 以人口流动为载体的城镇化空间关联影响并不断调整着中国区域经济社会发展格局。根据省际人口流动数据, 构建城镇化空间关联模型, 通过分析1990-2015年中国省域城镇化空间关联强度与关联网络结构变化, 揭示城镇化空间关联特征及形成机制。结果发现: ① 中国省域城镇化空间关联强度演变过程可以解析出7种类型, 其中主导类型与全国的吻合程度最高, 并决定着全国城镇化空间关联强度演变过程; 非主导类型的城镇化空间关联强度演变特征以2005年为界, 之前增长缓慢甚至为负, 之后与主导类型共同推动全国城镇化空间关联强度持续增长。② 对城镇化空间关联进行不同尺度的结构分析, 全国城镇化空间关联网络结构日趋复杂, 关联路径由集中转向分散, 不同属性的地域子群间关联密度差异开始缩小, 高等级节点由东部向中西部扩散。③ 采用面板向量自回归和面板分位数回归检验城镇化空间关联强度与关联网络中心度的互动机制, 并解释了居民收入水平和区域产业结构对城镇化空间关联特征的影响方式。城镇化空间关联不仅深化了城镇化的研究, 也为中国人口城镇化发展和产业空间转移调控提供理论依据。

**关键词:** 省域城镇化; 省际人口流动; 城镇化空间关联; 空间关联强度; 关联网络中心度  
DOI: 10.11821/dlxb201904003

## 1 引言

地理要素在空间相邻地域单元间存在相互关联性<sup>[1]</sup>, 这种关联性可以看作空间距离与要素流动的函数。随着互联网信息技术及现代交通迅猛发展, 要素流动范围和规模大幅扩展, 区域间要素流量成为测度区域关联程度的重要指标<sup>[2]</sup>。人口流<sup>[3]</sup>、资本流<sup>[4]</sup>、交通运输流<sup>[5]</sup>、知识流<sup>[6]</sup>、信息流<sup>[7]</sup>等在区域之间不断流动, 促使区域间形成具有一定结构和功能的复杂网络关系。城镇化的核心是人的城镇化, 其本质上就是人口流动下的社会空间组织过程, 不同人口流动特征下的城镇化模式与类型<sup>[8-10]</sup>相异。随着人口流动范围不断扩展, 城镇化空间组织由传统的城乡地域尺度突破至区域尺度, 区域城镇化关联方向从单一转向多元, 并形成复杂的城镇化空间关联网络, 城镇化空间关联成为城镇化研究的学术前沿问题。

收稿日期: 2017-12-27; 修订日期: 2019-03-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471135, 41771171); 江苏高校优势学科建设工程资助项目 [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41471135, No.41771171; A Project Funded by the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions]

作者简介: 刘帅宾(1988-), 男, 河南汝州人, 博士生, 研究方向为城乡发展与区域规划。E-mail: liushuaibin312@163.com

通讯作者: 杨山(1963-), 男, 江苏盐城人, 教授, 博导, 研究方向为城乡发展与区域规划。E-mail: yangshan@njnu.edu.cn

城镇化空间关联研究,起源于西方学者的城市网络研究,流动空间理论奠定了城市网络的研究基础,认为世界城市应该是日益网络化的流动空间,世界城市之所以重要,不仅在于它拥有的要素数量,更在于它是要素流动网络中的重要节点<sup>[11]</sup>。世界城市网络概念的提出,进一步推动城市研究范式从城市属性向城市网络转变<sup>[12]</sup>。根据流动要素载体不同,分别基于航空流<sup>[5]</sup>、知识流<sup>[6]</sup>、人口流<sup>[13]</sup>及高级生产性服务流(APS)<sup>[14]</sup>等,开展大量城市网络研究。城市网络的研究通常认为,处于网络中心位置的城市对要素流动能够施加更强影响力<sup>[15]</sup>。但Neal认为这种城市节点网络位置和要素控制力的关系认知存在一定的模糊性,并通过城市中心性和控制力测度,发现中心性与控制力存在多种关系类型组合<sup>[16]</sup>。城市网络中心性与影响力并非简单关系的观点获得较多认同<sup>[17]</sup>。随后,学者从城市规模和网络关联度对自身功能的影响<sup>[18]</sup>、海洋运输网络与港口城市发展的动态关系<sup>[19]</sup>、跨国公司部门转移背景下城市中心性与影响力演变关系<sup>[20]</sup>等多领域揭示城市网络中心性与控制力的关系特征。近年来,国内学者在中国城市网络方面展开了多层次、多领域研究。研究尺度涉及到中国城市<sup>[3]</sup>、城市群<sup>[21]</sup>、城市内部<sup>[22]</sup>等以及城市网络子群形态等<sup>[23]</sup>,研究领域涉及人口流<sup>[3]</sup>、资本流<sup>[4]</sup>、客运流<sup>[23]</sup>和创新流<sup>[24]</sup>等。对于中国城市网络中的中心性和影响力关系问题,也逐步受到国内学界关注,学者主要从百度人口迁徙<sup>[24-25]</sup>、汽车零部件交易链接<sup>[26]</sup>、企业组织<sup>[27-28]</sup>等不同领域探索了中国城市网络中心性和控制力的复杂关系或组合特征。

城镇化是以人口变化为空间表征的、多元要素相互作用的复杂系统<sup>[30]</sup>,各种要素在城镇化进程中存在着空间关联性。城镇化空间关联是城镇化进程中区域间人口流动形成的网络关系与属性的统一,其涉及城市网络和人口流动,城市网络主要通过要素流动网络结构揭示城市体系特征,而城镇化空间关联则侧重揭示区域相互作用特征,城镇化空间关联的强度和中心度变化是区域空间格局演变的表达。结合国内外学者在城市网络中心性与影响力关系的研究进展,中国城镇化空间关联网络仍有许多尚待继续深入研究的科学问题。城市网络研究多基于截面数据,而城镇化作为一个过程,更强调长时间尺度下城镇化空间关联网络动态变化特征。长时间尺度的城镇化空间关联研究,有利于深化网络中心性和影响力的互动机制,弥补基于截面数据下两者互动机制难以深入的不足。面板向量自回归模型(Panel Data Vector Auto Regression)为考察网络中心性与影响力之间的动态响应关系提供了手段<sup>[31]</sup>,面板分位数回归模型(Panel Quantile Regression)为考察不同关联层级下中心性和影响力之间的互动机制提供了可能<sup>[32]</sup>,两者结合可以有效揭示城镇化空间关联演变的时空异质性特征。

人口流作为城镇化的核心要素,背后承载了产业、资本等要素的流动信息<sup>[25, 33]</sup>,以人口流进行城市网络研究已获国内外学者关注<sup>[13, 25, 34]</sup>。本文采用1990-2015年间6期人口普查和人口抽样调查中的省际人口流动数据,构建城镇化空间关联模型,并定量测度中国大陆31省市间(不包括港澳台)的城镇化空间关联强度。在此基础上,综合运用双组分趋势法、社会网络分析法、面板向量自回归法及面板分位数回归法等分析中国省域城镇化空间关联网络中心性和影响力演变特征及相互作用机制,以解释人口大规模流动下中国城镇化空间发展格局的形成,为新时期人口城镇化空间发展和产业空间转移调控提供理论依据。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源与说明

省际人口流动数据主要来自第四、第五和第六次全国人口普查资料(1990年、2000



区域间城镇化水平差异可以更好地反映城镇化空间关联方向，故采用城镇化水平差异参数进行修正。② 城镇化空间关联强度与人口流量并非简单的线性关系，尽管距离较远省域间也存在较大人口流量，但产业、资本转移过程中仍存在距离衰减现象<sup>[35]</sup>，采用距离参数对其调整，以符合城镇化空间关联的实际情况。综合以上两个参数，构建城镇化空间关联模型，其式如下：

$$F_{ij}=p_{ij}\times\frac{U_i/U_j}{d_{ij}}; \quad F_i=\sum_{j=1}^n F_{ij}$$

(1)

式中： $F_{ij}$ 为区域*i*对区域*j*的城镇化空间关联强度，其值大小反映了城镇化空间关网络中区域*i*对区域*j*的影响力； $F_i$ 为区域*i*的城镇化空间关联强度，其值大小反映区域*i*在整个网络中的影响力； $p_{ij}$ 为区域*i*流动人口中来源于区域*j*的数量； $U_i/U_j$ 表示区域*i*和区域*j*之间的城镇化水平差异； $U_i$ 和  $U_j$ 分别为区域*i*和区域*j*的人口城镇化率； $d_{ij}$ 为区域*i*和*j*的空间距离。

**2.2.2 城镇化空间关联强度演变类型识别法——双组分趋势法** 常规时空格局表达方法使用一系列地图，单独展示研究对象空间分布随时间的变化过程，使得时空格局识别较为困难<sup>[36]</sup>，而双组分趋势法能够有效地用一幅图刻画研究对象空间格局随时间的动态变化过程<sup>[37]</sup>。本文引入双组分趋势法，用于分析中国省域城镇化空间关联强度的时空动态变化，结果主要包括三部分：组分载荷图、类型图和双组分矩阵。

具体步骤为：① 组分载荷图：对1990-2015年各时段的城镇化空间关联强度进行主成分分析，提取不同时段的前两个组分，其中第一组分（PC1）反映空间关联强度变化，第二组分（PC2）反映空间关联强度趋势变化；② 类型图：对各省市的空间关联强度进行主成分分析，提取各省市的前两个组分，并采用自然断裂点法将每组划分为高、中、低三个等级，形成3×3种类型（表1）；③ 双组分矩阵：根据每种类型的空间关联强度均值随时间变化，构建3×3双组分矩阵。

表1 城镇化空间关联强度类型划分依据  
Tab.1 The classification basis of urbanization spatial correlation intensity

强度值(PC1)	强度趋势(PC2)	强度类型	含义
高等	高速	I-H类	关联强度值较大，上升趋势较快
高等	中速	I-M类	关联强度值较大，上升趋势中等
高等	低速	I-L类	关联强度值较大，上升趋势较慢
中等	高速	II-H类	关联强度值中等，上升趋势较快
中等	中速	II-M类	关联强度值中等，上升趋势中等
中等	低速	II-L类	关联强度值中等，上升趋势较慢
低等	高速	III-H类	关联强度值较小，上升趋势较快
低等	中速	III-M类	关联强度值较小，上升趋势中等
低等	低速	III-L类	关联强度值较小，上升趋势较慢

**2.2.3 城镇化空间关联网结构分析法——社会网络分析法** 社会网络分析方法主要通过刻画网络组织关系、类型等来反映网络结构状况<sup>[38]</sup>。借助网络密度、关联密度及网络中心度等指标从全国—区域—节点3个尺度来定量识别中国省域城镇化空间关联结构演变特征（表2）。

**2.2.4 相互作用分析法——面板向量自回归和面板分位数回归模型** （1）面板向量自回归模型



表 2 城镇化空间关联网络分析的主要指标

Tab. 2 The main indicators of urbanization spatial correlation network analysis

指标	公式	变量含义	指标含义
网络密度	$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-1} P_{ij} / [n(n-1)]; (i \neq j)$	(2) $D$ 为网络密度; $P_{ij}$ 为省域 $i$ 与省域 $j$ 之间的关联路径, 即实际联系的路径, $n$ 为省域数量; $F_{in}^a$ 和 $F_{out}^a$ 分别为子群的内向和外向关联密度, $\alpha$ 和 $\beta$ 分别为子群内部与外部的节点数量; $C_i$ 为省域 $i$ 的网络中心度, $P_{i \rightarrow j}$ 和 $P_{j \rightarrow i}$ 分别代表省域 $i$ 的流出路径和流入路径。	结果越大, 关联网络的整体联通性越好
关联密度 (内向和外向)	$F_{in}^a = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{a-1} P_{ij} / [\alpha(\alpha-1)]$ $F_{out}^a = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{\beta} P_{j \rightarrow i} / (\alpha\beta)$	(3)	结果越大, 区域或子群的联通性越好
网络中心度	$C_i = \sum_{j=1}^{n-1} P_{i \rightarrow j} + \sum_{j=1}^{n-1} P_{j \rightarrow i}$	(4)	结果越大, 节点在网络中的地位越高

面板向量自回归模型兼具时序和面板数据的双重优势, 便于考察基于面板数据的内生变量动态关系, 主要通过正交化的脉冲响应函数分离出其他变量对内生变量的冲击响应程度, 可准确揭示出各变量间的双向因果关系<sup>[31]</sup>。其式如下:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_t + \sum_{p=1}^m \alpha_{pt} Y_{it-p} + \varepsilon_{it} \tag{5}$$

式中:  $i$  为第  $i$  个省域;  $t$  为第  $t$  时期;  $Y_{it}$  为因变量的列向量, 分别为城镇化空间关联强度和关联网络中心度;  $\alpha_i$  和  $\alpha_{pt}$  分别为回归方程的系数向量;  $m$  为滞后阶数;  $\beta_t$  为时间固定效应变量;  $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。

(2) 面板分位数回归模型

面板分位数回归模型不需假设数据服从正态分布, 而且能够较好地排除离群值的干扰<sup>[39]</sup>。它在控制解释变量差异性的同时, 还能够对被解释变量在不同分位点上的影响关系进行有效评估, 而传统普通多元回归模型往往掩盖了条件随机概率分布下的系数变动。其式如下:

$$Q_{Y_{it}}(\tau | X_{it}) = \alpha_i + X_{it}^T \beta(\tau), (i = 1, 2, \dots, n, t = 1, 2, \dots, T) \tag{6}$$

式中:  $Q_{Y_{it}}$  为条件分位函数;  $Y_{it}$  为因变量矩阵;  $X_{it}$  为自变量矩阵;  $i$  为第  $i$  个省域;  $t$  为第  $t$  时期;  $n$  为省域数量;  $T$  为时段数量;  $\tau$  为本文设定的分位点 (0.1, 0.2...0.9);  $\alpha_i$  表常数项;  $\beta(\tau)$  为  $\tau$  分位下的影响系数; 常利用加权最小二乘  $L$ -估计影响系数  $\beta$ 。

$$\beta(\theta) = \min_{(\alpha, \beta)} \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T w_k \rho_{\tau_k} [Y_{it} - \alpha_i - X_{it}^T \beta(\tau_k)] \tag{7}$$

式中:  $\beta(\theta)$  为影响系数, 是根据  $q$  组分位数回归目标函数加权总和最小化求得;  $q$  为分位数组数量;  $k$  为分位数的第  $k$  组;  $\rho_{\tau_k}$  为分位数损失函数;  $w_k$  为第  $k$  分位数的权重系数;  $\beta(\tau_k)$  为第  $k$  个分位数的影响系数。

3 城镇化空间关联强度演变过程

基于公式 (1), 运算得到 1990-2015 年中国各省域的城镇化空间关联强度, 并采用双组分趋势法刻画城镇化空间关联强度时空演变过程 (图 2、图 3)。对 6 个时段的 PC1 (城镇化空间关联强度) 和 PC2 (城镇化空间关联强度趋势) 进行多元线性拟合, 得到从因子载荷图 (图 2), 其中 PC1 和 PC2 的方差贡献率分别为 85%、13%, 能够较好的解释城镇化空间关联强度演变过程。整体来看, 城镇化空间关联强度在 1990-2005 年快速增长, 而关联强度趋势呈下降态势; 2005-2015 年关联强度稳步增长, 强度趋势呈上升态势。

从类型图和双组分矩阵来看(图3),北京、上海、江苏、广东等6省市的PC1和PC2均较高,属于I-H类型,该类型的城镇化空间关联强度在第一时段(1990-2005年)由4314波动上升至13980,第二时段(2005-2015年)持续上升至21977,增长趋势在2010年后趋缓。天津的PC1较高、PC2较低,属于I-L类型,该类型的城镇化空间关联强度在第一时段由4625上升至5655,第二时段持续上升至22470,增长趋势在2010年后开始加快。辽宁、山东和重庆的PC1处于中间层次、PC2较高,属于II-H类型,该类型的城镇化空间关联强度在第一时段由767波动上升至1083,在第二时段持续上升至2660。四川、安徽、河北和内蒙古的PC1和PC2均处于中间层次,属于II-M类型,该类型的城镇化空间关联强度在第一时段由410波动上升至780,第二时段快速上升至2623。陕西、河南、湖北和广西等9省的PC1处于中间层次,PC2较低,属于II-L类型,该类型的城镇化空间关联强度在第一时段由606波动下降至527,第二时段则持续上升至2057。西藏、宁夏和海南的PC1较低,PC2处于中间层次,属于III-M类型,该类型的城镇化空间关联强度在第一时段由144波动下降至126,第二时段则持续上升至340,增长趋势在2010年后趋缓。黑龙江、吉林、新疆和青海等5省的PC1和PC2均较低,属于III-L类型,该类型的城镇化空间关联强度在第一时段由358波动下降至205,第二时段持续上升至507。

综合来看,中国省域城镇化空间关联强度演变过程可以解析出7种类型,其中东部地区的城镇化空间关联强度演变过程与全国基本一致,说明东部地区是全国城镇化空间关联强度演变的主导类型,其他地区的6种成为非主导类型。非主导类型的城镇化关联强度呈现阶段性和多样化的演变特征,2005年前的城镇化空间关联强度增长缓慢或者为负,导致了全国城镇化空间关联强度趋势下降,而2005年后的城镇化空间关联强度增长与主导类型基本保持同步,共同推动全国城镇化空间关联强度及其趋势的持续增长。

## 4 城镇化空间关联网络结构演变过程

### 4.1 关联网络结构整体特征

以1990-2015年中国省域城镇化空间关联强度的均值为阈值,对省域城镇化空间关联强度矩阵进行二值化处理,得到城镇化空间关联网络,并采用Ucinet 6.0对关联网络特征进行统计(表3)。从网络密度来看,1990-2000年波动上升至0.105,而2000-2015年则持续上升至0.230,城镇化空间关联网络结构更加复杂。网络中关联路径数量在1990年为52条,1995年下降为41条,2015年则迅速上升至214条。进一步引入变异系数考察网络中关联路径的集聚情况,发现关联路径变异系数在1990-2005年由1.158波动上升至1.296,关联路径在节点间的分布更加集中,城镇化空间关联网络呈单中心化态势;而2005-2015年的关联路径变异系数持续下降至0.912,关联路径在节点间的分布开始分散,城镇化空间关联网络结构呈多中心化态势。

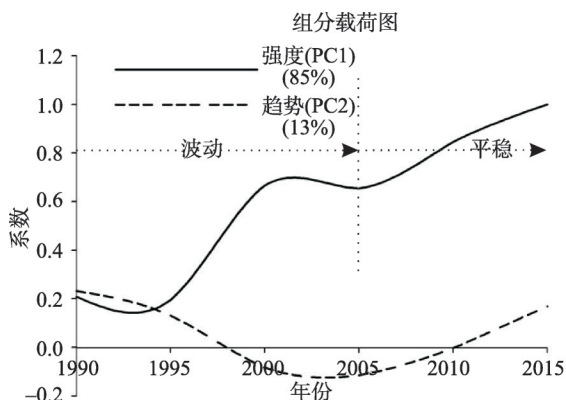


图2 中国省域城镇化空间关联强度的整体变化过程

Fig. 2 The evolution of provincial urbanization spatial correlation intensity in China from 1990 to 2015

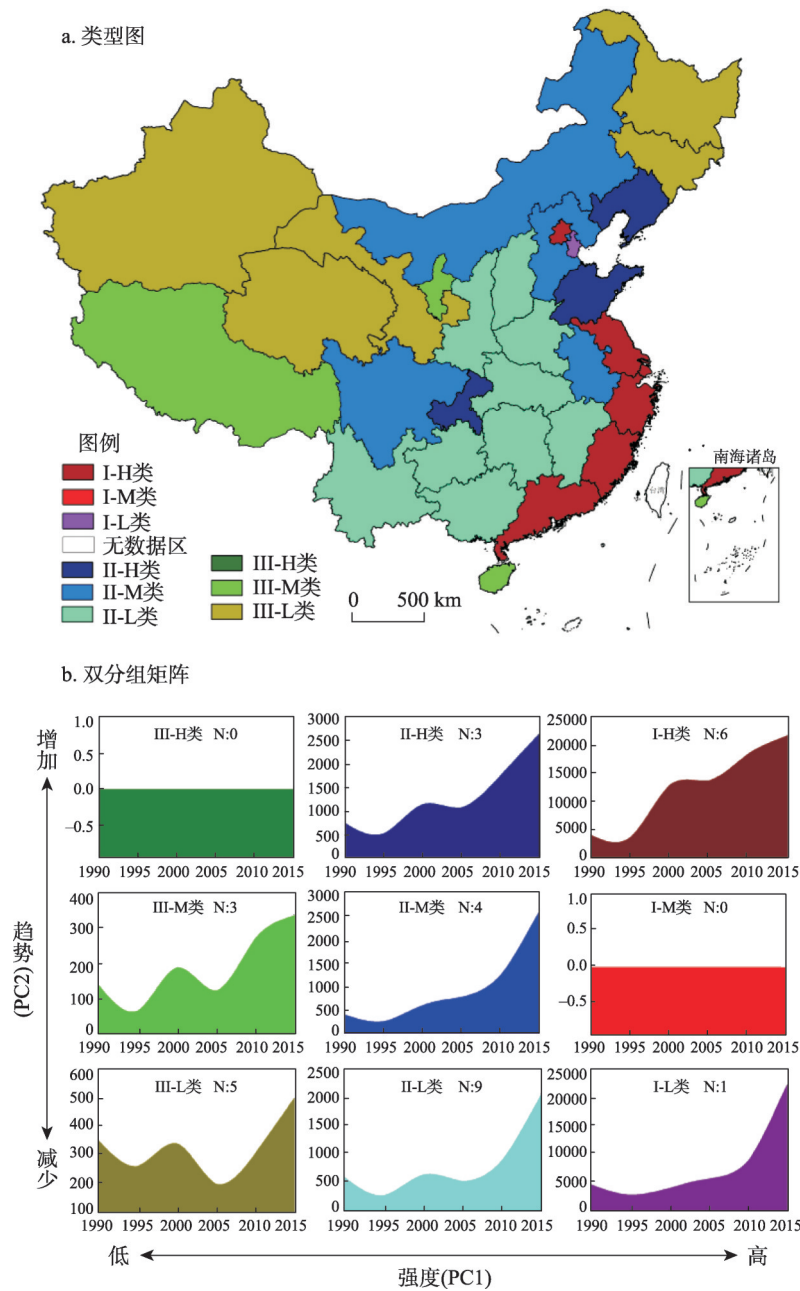


图3 1990-2015年中国省域城镇化空间关联强度的时空演变类型

Fig. 3 Spatial-temporal evolution of spatial correlation intensity of provincial urbanization in China from 1990 to 2015

表3 1990-2015年中国省域城镇化空间关联网络特征

Tab. 3 The characteristics of provincial urbanization correlation network in China from 1990 to 2015

	1990	1995	2000	2005	2010	2015
网络密度	0.064	0.047	0.105	0.122	0.159	0.230
关联路径	52	41	98	113	148	214
路径变异系数	1.158	1.625	1.271	1.296	1.077	0.912

## 4.2 关联网络结构区域特征

为分析中国省域城镇化空间关联网络结构的区域特征, 利用Ucinet 6.0中CONCOR算法模块<sup>[38]</sup>将1990年、2005年及2015年3个典型年份的城镇化空间关联网络分别划分出4个子群(图4), 构成子群的节点在网络中具有相似的关联行为。

1990年, 第I子群成员为北京、天津、河北、内蒙、陕西、河南、安徽及江苏等9省市, 其内向关联密度为0.208, 外向关联密度为0.028; 第II子群成员为东北三省及山东省, 其内向关联密度为0.667, 外向关联密度为0.02; 第III子群成员为上海、浙江、江西、湖南、四川等8省市, 其内向关联密度为0.125, 外向关联密度为0.018; 第IV子群成员为广东、湖北、云南、贵州、青海及新疆等8省, 其内向关联密度为0, 外向关联密度为0.071。2005年, 北京、天津、河北、内蒙古、陕西等7省与东北三省重组为第I子群, 其内向关联密度为0.211, 外部关联密度为0.052; 上海、江苏、浙江、广东等5省市重组为第II子群, 其内向关联密度为0.650, 外向关联密度为0.362; 四川、重庆、湖南、河南等中西部12省市重组为第III子群, 其内向关联密度为0.096, 外向关联密度为0.044; 西北的青海、新疆等4省组成第IV子群, 其内向和向外关联密度均为0。2015年, 子群的构成基本稳定, 仅河南、山东转入第I子群, 湖北、安徽、江西转入第II子群, 第I子群内向关联密度为0.424, 外向关联密度为0.092; 第II子群的内向关联密度为0.857, 外向关联密度为0.288; 第III子群的内向关联密度为0.429, 外向关联密度为0.083; 第IV子群的内向关联密度为0, 外向关联密度为0.037。

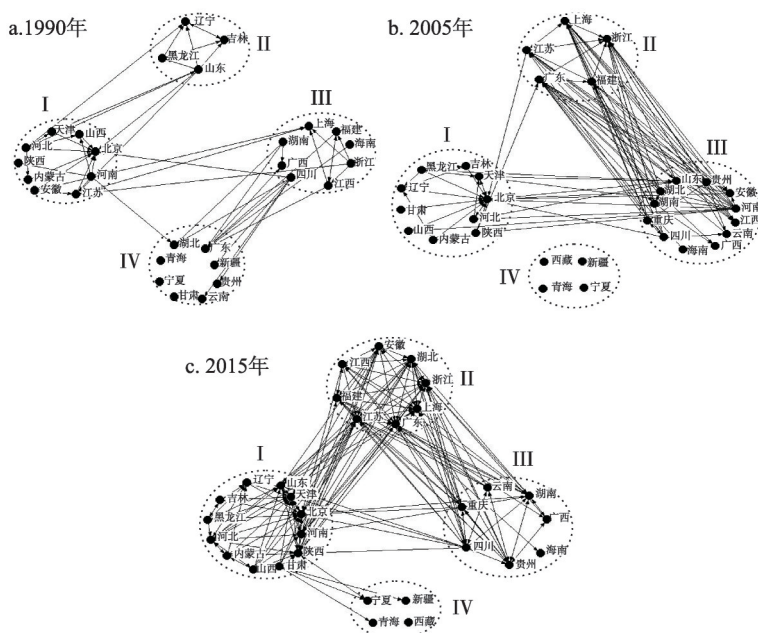


图4 1990-2015年中国省域城镇化空间关联网络子群结构演变过程

Fig. 4 Evolution process of the subgroup structure of provincial urbanization spatial correlation network in China from 1990 to 2015

进一步对比四大子群间的内向和向外关联密度变化(图5), 可以发现, 1990-2015年中国省域城镇化空间关联网络的子群构成呈以下特征: ① 1990-2005年的子群构成体现“强者恒强, 弱者恒弱”的马太效应: 东南沿海5省重组的第II子群, 内向和向外关联密



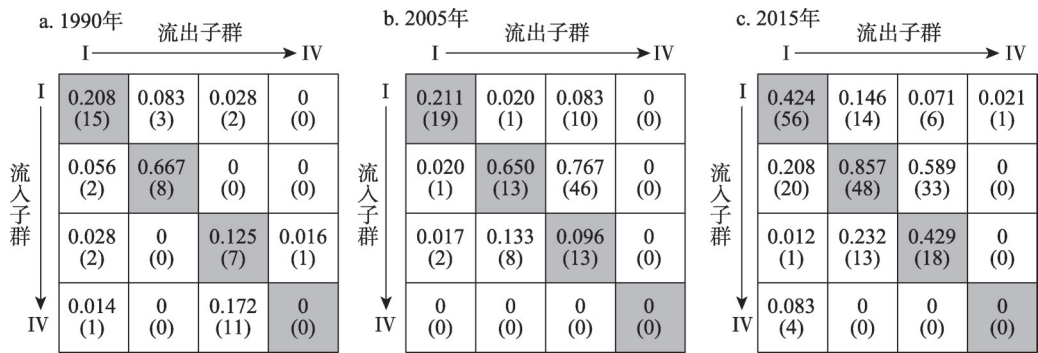


图5 1990-2015年间不同子群的内外关联矩阵(密度和路径)

Fig. 5 Internal and external correlation matrices (density and path) for different subgroups from 1990 to 2015

度均显著高于其他子群，且外向关联方向集中于第III子群；而中西部地区组成的第III子群，内向和外向关联密度远低于同期整体网络密度的0.122。② 2005-2015年的子群构成体现“助强扶弱”的涓滴效应：东南沿海5省所在的第II子群，内向和外向关联密度仍高于其他子群，但外向关联方向开始分散；中西部部分地区所在的第III子群，内向关联密度均有显著增长，高于同期整体网络密度的0.23，外向关联密度也有较快增长。随着中国省域城镇化空间关联结构复杂化，逐步形成具有不同属性的地域子群组合：以东南沿海5省市为核心的东南子群，内向关联结构紧凑程度最高，外向关联以流入为主；以北京、天津等为核心的北方子群，内向关联结构紧凑程度中等，外向关联的流入一流出基本平衡；以四川、重庆等为核心的西南子群，内向关联结构紧凑程度较低，但增长较快，外向关联仍以流出为主；新疆、青海等组成的西北子群，内部相互孤立，以接受外向流入为主。

4.3 关联网络节点差异特征

为考察中国省域城镇化空间关联网络节点差异特征，对比1990年、2005年及2015年网络中心度前10位省市变化（图6）。可以发现，1990-2015年，网络节点中心度前10位节点的排序变化并不一致：北京、上海、广东、江苏、四川等省市稳居前10位，网络地位稳定；天津、福建、湖北、陕西等省市先后进入前10位，网络地位具有波动性；而辽宁、河北、江西等先后退出前10位，网络地位下降。

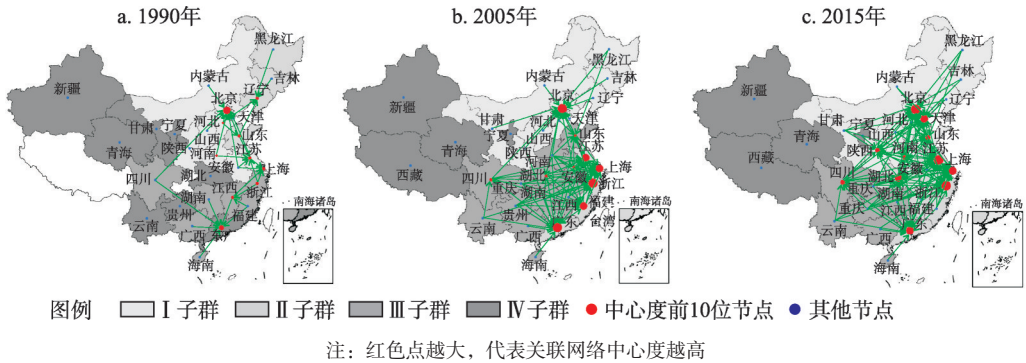


图6 1990-2015年中国省域城镇化空间关联网络中心度前10位节点的变化过程

Fig. 6 The change process of the top 10 nodes of the spatial correlation network centrality of provincial urbanization in China from 1990 to 2015

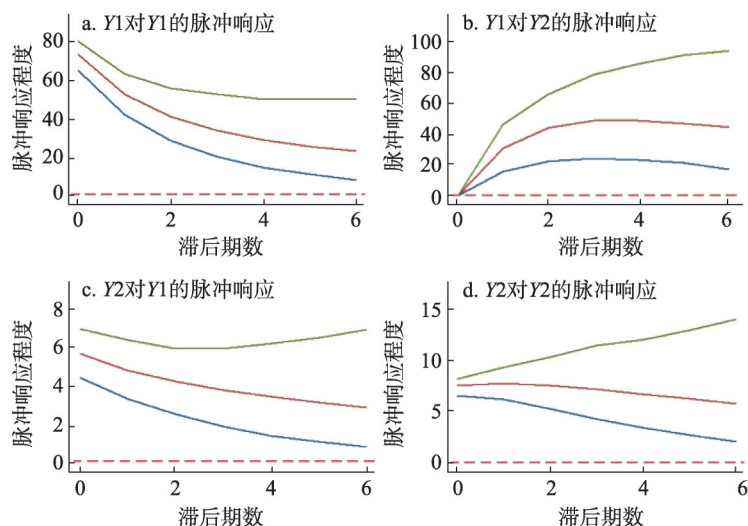
结合前10位节点空间分布及网络中心度差异变化,可以发现:①空间分布方面,1990年网络中心度前10位的节点分散在各子群中,关联方向主要集中在子群内部或临近子群;2005年网络中心度前10位节点主要沿海、沿长江分布,节点关联的跨子群现象增加;2015年网络中心度前10位节点向中西部地区扩散,陕西、河南、湖北和四川成为中西部地区的核心节点,节点间跨子群、跨区域的关联数量增长明显。②网络中心度差异方面,1990年北京的网络中心度显著高于其他节点;2005年东南沿海地区的网络中心度增幅明显,与北京的差距显著缩小;2015年东部沿海地区的节点网络中心度进一步增加,其中江苏超越北京成为网络中心度最高节点,湖北和陕西等中西部地区的节点网络中心度也增长明显。整体来看,1990年以来,网络中的高等级节点经历以北京为核心的孤点式分布→沿东南沿海集聚的条带式分布→向中西部扩散的网络化分布,网络结构多中心化态势明显。

## 5 城镇化关联强度与网络中心度互动作用

### 5.1 互动作用的演变过程

对1985-2015年中国各省域的城镇化空间关联强度( $Y_1$ )和关联网络中心度( $Y_2$ )进行面板向量自回归分析,以揭示二者相互作用的动态变化特征。在综合AIC、BIC和HQIC 3个标准的基础上,判定模型最优估计的滞后阶数为1期;在Monte-Carlo模拟1000次的基础上,得到城镇化空间关联强度与关联网络中心度的脉冲响应曲线图(图7)。

图7a和图7b分别为城镇化空间关联强度( $Y_1$ )对其自身和关联网络中心度的冲击响应曲线。其中,关联强度对其自身的冲击具有积极的正向响应,并在第1期达到峰值,之后逐步减弱,但仍高于0值,体现关联强度演变具有一定的路径依赖特征。城镇化空间关联强度对网络中心度的冲击具有积极的正向响应,并在第4期达到峰值,之后趋于缓慢下降态势,表明网络中心度对关联强度的影响具有持久效应。图7c和图7d分别为城



注:红色线为脉冲响应曲线,绿色和蓝色线为5%和95%分位点线,

$Y_1$ 和 $Y_2$ 分别为城镇化空间关联强度和关联网络中心度。

图7 城镇化空间关联网络中关联强度与网络中心度的面板脉冲响应

Fig. 7 Impulse response of correlation intensity and network centrality in urbanization spatial correlation network

镇化空间关联网络中心度（Y2）对关联强度和自身的冲击响应。其中，网络中心度对关联强度的冲击也具有积极的正向响应，并在初期就达到峰值，之后快速下降，但仍高于0，这反映关联强度对网络中心度的提升具有即时效应。网络中心度对其自身的冲击同样具有积极的正向响应，在第1期达到峰值，并在第2期之后开始缓慢下降，体现网络中心度演变具有较强的路径依赖特征。可以发现，城镇化空间关联强度和网络中心度演变均存在不同程度的路径依赖特征，而关联强度和关联网络中心度之间的相互作用则存在差异，网络中心度对关联强度的作用过程持续、稳步，而关联强度对网络中心度的作用仅在初期较为显著，随后快速下降。

5.2 互动作用的演变机制

为进一步分析1990-2015年中国省域城镇化空间关联强度（Y1）与关联网络中心度（Y2）的互动机制，选择城镇化空间关联的相关影响因素作为控制变量。参考城镇化空间关联相关研究<sup>[40-41]</sup>，城镇化空间关联与区域发展差异、产业结构演变、就业收入及政策等因素密切相关。故选择人均GDP（X1）作为区域发展差异变量，第二产业占比（X2）和第三产业占比（X3）作为产业结构变量，非国有就业占比（X4）作为就业门槛变量，城镇居民收入（X5）作为收入变量，人均地方财政支出（X6）作为政策变量，进出口总额（X7）作为对外开放水平变量。变量间存在多重共线性可能，在面板回归基础上，进行多次共线性检验，最终保留方差膨胀因子（VIF）在5以下的变量，分别为第二产业占比（X2）、第三产业占比（X3）、非国有就业占比（X4）和城镇居民收入（X5）。采用面板分位数回归方法对城镇化空间关联强度和网络中心度相互作用进行估计（表4、表5）。

1990-2015年，关联网络中心度和关联强度的相互影响均在0.01水平上显著。关联网络中心度对关联强度的影响程度相对更高，且影响程度随分位点增加呈倒“U”型变化。关联强度较高的地区（主要为东部地区），在经历关联网络中心度快速增长后，与网络中多数节点均建立联系，关联网络中心度趋于稳定，关联强度增长与关联网络中心度的关系逐步脱钩；而关联强度较低的地区（主要为西北地区），其人口要素基数较小，关联网络中心度较低或为0，对关联强度的贡献有限；关联强度处于中间层次的地区（主要为中部地区），其中心度较低、增长较快，对关联强度的影响程度较高。关联强度对关联网络中心度的影响程度相对较低，且影响程度随分位点增加而下降。东部地区随着中心度接近峰值，关联强度对关联网络中心度的贡献呈现边际递减效应；西北地区的关联

表4 城镇化空间关联网络中心度对关联强度影响的面板分位数回归

Tab. 4 The panel quantile regression results of influence of network centrality on correlation intensity

分位数	常数项	Y2	X2	X3	X4	X5
0.1	-8.11***	0.898***	0.692	2.352***	0.165	-0.346
0.2	-7.907**	0.994***	0.762	2.087***	0.177	-0.286
0.3	-7.514***	0.942***	0.992*	1.807***	-0.029	-0.199*
0.4	-9.071***	0.917***	1.197***	2.137***	-0.100	-0.188*
0.5	-6.692***	0.922***	0.903*	1.669***	-0.048	-0.143*
0.6	-6.834***	0.96***	0.658*	2.051***	0.062	-0.214**
0.7	-7.523***	0.991***	0.623*	2.169***	0.073	-0.168*
0.8	-8.44***	0.754***	0.936**	2.259***	0.194	-0.155
0.9	-9.451***	0.741***	1.185***	2.332***	0.209*	-0.160
pls	-8.087***	0.863***	0.838***	2.060***	0.139	-0.165*

注：\*、\*\*、\*\*\*分别代表在0.1、0.05和0.01水平上显著。

表5 城镇化空间关联强度对关联网络中心度影响的面板分位数回归

Tab. 5 The panel quantile regression results of influence of correaltion intensity on network centrality

分位数	常数项	X1	X2	X3	X4	X5
0.1	5.442 <sup>*</sup>	0.804 <sup>***</sup>	-0.001	-1.907 <sup>*</sup>	0.180	-0.017
0.2	8.478 <sup>***</sup>	0.739 <sup>***</sup>	-0.470	-2.583 <sup>***</sup>	0.397	0.110
0.3	6.767 <sup>***</sup>	0.783 <sup>***</sup>	-0.616 <sup>**</sup>	-1.881 <sup>***</sup>	0.149	0.168 <sup>*</sup>
0.4	6.539 <sup>***</sup>	0.697 <sup>***</sup>	-0.552 <sup>**</sup>	-2.007 <sup>***</sup>	0.243 <sup>**</sup>	0.245 <sup>***</sup>
0.5	6.303 <sup>***</sup>	0.662 <sup>***</sup>	-0.444	-2.020 <sup>***</sup>	0.100	0.307 <sup>***</sup>
0.6	5.020 <sup>**</sup>	0.587 <sup>***</sup>	-0.348	-1.592 <sup>***</sup>	0.140	0.269 <sup>***</sup>
0.7	3.108	0.506 <sup>***</sup>	-0.119	-0.904 <sup>*</sup>	0.025	0.201 <sup>***</sup>
0.8	1.899	0.433 <sup>***</sup>	0.021	-0.537	-0.013	0.185 <sup>***</sup>
0.9	1.327	0.340 <sup>***</sup>	-0.019	-0.211	0.057	0.170 <sup>***</sup>
pls	7.005 <sup>***</sup>	0.711 <sup>***</sup>	-0.516 <sup>*</sup>	-2.062 <sup>***</sup>	0.301 <sup>**</sup>	0.178 <sup>**</sup>

注：<sup>\*</sup>、<sup>\*\*</sup>、<sup>\*\*\*</sup>分别代表在0.1、0.05和0.01水平上显著。

网络中心度较低，关联强度增长对其影响较为显著。

进一步分析控制变量的影响，发现产业结构变量（X2、X3）对城镇化空间关联强度的影响在多数分位点上显著性较高，且回归系数随分位点的增加呈“M”型波动变化，说明产业发展对多数地区城镇化空间关联强度的影响较显著。非国有就业占比（X4）和城镇居民收入（X5）在多数分位点上的显著性较低，说明就业和收入对城镇化空间关联强度的作用并不显著。第二产业占比（X2）对网络中心度的影响在多数分位点上均不显著，第三产业占比（X3）对网络中心度的影响在0.1~0.7分位点上显著，且回归系数为负。这缘于第三产业的就业容纳能力较高，中西部地区多为人口流出区，其第三产业发展能够减少人口外流，从而降低网络中心度。非国有就业占比（X4）在多数分位点上仍不显著，而城镇居民收入（X5）在多数分位点上的显著性较高，且回归系数为正，说明收入对关联网络中心度的影响较为显著。结合图7b和图7c可以发现，产业结构变量和收入变量对城镇化空间关联的影响方式不同，产业结构是影响城镇化空间关联的长期变量，区域产业结构调整 and 转型需要一定的周期，城镇化空间关联中心度较高的地区凭借产业结构优势，吸引大量人口要素集聚，推动其关联强度持续增长；而收入水平是影响城镇化空间关联的短期变量，提供较高收入待遇的地区可以在短期内吸引多方向人口要素流入，从而较快提高其城镇化空间关联网络位置。

6 结论与讨论

基于省际人口流动数据，构建城镇化空间关联模型，综合运用双组分趋势法和网络分析法分析1990-2015年中国省域城镇化空间关联强度及城镇化空间关联网络结构演变特征，并结合面板向量自回归模型及面板分位数回归模型分析两者相互作用机制。得出结论如下：

（1）根据关联强度及其变化趋势可将中国省域城镇化空间关联强度演变过程解析出7种类型，其中东部地区的城镇化空间关联强度演变过程与全国的吻合程度最高，为主导类型，其他地区的6种为非主导类型。主导类型决定了全国城镇化空间关联强度演变过程；非主导类型的城镇化空间关联强度演变特征以2005年为界，之前的城镇化空间关



联强度增长缓慢甚至为负,之后的城镇化空间关联强度增长与主导类型基本保持同步,共同推动全国城镇化空间关联强度持续增长。

(2) 通过不同尺度城镇化空间关联网络结构分析,在全国尺度上,城镇化空间关联网络网络密度不断增加,关联路径由集中转向分散;在区域尺度上,子群空间形态经历重组后基本稳定,形成东南、北方、西南和西北等4大子群,不同属性的地域子群间内外关联密度差异逐步缩小;在节点尺度上,高等级节点分布经历了孤点、条带向区域网络化的变化过程,中西部已成为高等级节点关联增长最快的区域。

(3) 中国省域城镇化空间关联强度与关联网络中心度的互动过程,在时序上城镇化空间关联网络中心度对关联强度具有持续效应,而关联强度对关联网络中心度具有即时效应;在空间上中西部地区关联强度与网络中心度的互动关系变化较快,而东部地区的互动关系趋于平稳。结合产业结构和居民收入水平的影响,发现居民收入对城镇化空间关联的影响具有短期性,影响力直接、明显;区域产业结构对城镇化空间关联的影响具有长期性,影响力较为持久。

本文采用省级尺度人口流动数据分析了城镇化空间关联演变特征及形成机制,随着大数据等技术支持下,市、县人口和产业等要素流动数据拓展,开展中小尺度城镇化空间关联研究,可为城镇化进程中的城乡融合、区域协作等提供理论支撑和决策依据。当前中国各区域在吸引人口、推动城镇化发展过程中,通过提高人才收入待遇可以在短期内产生人口集聚效应,但从长期来看,人口流动的态势主要取决于产业结构。因此,各地区的城镇化发展战略重点应放在区域产业特色及未来产业转型升级方面。

致谢:感谢加拿大瑞尔森大学地理与环境研究系(Department of Geography and Environmental Studies, Ryerson University, Toronto, Canada)的YANG Runlin先生在英文摘要润色方面的贡献。

## 参考文献(References)

- [1] Tobler W A. Computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 1970, 46(2): 234-240.
- [2] Li Xiaowen, Cao Chunxiang, Chang Chaoyi. The first law of geography and spatial-temporal proximity. *Chinese Journal of Nature*, 2006, 29(2): 69-71. [李小文, 曹春香, 常超一. 地理学第一定律与时空邻近度的提出. *自然杂志*, 2006, 29(2): 69-71.]
- [3] Wei Ye, Xiu Chunliang, Liu Zhimin, et al. Spatial pattern of city network in transitional China based on the population flows in "Chunyun" period. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(11): 1654-1660. [魏冶, 修春亮, 刘志敏, 等. 春运人口流动透视的转型期中国城市网络结构. *地理科学*, 2016, 36(11): 1654-1660.]
- [4] Jiang Xiaorong, Yang Yongchun, Wang Shenglan, et al. Spatial structure of Chinese intercity network based on the data of listed companies. *City Planning Review*, 2017, 41(6): 18-26. [蒋小荣, 杨永春, 汪胜兰, 等. 基于上市公司数据的中国城市网络空间结构. *城市规划*, 2017, 41(6): 18-26.]
- [5] Dai L, Derudder B, Liu X. The evolving structure of the Southeast Asian air transport network through the lens of complex networks, 1979-2012. *Journal of Transport Geography*, 2018(68): 67-77.
- [6] Matthiessen C W, Schwarz A W, Find S. World cities of scientific knowledge: Systems, networks and potential dynamics. An analysis based on bibliometric indicators. *Urban Studies*, 2010, 47(9): 1879-1897.
- [7] Liu Wangbao, Shi Enming. Spatial pattern of population daily flow among cities based on ICT: A case study of "Baidu Migration". *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(10): 1667-1679. [刘望保, 石恩名. 基于ICT的中国城市间人口日常流动空间格局: 以百度迁徙为例. *地理学报*, 2016, 71(10): 1667-1679.]
- [8] Yang Chuankai, Ning Yuemin. Evolution of spatial pattern of inter-provincial migration and its impacts on urbanization in China. *Geographical Research*, 2015, 34(8): 1492-1506. [杨传开, 宁越敏. 中国省际人口迁移格局演变及其对城镇化发展的影响. *地理研究*, 2015, 34(8): 1492-1506.]

- [9] Xu Su, Zhu Jin. Discussions on different urbanization characteristics in outmigration and immigration areas: Case of Jiangsu, Zhejiang and Anhui province. *Urban Development Studies*, 2015, 22(8): 46-54. [徐素, 朱金. 基于人口流动的区域城镇化特征及差异化策略探讨: 苏浙皖地区的讨论. *城市发展研究*, 2015, 22(8): 46-54.]
- [10] Wang Yali, Wu Yunchao, Zhao Di, et al. Analysis on level and quality of urbanization of counties in Dongting lake area based on population migration characteristics. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*. 2014, 23(11): 1519-1525. [王亚力, 吴云超, 赵迪, 等. 基于流动人口特征的环洞庭湖区县域城镇化的水平和性质分析. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(11): 1519-1525.]
- [11] Castells M. *The Rise of the Network Society*. Oxford: Blackwell, 1996.
- [12] Taylor P. *World City Network: A Global Urban Analysis*. London: Routledge, 2004.
- [13] Sanderson M R, Derudder B, Timberlake M, et al. Are world cities also world immigrant cities? An international, cross-city analysis of global centrality and immigration. *International Journal of Comparative Sociology*, 2015, 56: 173-197.
- [14] Jacobs W, Koster H, Hall P. The location and global network structure of maritime advanced producer services. *Urban Studies*, 2011, 48(13): 2749-2769.
- [15] Xiulian M, Timberlake M F. Identifying China's leading world city: A network approach. *GeoJournal*, 2008, 71(1): 19-35.
- [16] Neal Z. Differentiating centrality and power in the World City Network. *Urban Studies*, 2011, 48(13): 2733-2748.
- [17] Boyd J P, Mahutga M C, Smith D A. Measuring centrality and power recursively in the World City Network: A reply to Neal. *Urban Studies*, 2013, 50(8): 1641-1647.
- [18] Meijers E J, Burger M J, Hoogerbrugge M M. Borrowing size in networks of cities: City size, network connectivity and metropolitan functions in Europe. *Papers in Regional Science*, 2016, 95(1): 181-198.
- [19] Ducruet C, Cuyala S, Hosni A E. Maritime networks as systems of cities: The long-term interdependencies between global shipping flows and urban development (1890-2010). *Journal of Transport Geography*, 2018, 66: 340-355.
- [20] Kleibert J. On the global city map, but not in command? Probing Manila's position in the World City Network. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2016, 49(12): 2897-2915.
- [21] Wang Zhao, Yang Shan, Gong Fuhua et al. Identification of urban agglomerations deformation structure based on urban-flow space: A case study of the Yangtze River Delta urban agglomeration. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(9): 1337-1344. [王钊, 杨山, 龚富华, 等. 基于城市流空间的城市群变形结构识别: 以长江三角洲城市群为例. *地理科学*, 2017, 37(9): 1337-1344.]
- [22] Li Chen, Jin Xiangmu. Measurement of spatial interaction between central towns based on the gravity model. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(5): 724-732. [李陈, 靳相木. 基于引力模型的中心镇空间联系测度研究: 以浙江省金华市25个中心镇为例. *地理科学*, 2016, 36(5): 724-732.]
- [23] Chen Wei, Liu Weidong, Ke Wenqian, et al. The spatial structures and organization patterns of China's city networks based on the highway passenger flows. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(2): 224-241. [陈伟, 刘卫东, 柯文前, 等. 基于公路客流的中国城市网络结构与空间组织模式. *地理学报*, 2017, 72(2): 224-241.]
- [24] Wang Fenglong, Zeng Gang, Ye Qin, et al. Analysis of city network based on innovation cooperation: Case study of Yangtze River economic belt. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(6): 797-805. [王丰龙, 曾刚, 叶琴, 等. 基于创新合作联系的城市网络格局分析: 以长江经济带为例. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(6): 797-805.]
- [25] Zhao Ziyu, Wei Ye, Pang Ruiqiu, et al. Alter-based centrality and power of Chinese city network using inter-provincial population flow. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6): 1032-1048. [赵梓渝, 魏冶, 庞瑞秋, 等. 基于人口省际流动的中国城市网络转变中心性与控制力研究: 兼论递归理论用于城市网络研究的条件性. *地理学报*, 2017, 72(6): 1032-1048.]
- [26] Zhao Ziyu, Wei Ye, Wang Shijun, et al. Measurement of directed alternative centricity and power of directed weighted urban network: A case of population flow network of China during "Chunyun" period. *Geographical Research*, 2017, 36(4): 647-660. [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. *地理研究*, 2017, 36(4): 647-660.]
- [27] Wang Cheng, Wang Maojun, Chai Qing. The relationship between centrality and power in the city network. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(12): 1953-1972. [王成, 王茂军, 柴箐. 城市网络地位与网络权力的关系: 以中国汽车零部件交易链接网络为例. *地理学报*, 2015, 70(12): 1953-1972.]
- [28] Cao Zhan, Peng Zhenwei. Correlation between "Attributes and Network" of global city and global city-region: A case of

- Shanghai and Yangtze River Delta. *Economic Geography*, 2017, 37(5): 1-11. [曹湛, 彭震伟. 全球城市与全球城市一区域“属性与网络”的关联性: 以上海和长三角为例. *经济地理*, 2017, 37(5): 1-11.]
- [29] Wu Kang, Fang Chuanglin, Zhao Miaoqi. The spatial organization and structure complexity of Chinese intercity networks. *Geographical Research*, 2015, 35(4): 711-728. [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. *地理研究*, 2015, 35(4): 711-728.]
- [30] Jin Fengjun. Urbanization as a spatial means for human beings' development. *Geographical Research*, 2013, 32(9): 1761-1767. [金凤君. 论城市化的空间工具效应. *地理研究*, 2013, 32(9): 1761-1767.]
- [31] He Haojun, Peng Chong. The spatial-temporal evolution and the interactive effect between urban industrial structure transformation and land use efficiency. *Geographical Research*, 2017, 36(7): 1271-1282. [何好俊, 彭冲. 城市产业结构与土地利用效率的时空演变及交互影响. *地理研究*, 2017, 36(7): 1271-1282.]
- [32] Liu Shuaibin, Li Zaijun, Zhou Nianxing, et al. Spatial-temporal evolution of China's provincial consumption and its influencing factors. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(2): 186-194. [刘帅宾, 李在军, 周年兴, 等. 中国省域消费水平及影响因素的时空异质性分析. *地理科学*, 2018, 38(2): 186-194.]
- [33] 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. [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.]
- [34] Ma H, Zhang F, Liu Y. Transnational elites enhance the connectivity of Chinese cities in the world city network. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2018, 50(4): 749-751.
- [35] Luo Haichao, Miao Changhong, Li Guoliang. Review on empirical research and related controversies of different regional scale industrial transfer. *Human Geography*, 2014, 29(1): 1-8. [雒海潮, 苗长虹, 李国梁. 不同区域尺度产业转移实证研究及相关论争综述. *人文地理*, 2014, 29(1): 1-8.]
- [36] Sander N. Internal migration in Germany, 1995-2010: New insights into East-West migration and re-urbanization. *Comparative Population Studies*, 2014, 39(2): 217-246.
- [37] Schroeder J P. Visualizing patterns in U.S. urban population trends [D]. Twin Cities: University of Minnesota, 2009.
- [38] Liu Jun. Lectures on Whole Network Approach: A Practical Guide to UCINET. Shanghai: Truth & Wisdom Press and Shanghai People's Publishing House, 2009. [刘军. 整体网分析讲义: UCINET 软件实用指南. 上海: 格致出版社、上海人民出版社, 2009.]
- [39] Koenker R. Quantile regression for longitudinal data. *Journal of Multivariate Analysis*, 2004, 91(1): 74-89.
- [40] Qin Jia, Li Jianmin. Spatial patterns and determinants of urbanization in China. *Population Research*, 2013, 37(2): 25-40. [秦佳, 李建民. 中国人口城镇化的空间差异与影响因素. *人口研究*, 2013, 37(2): 25-40.]
- [41] Guan Xingliang, Wei Houkai, Lu Shasha, et al. Patterns and driving mechanism of spatial agglomeration during the urbanization process in China. *Geographical Research*, 2016, 35(2): 227-241. [关兴良, 魏后凯, 鲁莎莎, 等. 中国城镇化进程中的空间集聚、机理及其科学问题. *地理研究*, 2016, 35(2): 227-241.]

## Characteristics and formation mechanism of China's provincial urbanization spatial correlation based on population flow

LIU Shuaibin<sup>1, 2, 3, 4</sup>, YANG Shan<sup>1, 2, 3, 4</sup>, WANG Zhao<sup>1, 2, 3, 4</sup>

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 3. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Ministry of Education, Nanjing 210023, China; 4. State Key Laboratory Cultivation Base of Geographical Environment Evolution (Jiangsu Province), Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Spatial correlation is the link of regional interaction and influence; the urbanization spatial correlation is spatial relationship of urbanization based on population flow, which influences and continuously adjusts the regional economic and social development pattern in China. By analyzing the change of the spatial correlation intensity and the spatial correlation network of provincial urbanization in China during 1990-2015, this paper reveals the spatial correlation characteristics, formation process and influencing factors of China's provincial urbanization since China's reform and opening up. The results show that: (1) 7 types of spatial correlation intensity are identified in the evolution of provincial urbanization of China, among which the dominant type has the highest degree of coincidence with the whole country, and determines the evolution process of the spatial correlation intensity of urbanization in China. The non-dominant types of urbanization spatial correlation intensity evolution feature 2005 as the critical year, and their growth was slow or even negative before the year; then together with the dominant type, they have promoted a continuous increase in the urbanization spatial correlation intensity across the country. (2) Urbanization spatial correlation network structure characteristics are analyzed from national, regional and provincial scales. The structure of the spatial correlation network of urbanization is becoming more and more complicated, and the correlation paths have shifted from centralized to scattered. The differences in the correlation density between regional subgroups with different attributes have begun to shrink, and the high-level nodes have spread from the eastern to the central and western regions. (3) Further, the panel-vector auto-regression and panel quantile regression are used to test the interaction mechanism between urbanization spatial correlation intensity and correlation network centrality, which explains the effect of residents' income level and regional industrial structure on urbanization spatial correlation characteristics. The specialization of urbanization spatial correlation not only deepens the research on urbanization theory and methodology, but also provides a theoretical basis for the development of population urbanization and the adjustment of industrial space in China.

**Keywords:** provincial urbanization; inter-provincial population flow; urbanization spatial correlation; spatial correlation intensity; spatial correlation network centrality