

长江三角洲地区城镇空间扩展特征及机制

车前进^{1,2}, 段学军¹, 郭 垚^{1,2}, 王 磊^{1,2}, 曹有挥¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:城镇空间扩展是城市化作用于地理空间的直接结果,揭示城镇空间扩展过程、格局及机制已成为识别城镇发展阶段、认知城镇发展规律的有效手段。基于长江三角洲地区多时相卫星遥感影像数据,以城镇用地扩展空间分异与关联特征为切入点,利用间隙度指数、分形维数、扩展强度指数、扩展速度指数和空间关联模型,定量揭示了区域城镇空间扩展特征的多样性、空间组织异质性和“热点区”格局演化。结果表明:20世纪80年代以来,长三角地区城镇空间扩展在以中心城市集聚为主导的过程中,遵循“小集聚,大分散”的特点,围绕“Z”形区域发展轴线,大致经历了点轴扩展、沾粘式增长和蔓延扩张的过程,区域融合现象凸显;空间扩展的“热点区”格局不断演化,“热点区”的核心集聚作用在减弱,沪宁沿线、沪杭沿线、杭甬沿线和沿江地区成为驱动长三角城镇社会经济的核心区;同时,在城镇空间扩展的不同阶段,驱动机制有所差异,经济全球化和区域城市化推动着长三角城镇空间一体化进程。

关键词:城镇扩展过程;空间格局;机制;空间分异;空间关联;长江三角洲地区

1 引言

城镇空间扩展的过程和格局是区域城市化和城市区域化的重要表现,是城镇间要素流动以及城镇系统结构演化的综合反映^[1]。伴随着经济全球化和后工业革命的巨大变革,城镇发展进入“全球大都市区增长时代”,城镇空间群体化并形成大的都市区已成为快速城市化地区参与全球竞争与国际分工的重要形式,尤其是以全球城市为核心的大都市区已成为世界经济最为活跃的区域,并开始主导全球经济^[2-3]。

20世纪初期开始,西方地理学者就开始关注城镇空间的研究,如Howard的田园城市;Saarinent的“有机疏散”理论,极大地推动了城镇空间研究的发展。20世纪50年代以来,随着西方城市化进程的加速,城镇空间从都市区扩展到城镇群体空间,Guttman基于美国东海岸城镇空间形态、空间组织以及经济联系提出了“大都市连绵带”的理念,并预言大都市连绵带是城镇空间发展的必然过程^[4];Ullman提出利用空间相互作用理论解释城镇空间扩展机制^[5]。20世纪80年代,城市用地蔓延问题逐渐成为西方学者关注的重要内容,城镇用地空间扩展的过程、格局及机制的研究愈加受到重视。Batty等^[6]、Frankhauser^[7]基于分形理论探讨了城镇用地空间扩展的自组织过程;Dendrinos采用生态学模型分析了美国城镇空间扩展的动力学过程^[8];Nijkamp和Reggiani采用logistic模型、lorenz模型描述城市空间扩展的生命周期、空间作用等现象^[9]。90年代,在经济全球化不断加深的背景下,城镇空间进一步向区域化、网络化方向演化,研究重点由空间关系分析转向空间机制,研究尺度由一国一地转向跨国跨区域,Lynch构建了扩展大都市模式^[10],Fishman提出了世界连绵城市的概念^[11],Mcgee研究了全球背景下亚洲巨型城市化区域的空间形态和格局特征^[12]。国内城镇空间的

收稿日期: 2010-01-14; 修订日期: 2010-11-01

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCY2-YW-339); 国家科技支撑计划课题 (2006BAJ05A11)

[Foundation: Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences, No.KZCY2-YW-339; National Science and Technology Ministry, No.2006BAJ05A11]

作者简介: 车前进 (1982-), 男, 博士生, 主要从事城市与区域空间结构的研究。E-mail: qianjin519@163.com

通讯作者: 曹有挥, 博士, 研究员, 博士生导师。E-mail: yhc@niglas.ac.cn

研究起步较晚,宋家泰先生首先提出了“城市一区域”的概念,倡导从区域角度研究城市发展,这对制定城镇体系规划和科学划分城市经济区具有极其重要的指导意义,随后,中国城镇体系发育过程、组织结构、作用机制等都得到较好的研究^[13-14]。20世纪90年代中后期,随着遥感和GIS技术的应用,地理学者开始利用遥感数据源监测城镇空间扩张过程^[15-16]。2000年以后,中国的城市区域化格局凸显,城镇间相互作用增强,城镇用地以空前的速度、多样的形式迅速扩张,集聚增长趋势显著,群体扩展的空间组织演化成为研究的热点^[17]。宁越敏等^[18]、顾朝林等^[19]从整体角度研究了长三角大都市区城镇演化的特征及驱动力;张京祥分析了城镇群体空间演化的过程^[20];马荣华等定量测度了城镇空间演化的模式和格局^[21]。

纵观国内外研究,城镇空间扩展的理论与实践经历了由静态到动态、由小尺度到大尺度、由结构分析到机制探索的过程^[20-22]。随着经济全球化和区域一体化进程的加快,以全球城市为核心的城镇群体正在形成,城镇空间正以新的国际劳动地域分工理论为指导进行重组。长江三角洲地区是中国城市化最为剧烈的地区,快速城市化导致LUCC变化显著,建设用地粗放利用、生态环境恶化、耕地流失严重等问题日益突出,探索长江三角洲地区城镇空间扩展的过程、格局及机制对于维护区域生态安全、促进可持续发展具有重要意义。目前,长江三角洲地区地区城镇空间扩展的研究存在不足。首先,从研究尺度上来看,多集中于苏州、常熟等单一城市化区域,较少对城镇空间实施大尺度、长时间序列上的动态监测,较少能够刻画城镇空间组织在大时空尺度上的扩展特征和群体间相互关联形式^[23-24]。第二,对于城镇空间扩展特征揭示不够深入。传统的研究多基于象限法、雷达图法等,采用紧凑度、分形等指标测算不同时期、不同评价单元的扩展程度,这就掩盖了不同尺度上城镇空间组织局部变异性和复杂性,特定的扩展轴线或扩张极核难以被发现,需要从定量和可视化的角度对其进行综合表征。第三,缺乏对于城镇空间扩展的过程与格局的系统研究,城镇空间扩展的过程与格局是空间分异与空间关联两类效应综合作用的结果,空间分异是城镇用地在扩展过程中形成的局部异质特征,空间关联则是城镇群体在不同空间尺度上的相互依赖模式,二者必须从时间、空间、尺度三个层面进行综合推绎^[25-26]。基于以上总结,本文尝试以空间异质与空间关联为切入点,利用多时相的卫星遥感影像数据,通过间隙度指数、分形维数、扩展强度指数扩展速度指数以及空间关联测度模型等度量长江三角洲地区大都市区城镇空间扩展过程及格局,揭示驱动城镇空间演化的动力机制,以此反映20世纪80年代以来长江三角洲地区快速城市化进程。

本文研究范围包括上海、南京和杭州等15个地级市(舟山由于数据缺失,未包括在内),总面积10万多km²。从城市体系看,除上述15个中心城市外,县(市)级行政单元有52个(图1)。随着改革开放的深入,长江三角洲地区城镇建成区面积迅速扩大,由1980年2260多km²上升到2007年7100多km²;小城镇密度为全国平均水平的8倍,达到100多个/万km²。近年来,随着杭州湾跨海大桥和苏通大桥建成通车,沪崇苏跨江通道、京沪高速铁路等重大基础设施开工建设,长江三角洲地区城镇空间必然发生更为剧烈变化。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据处理

本研究基础数据包括空间分辨率分别为30 m的Landsat MSS/TM/ETM(1980年5月、1995年7月、2000年5月和2007年8月)、10 m的SPOT(2007年7月)卫星遥感影像。以2000年1:50000地形图为基准,利用3次多项式的校正模型,分别对上述图像进行几何校正,误差控制在一个象元之内。采用目视解译和监督分类相结合的方法,提取4个年份城镇建成区用地(图1)。利用ArcGIS软件将建成区矢量数据转化为边长为500 m×500 m的Grid数据,以利于间隙度指数和分形维数分析;空间关联采用县(市)为基本评价单元,共67个。

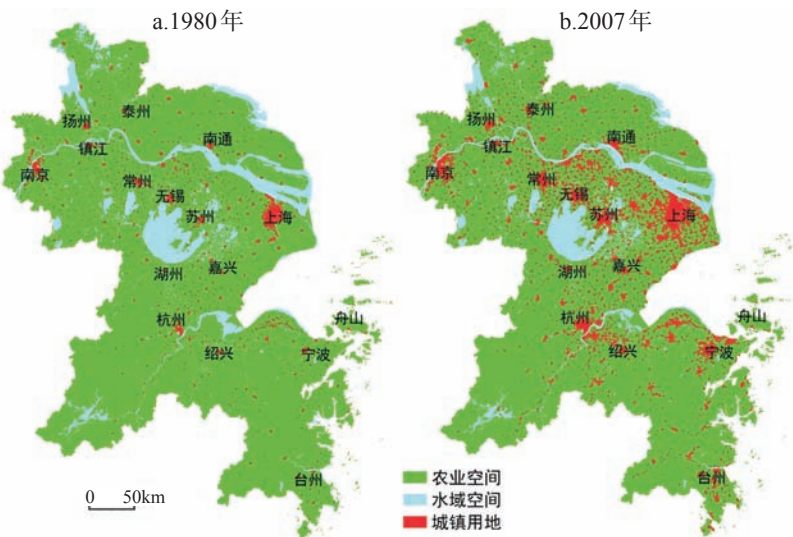


图 1 1980 年和 2007 年长江三角洲地区的城镇用地空间分布

Fig. 1 The spatial distribution of urban land in the study area in 1980 and 2007

2.2 研究方法

2.2.1 间隙度指数 城镇空间形态演化的过程开始于孤立的单核心城市,随着城市扩张行为的进行,空间异质性从城市中心向外围逐渐增大,城镇空间表现为单体城市间的发展不平衡;当多个城市化地区对接,空间异质性显著增强,直至多个城市化地区相互融合,城镇空间趋于均质。间隙度指数可以定量测度城镇空间扩张异质性,识别城镇空间扩展过程。间隙度分析方法主要包括移动窗口法和查分盒子法,前者是对城镇用地总体特征及分布的一种度量,后者则用于识别城镇用地空间分布的局部异质性^[27]。

全局间隙度指数的计算公式为:

$$GL(r)=\frac{\sum M^2Q(M,r)}{\left[\sum MQ(M,r)\right]^2} \tag{1}$$

式中: M 为边长为 r 计数窗口中城镇用地的数量; $Q(M,r)$ 为计数窗口中城镇用地的比例。

局部间隙度指数计算公式为:

$$LL(r)=\frac{\sum M_w^2Q(M_w,r)}{\left[\sum M_wQ(M_w,r)\right]^2} \tag{2}$$

式中: $M_r=\sum_{i,j}n_r(i,j)$; $n_r(i,j)=v-\mu+1$; M_w 为局部区域 ($w\times w$) 内边长为 r 滑动窗口中城镇用地的数量; $n_r(i,j)$ 是局部区域 i 和 j 的列相对高度; v 为具有最大象元值的立方体盒子; μ 为具有最小象元值的立方体盒子^[27]。

2.2.2 相关分形维数 相关分形维数计算公式为:

$$N=ae^D+c \tag{3}$$

式中: a 被称为形状因子,是局部偏离的综合指标, a 值应位于0.5-3之间,如果 a 值超过10或者小于0.1,则表明研究的结构体不具有分形特性。 c 为常量, D 为分形维数。 D 变化于0→2之

间,反映了城镇用地空间扩展模式,当 $D \rightarrow 0$,表明城镇扩展以星状特征为主, $D \rightarrow 1$,表明城镇用地沿交通轴线呈线状布局,当 $D \rightarrow 2$,城镇空间扩展以面域推进为主。引入标度曲线 $\alpha(\varepsilon)$ (Scaling Behavior Curve, SBC),以揭示各类用地在不同空间尺度下标度行为的变化特征,标度曲线的表达式为:

$$N = a\varepsilon^{\alpha(\varepsilon)} + c \tag{4}$$

2.2.3 扩展强度和扩展速度 城镇用地扩展速度 M_{ue} 和扩展强度指数 I_{ue} 用于分析和描述各类城镇用地的扩展状态,比较不同时段各类城镇建成区面积扩展的强弱、快慢及扩展趋势。其表达式为:

$$M_{ue} = \frac{c}{\Delta t \times ULA_i} \times 100\% \quad I_{ue} = \frac{\Delta U_i \times 100}{TLA \times \Delta t} \tag{5}$$

式中: ΔU_i 为某一时段城镇用地扩展数量; Δt 为某一时段的时间跨度; ULA_i 为某一时段初期的城镇用地总面积; TLA 为研究单元土地总面积。

2.2.4 空间关联指数 利用Getis-Ord General G 和Getis-Ord G_i^* 分别测度城镇空间扩张全局的和局域关联特征,前者是用于探测整个研究区的空间关联结构模式;后者用于识别不同的空间位置上的高值簇与低值簇,即热点区 (hot spots) 与冷点区 (cold spots) 的空间分布^[23]。

Getis-Ord General G 表达式为:

$$G(d) = \frac{\sum \sum w_{ij}(d) x_i x_j}{\sum \sum x_i x_j} \tag{6}$$

式中: d 为长三角各城市中心的距离; $w_{id}(d)$ 为研究区域的空间权重; x_i 和 x_j 为城市 i 和 j 的城镇用地扩展强度指数。在空间不集聚的假设下, $G(d)$ 的期望值为 $E(G)$:

$$E(G) = W / [n(n-1)] \quad W = \sum \sum w_{id}(d) \tag{7}$$

在正态分布的条件下, $G(d)$ 的统计检验值为 $Z(G)$:

$$Z(G) = [G - E(G)] / \sqrt{\text{Var}(G)} \quad [E(G) = Wn(n-1)] \tag{8}$$

当 $G(d)$ 高于 $E(G)$,且 $Z(G)$ 值显著时,研究区出现高值簇;当 $G(d)$ 趋向于 $E(G)$ 时,研究区变量呈随即分布特征。

Getis-Ord G_i^* 表达式为:

$$Z(G_i^*) = \frac{\sum_j^n w_{ij}(d) x_j}{\sum_j^n x_j} \tag{9}$$

对 $G_i^*(d)$ 进行标准化处理:

$$Z(G_i^*) = [G_i^* - E(G)] / \sqrt{\text{Var}(G_i^*)} \tag{10}$$

式中: $E(G)$ 和 $\text{Var}(G_i^*)$ 分别为 G_i^* 的数学期望和方差, w_{ij} 是空间权重。 $Z(G_i^*)$ 为正且显著,表明位置 i 周边的值相对较高 (高于均值),属于高值空间集聚 (热点区);如果 $Z(G_i^*)$ 为负值且显著,则表明位置 i 周围的值相对较低 (高于均值),属于低值空间集聚 (冷点区)

3 长江三角洲地区城镇空间扩展的过程与格局

长江三角洲地区1980-1995、1995-2000、2000-2007年3个阶段的城镇建设用地扩展强度指数分别为0.07、0.08、0.46;其中,中心城市(地级市)扩展强度分别为0.16、0.11、0.91,次级城市(县城或县级市)扩展强度分别为0.04、0.04、0.30,在不同阶段中心城市均优于次级城市,整体上城镇空间扩展以中心城市为主。不同阶段的城镇建设用地扩展速度分别为3.2%、5.8%、15.85%,其中,中心城市(地级市)扩展速度分别为2.9%、3.5%、11.54%,次级城市(县级市)扩展速度分别为3.6%、6.7%、16.8%,中心城市扩展速度明显低于次级城市。扩展强度和扩展速度的分析结果表明:长江三角洲地区城镇空间扩展在以中心城市集聚为主

导的过程中,遵循“小集聚,大分散”的特点,次级城市的增长速度快于中心城市,各城市之间的差距一直在缩小,城镇用地空间趋于分散。

3.1 城镇空间扩展过程

3.1.1 空间扩展模式逐渐多样化,“分散化”扩张趋势加强 1980、1995、2000年相关维数分别为1.061、1.164、1.312 (图2),在此阶段中,长江三角洲地区城镇用地的轴状扩展模式显著;3个年份标度曲线(SBC)波动呈现出较好的同相特征(图3),这说明城镇空间存在一致的扩展轴线;计数窗口尺度从0~602象元变化过程中未出现明显的稀释带,城镇用地空间分布的异质性较强,且在不同空间尺度上,标度曲线值在逐年上升,尤其从1995年开始,标度曲线值均大于1,这说明城镇空间扩展的无序性在减弱,有序性在加强。2007年标度曲线(SBC)变化平稳,计数窗口尺度从100~602象元变化过程中存在明显的稀释带,城镇用地空间分布的均质性显著增强,相关维数介于1~2之间,即区别于轴状扩展模式,又不同于面域推进的格局特征,这说明存在多样化的扩展模式。利用差分盒子法,分别测算3个阶段城镇用地扩张的局部间隙度指数(图4),可以发现:1980-1995年,局部间隙度指数高值区空间分布呈两种态势:①与区域交通主轴分布相一致,大致成“Z”形结构,初步奠定了长江三角洲地区都市连绵区格局。②散落分布于“Z”形轴线周边的次级城市,“分散化”特征初步形成,这两类态势也进

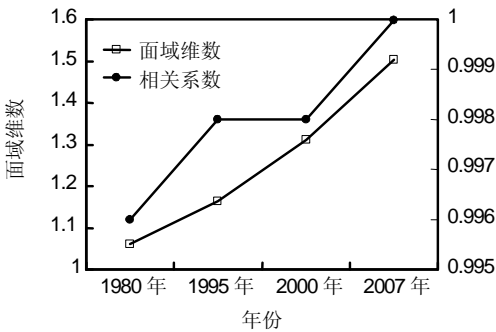


图2 相关维数变化

Fig. 2 The change of correlation dimensions in the study area

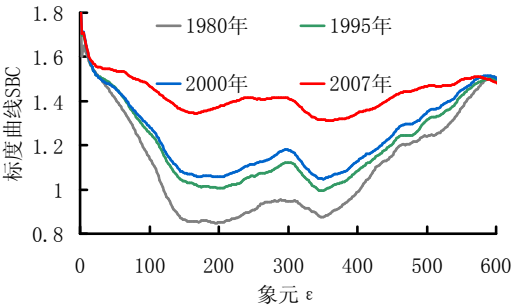


图3 研究区城镇空间相关维数标度曲线

Fig. 3 The SBC of correlation dimensions of urban space in the study area

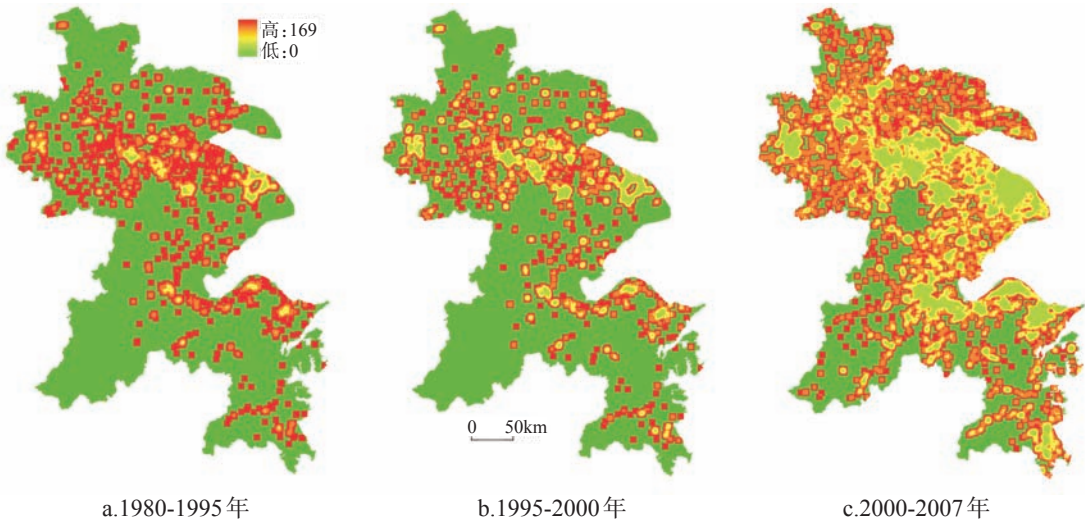


图4 1980-1995年、1995-2000年、2000-2007年长三角城镇空间扩展局部间隙度分析

Fig. 4 Local lacunarity analysis of urban space expansion in the Yangtze River Delta in different stages of expansion from 1980 to 2007

一步证明,在此阶段中城镇空间以点—轴扩展模式为主;1995-2000年,间隙度指数高值区分布呈弱化趋势,沪宁沿线、杭甬沿线多个城市化地区对接,原有沿线分布的高值区被弱值区所割裂,沿线地区形成若干高值集聚簇,高值区“分散化”趋势增强,此阶段城镇空间扩展以交通走廊沿线城镇间对接式增长为主;2000-2007年,间隙度指数高值区空间分布已经脱离了“Z”形结构的约束,在长江以北南通、泰州、扬州等地区连接成片,在西南部地区(淳安、建德、桐庐、富阳、临安等)分散布局,在南部地区(台州、温岭、天台、玉环、仙居等)形成多个集聚簇,“分散化”扩张的趋势进一步增强。

3.1.2 城镇用地扩展的中心性在减弱,区域融合现象凸现 运用移动窗口法分别测算三个阶段城镇空间扩张的全局间隙度指数(滑动窗口的尺度变化范围为1~39象元),生成间隙度指数变化的双对数自然曲线(图5),可以发现:随着滑动窗口的变化,2000-2007年城镇空间扩展全局间隙度指数均小于上述两个阶段,这说明“分散化”的多极扩张使得城镇用地规模迅速扩大,多个城市化地区相互融合,在不同的空间尺度上,城镇空间扩展的异质程度均在减弱。从局部间隙度指数分布(图4)中可以看出:① 1980-1995年,低间隙度指数区域空间相互分离,孤立于上海、苏州、无锡、常州、杭州、宁波、南京、台州等中心城市,区域的核心—外围空间组织结构差别显著,在此阶段中,长江三角洲地区城镇用地的扩展主要围绕中心城市孤立增长;② 1995-2000年,低间隙度指数区数量显著增多,且出现局部范围内的融合现象,即围绕中心城市形成多个低值集聚簇,如苏锡常与周边江阴、张家港、宜兴、靖江、常熟等县市形成低值集聚簇,上海市区与昆山、太仓形成低值集聚簇,杭州、绍兴与海宁、上虞、余姚、慈溪等形成低值集聚簇,城镇间相互关联的强度超过了上一阶段,城镇空间扩展产生显著的多中心化结构,但城镇空间扩展的中心性开始减弱;③ 2000-2007年,低间隙度指数区域表现出连片分布的态势,各个低值集聚簇之间边界日渐模糊,区域融合态势凸现,除沿“Z”形轴线呈连片分布之外,还形成了南京、镇江、高淳、溧水低值集聚簇,台州、温岭、玉环、仙居、临海低值集聚簇,城镇空间扩展的中心性逐渐消失,区域发展日渐均质。

3.2 城镇空间扩展格局

基于长江三角洲地区县市评价单元,以城镇扩展强度指数为变量,测算城镇空间增长关联指数Getis-Ord General G 和 Getis-Ord G_i^* ,从而测度空间关联而导致的全局性空间扩展格局和扩展“热点区”演化与迁移。

3.2.1 全局格局特征 从表1中可以看出:各个阶段中,长江三角洲地区城镇扩展强度指数的全局统计指标的 $G(d)$ 均大于 $E(d)$,且 Z 值较为显著,说明研究区范围内存在高(低)值集聚现象,但随着 Z 值的降低,集聚现象在减弱。1980-1995年, Z 值较高,说明该时期长江三角洲地区城镇的空间扩展围绕少数几个极核中心展开;1995-2000年, Z 值缓慢减低,中心极化作用开始减弱;2000-2007年, $G(d)$ 和 $E(d)$ 的差距明显减小,且 Z 值下降较快,说明城镇空间增长的高值与低值集聚中心极化强度迅速降低,且热点区与冷点区在空间分布上出现明显的演化和迁移,上述分析也验证了间隙度指数和分形维数的分析结果。

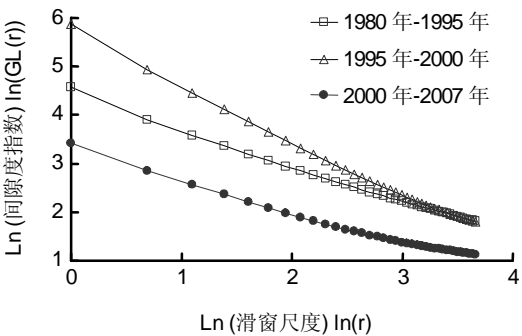


图5 不同扩展阶段全局间隙度指数曲线
Fig. 5 The curves of global lacunarity index in different stages of expansion

表1 1980-2007年长江三角地区城镇扩展强度的Getis-Ord General G 指数

Tab.1 Getis-Ord General G of urban sprawl intensity in the core area of the Yangtze River Delta in different stages of expansion from 1980 to 2007

	1980-1995	1995-2000	2000-2007
观测值 $G(d)$	0.000010	0.000011	0.000009
期望值 $E(d)$	0.000008	0.000008	0.000008
Z score	5.76	5.15	3.79

说明研究区范围内存在高(低)值集聚现象,但随着 Z 值的降低,集聚现象在减弱。1980-1995年, Z 值较高,说明该时期长江三角洲地区城镇的空间扩展围绕少数几个极核中心展开;1995-2000年, Z 值缓慢减低,中心极化作用开始减弱;2000-2007年, $G(d)$ 和 $E(d)$ 的差距明显减小,且 Z 值下降较快,说明城镇空间增长的高值与低值集聚中心极化强度迅速降低,且热点区与冷点区在空间分布上出现明显的演化和迁移,上述分析也验证了间隙度指数和分形维数的分析结果。

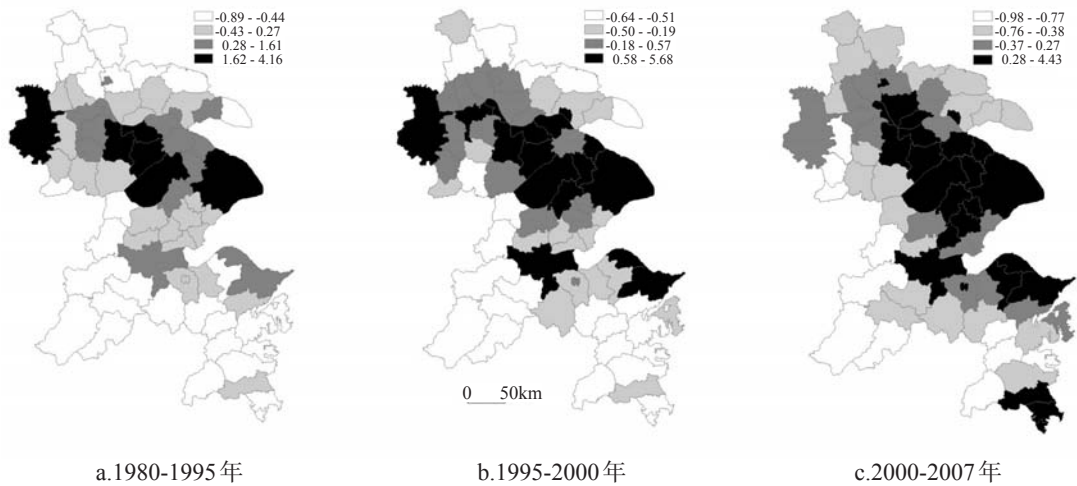


图6 1980-1995年、1995-2000年、2000-2007年长江三角洲城镇扩展“热点区”演化
Fig. 6 Hot spots mapping of urban growth pattern in the Yangtze River Delta in different stages of expansion from 1980 to 2007

3.2.2 “热点区”格局 分别计算3个扩展阶段的各评价单元局域空间关联指数Getis-Ord G_i^* ,依据ArcGIS的自然聚类方法对每个阶段的局域Getis-Ord G_i^* 统计量从高到低分成4类,获取长江三角洲地区城镇空间扩展强度的“热点区”(高值区)和“冷点区”(低值区)分布图(图6),结果表明:① 20世纪80年代以来,随着长江三角洲地区城市化进程的加快,城镇扩展的“热点区”数量显著增加,“冷点区”则不断减小。“热点区”的比重由1980-1995年的9.0%上升至1995-2000年的25.4%,到2000-2007年增至最大值43.3%,3个时相的“冷点区”则表现显著的下降趋势,所占比重依次为40.3%、29.9%、14.9%。在3个扩展阶段中,除上海和苏锡常一直位于“热点区”外,“热点区”格局始终处于不断的演化和变迁之中。② 1980-1995年,“热点区”形成鲜明的三个极核,分别为南京极核、苏锡常极核、上海极核,城镇扩展以核心集聚型为主,热点区外围则为次高值区、中值区、低值区,城镇群体空间的核心—外围结构较为显著。同时,杭甬沿线的杭州与宁波、沪宁沿线的太仓、常熟、张家港等地扩展速度较快,形成了次高值区。③ 1995-2000年,“热点区”格局特征发生很大变化:首先,热点区数量显著增加,较上阶段增加了16.4%;其次,上阶段处于次高值区吴江、太仓、昆山、常熟、张家港、镇江、南通、杭州、宁波、慈溪等地演化为热点区,尤其在沿江地区、沪宁沿线形成了“热点区”集聚带。④ 2000-2007年,“热点区”规模进一步扩大,沪宁沿线、沪杭沿线、杭甬沿线已连接成片,形成了“Z”结构的高值集聚带,台州、温岭、玉环地区也形成“热点区”,而南京、镇江则由高值区转化为次高值区。⑤ 通过上述分析,可以发现,1980-2007年长江三角洲地区城镇空间扩展热点区整体上表现出“Z”走廊的填充过程,而次高值区、中值区者表现出沿“Z”形区域向周边布局的梯度化特征。1980-1995年,城镇的快速扩展区集中在沪宁沿线的上海、南京、苏锡常地区,5个地区主导着长江三角洲地区的城市化进程。1995-2000年,多个热点区出现,并于原快速发展区连接成片,尤其是沪宁沿线与沿江地区城镇发展表现出强健势头,而长江三角洲南翼地区的扩展相对较弱。2000-2007年,热点区不断扩张,并与新增的城镇快速扩展区相互粘合,逐渐演变为较连续的带状集聚区,在此过程中,沪宁沿线、沪杭沿线、杭甬沿线以及江苏沿江地区成为长江三角洲地区城市化发展的引领者。

4 长江三角洲地区城镇空间扩展的驱动机制

对于单体城市,其空间形态演化与城市化过程具有显著的同向性,扩展机制可以通过城

市化的动力机制得到较好的解释;对处于全球化背景下的大都市区或城镇密集地区而言,其空间形态演化实质则是经济全球化与区域城市化互动中形成的空间分工新格局。经济全球化推动了全球城市体系的重构,促使生产要素在全球范围内的流动与转移,并通过生产网络的延伸影响着区域空间结构;而区域则依托特定的先发优势、市场规模、制度环境以及政府政策等融入到全球化浪潮中,加快区域一体化的进程^[28-29]。中国区域城市化过程可以理解为双轨城市化,即自上而下型和自下而上型相结合的发展模式,前者以制度变迁、政府作用转变主要驱动机制,后者以乡村工业化和市场自由化运作为主要特征。20世纪80年代以来,长江三角洲地区在不同的发展阶段,驱动其城镇发展的主导机制有所不同,城镇空间扩展的过程与格局也各具特质。随着经济全球化深入和区域城市化的快速发展,城镇空间扩展的驱动机制处于不断的变化与组合之中。

1980-1995年,“地方分权+市场化竞争”路径极大推动着长江三角洲地区经济的发展。在这样背景之下,地方间竞争日益强化,行政区经济阻碍了统一市场的形成,使得城镇用地空间扩展的关联性较弱,扩展过程上则表现为各中心城市孤立增长。在此阶段中,上海、南京依托于经济、政治优势迅速成为区域城市化先行区和外商投资的首选地,城市空间扩张剧烈,成为长江三角洲地区城镇扩展“热点区”;同时,作为乡镇企业发源地的苏南地区,利用较好的经济基础和与上海的地缘优势,加快乡镇企业和小城镇发展,“乡乡点火、村村冒烟”的“苏南模式”直接导致分散无序的农村工业格局,苏锡常地区也成为区域城镇扩张的热点。

1995-2000年,随着经济全球化日益加深,长江三角洲地区外商投资模式也从小规模、试探性投资转向大规模、产业关联性强的伞状投资,地方政府纷纷依托区域交通轴线设立吸纳工业积聚的开发区,开发区建设极大推动了城镇实体地域演化;同时,跨区域基础设施对于各地承接上海辐射、推动外资流动起到了关键的作用,沪宁高速完善了上海与南京间的交通走廊,沪杭、杭甬高速则有力带动了长江三角洲地区东部沿海地区的发展,“Z”形交通轴线进一步密切了城镇空间的相互联系,成为城镇群体扩展新的牵引力,使得城镇扩展过程表现为沿区域交通走廊的城镇间对接式增长为主,“点—轴”扩展模式显著,而单体城市中心极化作用开始减弱。在此阶段中,国家产业政策也促进了江苏沿江和浙江沿海地区的发展城市规模的扩大和新城镇的形成,1995年两省60%的大中型企业布局于此,这使得城镇空间扩展在上述两地区形成了高值集聚带。

2000年以后,随着全球化与市场化进程的不断加深,长江三角洲地区逐渐成为参与全球竞争的独立单元,城镇间联系日益密切,城镇用地空间表现出显著的连片分布态势,并沿区域交通轴线呈现出多中心、网络化的一体化发展模式。一方面,长江三角洲地区逐渐成为以上海为圆心、以区域基础设施为纽带的“均质化”投资区域,外商投资区位进一步呈现扩散化趋势。另一方面,随着国有企业改革的深入,地方政府对于本地企业的控制力显著弱化,企业的跨区域发展促进了次区域间要素的流动,由此推动了企业内地域产业分工的展开,资源的空间配置愈加均衡^[30]。同时,在这一阶段,制度创新愈来愈受到重视,区域合作、城市联盟、区域协调不断涌现,尤其是长江三角洲区域规划的编制进一步促进了区域一体化的进程,城镇空间扩展的关联性显著增强,区域融合现象凸现。

5 结论与讨论

本研究采用多种模型,分别从时空、尺度方面测度了长江三角洲地区城镇用地空间扩展的过程与格局,并揭示了影响城镇扩展的驱动机制,结果表明:① 1980-2007年,长江三角洲地区城镇用地面积扩大了近3.5倍,区域城镇新兴的空间增长中心不断出现,中心城市空间极化作用逐渐削弱,表现出“小集聚,大分散”的特点。② 长江三角洲地区城镇空间在不同的扩展阶段都存在相同的扩展轴线,即与区域交通主轴分布相一致的“Z”形结构,并围绕扩

展轴线呈现相应的扩展模式:大致经历了改革开放初期的点轴扩展→20世纪90年代中后期沿“Z”型轴线城镇群体沾粘式增长→2000以后的城镇空间连绵蔓延过程,城镇群体空间的“分散化”扩张趋势明显,区域融合态势凸显,大都市连绵进程加速。③从格局特征来看,长江三角洲地区城镇扩展热点处于不断的演化和变迁之中,上海与苏锡常地区始终处于城镇扩展强度的高值区。从时空演化来看,改革开放初期,围绕上海、南京、苏锡常地区形成扩展强度的高值极核,随着长江三角洲地区城市化进程的加快,扩展强度的高值带沿长江地区、沪宁线、沪杭线、杭甬线不断演化,并成为驱动长三角地区社会经济发展的核心区。④从影响机制来看,长江三角洲地区城镇空间扩展是多种因素综合作用的结果,在不同的阶段,主要驱动机制有所不同,总体而言,经济全球化与区域城市化推动长江三角洲地区城镇空间一体化进程。

本文以城镇用地扩展空间分异与关联特征为切入点,采用多尺度的间隙度指数揭示了长江三角洲地区在不同发展阶段城镇空间的扩展极核和扩张轴线,利用空间关联指数反映了城镇空间扩展强度在不同位置上的空间集聚特征,并通过多时相图谱对其进行综合表征,改变了以往研究中采用空间属性数据专题化而引起的过程与格局混淆不清、空间分异和空间关联两类效应难以系统整合的不足,使得地理学“过程—格局”研究范式更加清晰。在研究中,空间分异采用多尺度分析,空间关联分析仅以县(市)为评价单元,但彼此分析的结果既相互联系又相互印证,符合地理学“第一定律”中空间关联是构建空间格局的基础、空间关联不受尺度效应干扰的思想。尽管本研究整合了地理学“第一定律”的空间关联和可能成为“第二定律”的空间分异理论^[31],但二者的结合无法揭示城镇空间扩展的机理,这也就使得驱动机制对于过程与格局的解释略显薄弱,这也是我们仍值得进一步探索之处。

目前,“Z”形轴线沿线地区正处于产业的转型提升期,其城镇空间形态正由无序蔓延进入内涵发展的新阶段,城镇空间形态将趋于稳定。从梯度推移的角度来看,“Z”形轴线沿线地区为了保持自身竞争优势,必然寻求创新和发展,原有产业将逐渐向外围地区转移,伴随着外资进入和空间开发,苏中和浙西地区正在成为长三角区域城镇空间扩张的新热点区,应该实行相应的政策措施预防该地城镇空间无序蔓延。

致谢:感谢北德克萨斯州大学地理系董品亮教授为文章的撰写提供了大量的技术支持和有益的建议;感谢南京大学城市与区域规划系张京祥教授为文章的修改提供的指导与帮助。

参考文献 (References)

- [1] Ma Xiaodong. Comparative Study between Urbanization Process and Spatial Pattern with ESDA Framework. Nanjing: Southeast University Press, 2007. [马晓冬. 基于ESDA的城市化空间格局与过程比较研究. 南京: 东南大学出版社, 2007.]
- [2] Allen J Scott. Global City-regions: Trends, Theory, Policy. Oxford University Press, 2001.
- [3] Fang Chuanglin, Song Jitao, Zhang Qiang et al. The formation, development and spatial heterogeneity patterns for the structures system of urban agglomerations in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(5): 827-840. [方创琳, 宋吉涛, 张蔷等. 中国城市群结构体系的组成与空间分异格局. *地理学报*, 2005, 60(5): 827-840.]
- [4] Gottman J. Megalopolis: The Urbanized Northeastern Seaboard of the United States. Cambridge: The MLT Press, 1961.
- [5] Ullman E L. American Commodity Flow. Seattle: University of Washington Press, 1957.
- [6] Batty M, Longley P A. The morphology of urban land use. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1988, 15: 461-488.
- [7] Frankhauser P. Fractal geometry of urban patterns and their morphogenesis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1998, (2): 127-145.
- [8] Denrinos D S. Regions, anti-regions and their dynamic stability: The US case (1929-1979). *J. Reg. Sci.*, 1984, 24(1): 65-83.
- [9] Nijkamp P, Reggiani A. Dynamics spatial interaction models: New directions. *Environment and Planning A*, 1988, 20(A): 1449-1460.
- [10] Lynch K. Locational Models. Boston: University of Harvard Press, 1980.

- [11] Fishman R. Beyond Suburbia: The Rise and Fall of Suburbia. New York: Basic Book, 1977.
- [12] Mcgee T G. The Emergence of Desakota Regions in Asia: Expanding a Hypothesis. Honolulu: University of Hawaii Press, 1991.
- [13] Zhou Yixing, Yang Qi. Review of evolution of cities hierarchy in China and the regional classification. *Acta Geographica Sinica*, 1986, 41(2): 97-111. [周一星, 杨齐. 我国城镇等级体系变动的回顾及省区地域类型. *地理学报*, 1986, 41(2): 97-111.]
- [14] Gu Chaolin, Zhang Qin. Theory and method of urban system planning in new time. *Urban Planning Forum*, 1997, (2): 14-26. [顾朝林, 张勤. 新时期城镇体系规划理论与方法. *城市规划汇刊*, 1997, (2): 14-26.]
- [15] Li Xia. Application of remote sensing for monitoring and analysis of urban expansion: A case study of Dongguan. *Geographical Research*, 1997, 16(4): 56-62. [黎夏. 利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程: 以东莞市为例. *地理研究*, 1997, 16(4): 56-62.]
- [16] Gu Chaolin. Study on phenomena and mechanism of land use/cover change in Beijing. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(4): 307-312. [顾朝林. 北京土地利用/覆盖变化机制研究. *自然资源学报*, 1999, 14(4): 307-312.]
- [17] Zhuo Li, Li Qiang, Shi Peijun et al. Identification and characteristics analysis of urban land expansion types in China in the 1990s using DMSP/OLS data. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(2): 169-178. [卓莉, 李强, 史培军 等. 基于夜间灯光数据的中国城市用地扩展类型. *地理学报*, 2006, 61(2): 169-178.]
- [18] Ning Yuelin, Shi Qian, Zha Zhiqiang. Studies of Yangtze River Delta megalopolis formation mechanism and cross-regional planning. *Urban Planning*, 1998, (2): 16-20. [宁越敏, 施倩, 查志强. 长江三角洲都市连绵区形成机制与跨区域规划研究. *城市规划*, 1998, (2): 16-20.]
- [19] Gu Chaolin, Zhang Min. Study on the characteristics and dynamics of Yangtze Delta megalopolis. *Advances in Earth Science*, 2001, 16(3): 332-338. [顾朝林, 张敏. 长江三角洲都市连绵区性状特征与形成机制研究. *地球科学进展*, 2001, 16(3): 332-338.]
- [20] Zhang Jingxiang. Combination of Urban Group Space. Nanjing: Southeast University Press, 2000. [张京祥. 城镇群体空间组合. 南京: 东南大学出版社, 2000.]
- [21] Ma Ronghua, Gu Chaolin, Pu Yingxia et al. Urban spatial sprawl pattern and metrics in south of Jiangsu Province along the Yangtze River. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(10): 1011-1022. [马荣华, 顾朝林, 蒲英霞 等. 苏南沿江城镇扩展的空间模式及其测度. *地理学报*, 2007, 62(10): 1011-1022.]
- [22] Ye Yuyao, Zhang Hong'ou, Luo Xiaoyun et al. Research progress and evaluation on urban group space. *Urban Planning*, 2005, 29(4): 83-88. [叶玉瑶, 张虹鸥, 罗晓云 等. 中外城镇群体空间研究进展与评述. *城市规划*, 2005, 29(4): 83-88.]
- [23] Ma Xiaodong, Zhu Chuangeng, Ma Ronghua et al. Urban spatial growth pattern and its evolution in Suzhou. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(4): 405-416. [马晓冬, 朱传耿, 马荣华 等. 苏州地区城镇扩展的空间格局及其演化分析. *地理学报*, 2008, 63(4): 405-416.]
- [24] Ma Ronghua, Chen Wen, Chen Xiaohui et al. Town and construction land growth of Changshu City. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(3): 418-426. [马荣华, 陈雯, 陈小卉 等. 常熟市城镇用地扩展分析. *地理学报*, 2004, 59(3): 418-426.]
- [25] O'Neill R V, Milne B T, Turner M G et al. Resource utilization scales and pattern. *Landscape Ecology*, 1988, (2): 63-69.
- [26] Piekett S T A, Cadanasso M L. Landscape ecology, spatial heterogeneity in ecological system. *Science*, 1995, 269: 331-334.
- [27] Dong Pinliang. Lacunarity analysis of raster datasets and 1D, 2D, and 3D point patterns. *Computers & Geosciences*, 2009, 35: 2100-2110.
- [28] Zhang Jingxiang, Yin Jie, He Jianyi. Development and planning of concentrated urban regions in globalization century. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008. [张京祥, 殷洁, 何建颐. 全球化世纪的城市密集地区发展与规划. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.]
- [29] Liu Weidong, Zhang Guoqin, Song Zhouying. Trend of spatial configuration evolvement of economic development in China under globalization. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 27(5): 609-616. [刘卫东, 张国钦, 宋周莺. 经济全球化背景下中国经济发展空间格局的演变趋势研究. *地理科学*, 2007, 27(5): 609-616.]
- [30] Chen Jianjun. A Survey on Factor Flow, Industry Transfer and Region Integration. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2009. [陈建军. 要素流动、产业转移和区域经济一体化. 杭州: 浙江大学出版社, 2009.]
- [31] Michael F. Goodchild. The validity and usefulness of laws in geographic information science and geography. *Annals of AAG*, 2004, 94(2): 300-308.

Urban Spatial Expansion Process, Pattern and Mechanism in Yangtze River Delta

CHE Qianjin^{1,2}, DUAN Xuejun¹, GUO Yao^{1,2}, WANG Lei^{1,2}, CAO Youhui¹

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

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

Abstract: The investigation of the process, pattern and mechanism of urban spatial expansion has become an effective method to recognize the stages of urbanization and explore the laws of urban development as the direct result of urbanization to geographic space is the spatial expansion of cities. Based on the satellite imageries data including Landsat TM or ETM, IRS-P6 of the Yangtze River Delta (YRD) from 1980 to 2007, this article, starting from the characteristics of urban spatial heterogeneity and spatial association, revealed quantificationally the diversity of urban expansion, the heterogeneity of spatial organization and the spatial evolution of "hot spot" areas, with the help of lacunarity index, fractal dimensions, expansion intensity index, expansion speed index as well as spatial association model.

The conclusions can be drawn as follows. (1) Since the 1980s, although central cities have dominated the process of regional expansion, this evolution still follows the law that "small scale agglomeration, large scale dispersion". (2) Along the Z-shaped axes, urban growth has experienced three stages, namely point-axis expansion, adhesions-type growth and spread expansion. In addition, an obvious regional integration was observed. (3) The gathering role of "hot spot" areas has been diminished, and areas along the Shanghai-Nanjing, Shanghai-Hangzhou, Hangzhou-Ningbo highways and the Yangtze River have become core areas that propel regional socio-economic development in YRD. (4) The driven forces varied in different development stages. It is the combination of economic globalization and regional urbanization that dominates the regionalization of the YRD.

Key words: process of urban spatial expansion; spatial pattern; mechanism; spatial heterogeneity; spatial correlation; Yangtze River Delta