

# 苏锡常地区建设用地扩张过程的定量分析\*

周翔 陈亮\*\* 象伟宁

(华东师范大学上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200241)

**摘要** 基于遥感影像与社会经济统计数据, 本文综合运用 3S 空间分析技术、景观扩张指数与多元逐步回归模型, 分析了 1990—2010 年苏锡常地区建设用地扩张的时空特征、空间模式及社会经济驱动力. 结果表明: 研究区建设用地面积经历了快速增长-缓慢增长-加速增长的变化轨迹, 这与不同时期国家宏观政策的重大调整紧密相关; 研究期间, 建设用地面积增长 2218.9 km<sup>2</sup>, 主要源于对水田、旱田、水库坑塘等生态用地的占用; 1990—1995 年, 区域建设用地主要以填充式、边缘式进行扩张; 1995—2000 年, 填充式、边缘式受到政策限制, 飞地式成为建设用地扩张的主要途径; 2000 年以后, 飞地式扩张大幅锐减, 填充式扩张显著增强, 建设用地空间形态逐渐趋向紧凑; 区域经济高速增长是驱动建设用地扩张的主导因素, 城镇人口的激增也加速了建设用地的扩张. 未来区域的社会发展规划, 应重视提高土地集约利用水平、加强土地管理体制创新并推行紧凑的城市发展模式.

**关键词** 建设用地 景观扩张指数 社会经济驱动力 城市化 苏锡常地区

**文章编号** 1001-9332(2014)05-1422-09 **中图分类号** Q149 **文献标识码** A

**Quantitative analysis of the built-up area expansion in Su-Xi-Chang region, China.** ZHOU Xiang, CHEN Liang, XIANG Wei-ning (Shanghai Key Laboratory for Urban Ecological Processes and Eco-Restoration, East China Normal University, Shanghai 200241, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2014, 25(5): 1422-1430.

**Abstract:** Based on RS-derived maps and socio-economic statistics, this paper analyzed the spatio-temporal dynamic pattern and driving mechanism of built-up area expansion in Su-Xi-Chang region from 1990 to 2010. 3S-based spatial analysis techniques were used, landscape expansion indices were calculated, and multiple stepwise regression models were also used. In the past 20 years, the built-up area had experienced rapid-moderate-accelerating expansion stages, which was strongly affected by the national development strategies and policies regarding land use. During the study period, the built-up area had increased by 2218.9 km<sup>2</sup> mainly due to the encroaching from paddy field, dryland and artificial ponds. From 1990-1995, the pattern of built-up area expansion was dominated by the infilling and edge-expansion type; from 1995-2000, the outlying-type had overplayed infilling and edge-expansion types due to policy restrictions on the latter; after 2000, the outlying-type growth had decreased by a large extent, whereas the infilling mode had increased dramatically, which resulted in the spatially compact pattern of the newly built-up area. The increase of urban population and the boom of regional economy were the major driving forces of built-up area expansion. The study implied that improvements were urgently needed in land management system and high-efficiency use of cropland. Promoting the compact development of built-up area was also crucial for striving toward regional sustainability.

**Key words:** built-up area; landscape expansion index; socioeconomic driving forces; urbanization; Su-Xi-Chang region.

2010 年前后, 世界与中国的人口城市化率双双突破 50%<sup>[1-2]</sup>, 未来几十年, 该比例将加速攀升<sup>[3]</sup>.

城市化作为最重要的社会现象之一, 对城市、区域乃至全球尺度上的生态系统都有重要影响, 逐渐成为全球环境变化与可持续发展的核心研究论题<sup>[4]</sup>. 区域尺度上, 以建设用地挤占生态服务用地为特征的

\* 国家自然科学基金青年科学基金项目(41301087)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: lchen@des.ecnu.edu.cn

2013-10-17 收稿, 2014-02-21 接受.

城市化过程,对区域景观格局、功能及过程产生了深刻影响;建设用地的急速扩张引发不透水地面增加、自然与半自然景观减少、景观破碎和离散化等;景观格局的变化进一步影响生物地球化学循环、能量流动、种群动态等生态学过程<sup>[5]</sup>. 定量研究建设用地的扩张过程,对于有效评估快速城市化的生态环境效应、科学引导建设用地的格局具有重要意义<sup>[6]</sup>.

由于 3S 空间分析技术的发展,关于城市化过程导致的建设用地扩张问题已有较多研究,主要集中在建设用地扩张规模、强度和空间分异特征<sup>[7-9]</sup>以及城市景观格局的演变、模拟与预测等方面<sup>[10-11]</sup>. 这些研究为定量分析建设用地的扩张过程提供了重要的研究思路与技术手段,但到目前为止,仍有以下几方面有待进一步发展和完善:1) 受数据可获取性的制约,现有文献的研究区大多限于单个城市,有关城市群内不同城市间的比较研究尚不多见;2) 对于建设用地扩张引发的景观格局变化的定量研究大多采用景观指数,这种方法侧重于对景观格局几何特征的分析与描述,但往往忽略了景观格局动态变化过程的信息<sup>[12]</sup>;3) 研究大多基于遥感解译数据,从定性角度出发分析建设用地扩张的驱动机制,缺乏与社会经济统计数据的集成<sup>[7-8]</sup>. 基于上述分析,本文在现有研究的基础上进一步拓展,将 3S 空间分析技术与景观扩张指数、多元逐步回归模型相结合,选取城市集中分布的苏锡常地区为例,基于遥感影像提取不同时期的土地分类数据,并运用空间分析方法描述 1990—2010 年该区建设用地扩张的阶段性与区域性特征,应用景观扩张指数分析不同时期建设用地扩张的空间模式、获取区域景观变化的过程信息,基于 1990—2010 年长时间序列的城乡建设与社会经济统计数据,采用多元逐步回归模型分析驱动建设用地扩张的主要社会经济因素.

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区概况

苏锡常地区位于江苏省南部、长三角城市群核心地带,包括苏州、无锡、常州 3 个地级市和昆山、太仓、吴江、常熟、张家港、江阴、宜兴、溧阳、金坛 9 个县级市(图 1),面积  $1.75 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,平均海拔低于 50 m. 该区域属亚热带湿润气候,四季分明、水系发达,淡水资源丰富,地势平坦,具有适宜社会经济发展的自然条件. 改革开放以来,苏锡常地区在国家沿海开放、沿江发展战略的引领下,在全国范围内率先

建立起开放型经济体系<sup>[13]</sup>. 以制造业为主体的乡镇企业和合资企业大量涌现,推动经济总量迅速攀升,1990—2010 年地区生产总值的年均增长率高达 20%,区域所有县市均位列全国百强县前列. 在快速经济发展的带动下,区域城镇人口总量不断攀升,2010 年人口城市化率约 70%,远高于同期全国 49.7% 的平均水平<sup>[14]</sup>.

苏锡常地区是我国传统的人口密集区和土地高度集约化利用地区. 伴随 20 世纪 80 年代以来的经济高速增长,区域建设用地总量持续攀升、范围不断扩展,在我国快速城市化背景下具有良好的典型性和代表性. 研究苏锡常地区建设用地扩张的时空特征、空间模式并解析其驱动机制,不仅为区域未来的城市总体规划和可持续发展决策提供科学依据,还对其他地区的土地利用调控与管理具有一定的借鉴和启示作用.

### 1.2 资料来源

依据研究目标与框架,对相关数据资料(遥感数据、统计数据 2 类<sup>[14-15]</sup>)进行收集与整理(表 1).

统计数据的处理过程较简单,以下重点阐述 Landsat 影像的解译与分析,具体操作步骤如下. 首先,在 ENVI 4.8 中完成影像的辐射校正、几何校正、裁剪拼接等预处理操作,几何校正的误差低于 30 m;其次,结合面向对象、人工目视判读的遥感分类方法,将研究区土地利用划分为 10 类,分别为城镇用地、农村居民点、其他建设用地(厂矿、交通用地等)、水田、旱田、林地、草地、自然水体、水库坑塘以及未利用地(图 2),研究中按照不同需求,将城镇用地、农村居民点、其他建设用地合并为建设用地;最后,将分类结果与对应时相的 Google Earth 高分辨率影像进行对比,计算的 Kappa 系数均高于 85%,满足地物分类的精度要求<sup>[16]</sup>.

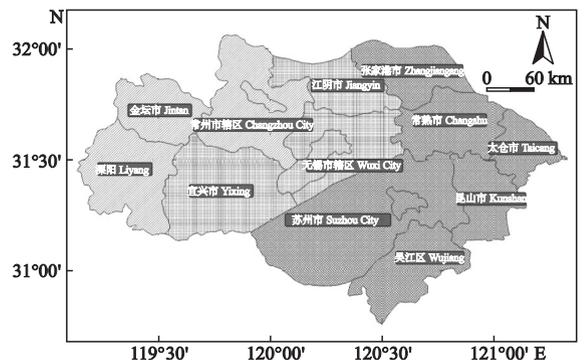


图 1 苏锡常地区的位置示意图

Fig. 1 Sketch map of the location of Su-Xi-Chang region.

表 1 研究数据与资料

Table 1 Geospatial and statistical data used in this study

数据类型 Data category	数据名称 Data item	年份 Year	数据来源 Data source
遥感数据 RS images	Landsat TM/ETM+ 影像 Landsat TM/ETM+ images	1990/1995/2000/ 2005/2010	美国地质调查局 United States Geological Survey
统计数据 Statistical data	人口、社会、经济统计数据 Demographic and socioeconomic statistics	1990—2010	江苏省统计年鉴 Jiangsu Statistical Yearbook
	建设用地统计数据 Built-up area statistics	1990—2010	中国城市统计年鉴 China City Statistical Yearbook

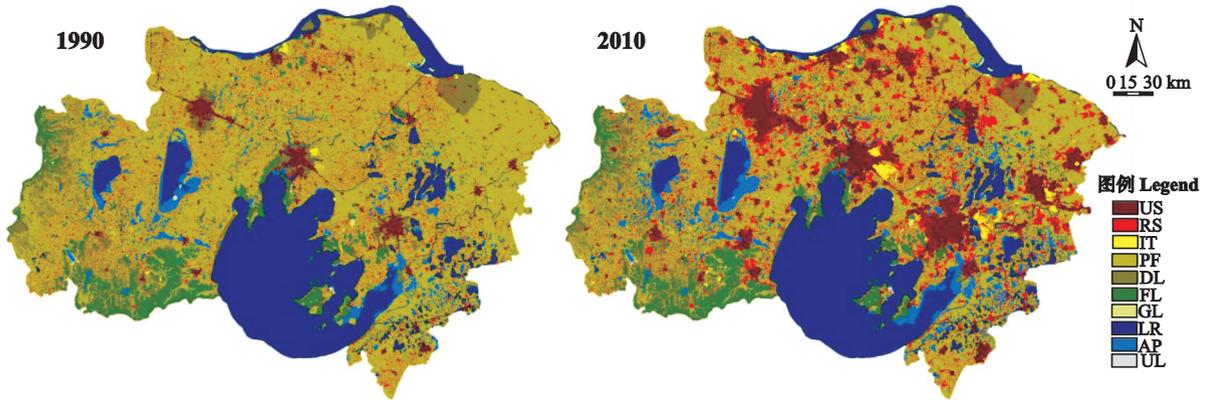


图 2 1990 和 2010 年苏锡常地区土地利用图

Fig. 2 Land use maps of Su-Xi-Chang region in 1990 and 2010.

US: 城镇用地 Urban settlements; RS: 农村居民点 Rural settlements; IT: 其他建设用地; PF: 水田 Paddy field; DL: 旱田 Dryland; FL: 林地 Forest land; GL: 草地 Grassland; LR: 自然水体 Lakes and rivers; AP: 水库坑塘 Artificial ponds; UL: 未利用地 Unused land. 下同 The same below.

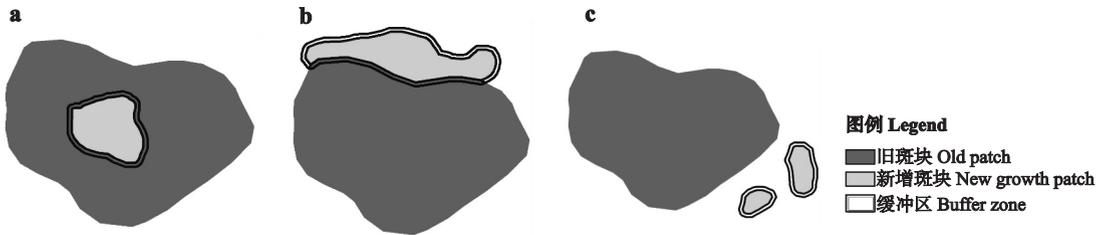


图 3 建设用地扩张的空间模式

Fig. 3 Spatial mode of built-up area expansion.

a) 填充式 Infilling; b) 边缘式 Edge-expansion; c) 飞地式 Outlying.

### 1.3 研究方法

**1.3.1 土地利用转移矩阵** 基于遥感解译获取的土地分类数据,运用 ArcGIS 空间分析模块构建各个时期的土地利用转移矩阵,统计主要地物类型的面积及流入、流出量。同时,分区统计各县市的建设用地增长量,以比较城市群内不同城市间的差异性。

**1.3.2 土地年均扩张速率** 测算不同时期的各地类年均扩张速率,依此分析 1990—2010 年各地类扩张的阶段性特征。年均扩张速率的计算公式如下<sup>[17]</sup>:

$$k = \left[ 1 - \frac{S_1 - S_2}{S_1} \right]^{1/n} - 1 \quad (1)$$

式中:  $k$  为年均扩张速率;  $S_1$  和  $S_2$  分别为研究初期与

末期的土地面积;  $n$  为研究期的时间跨度。

**1.3.3 景观扩张指数** Liu 等<sup>[18]</sup>针对目前景观指数在城市扩张分析中的不足,提出景观扩张指数来识别景观扩张类型,从而获取景观变化的过程信息。本文应用景观扩张指数,识别不同时期研究区建设用地扩张的 3 种基本模式,即填充式、边缘式、飞地式(图 3),依此来获取景观格局变化的过程信息。其他扩张模式都可看作是 3 种基本模式的变种或混合体。

景观扩张指数是通过缓冲区分析来定义的<sup>[18]</sup>。该方法以新增建设用地斑块特定距离(通常为 1 m)的缓冲区为统计单元,统计单元内部的原有建设用

地斑块面积和空白区域(其他地物类型)面积,并预设了一系列规则来识别新增斑块的扩张类型.某新增建设用地斑块的景观扩张指数计算公式如下:

$$LEI = 100 \times \frac{A_o}{A_o + A_v} \quad (2)$$

式中: $LEI$ 为某新增建设用地斑块的景观扩张指数,取值范围为 $0 \sim 100$ ;  $A_o$ 为缓冲区单元被原有建设用地斑块覆盖的面积;  $A_v$ 为缓冲区单元被空白区域覆盖的面积.

参考相关研究的分级标准<sup>[18-19]</sup>,  $LEI$ 值介于 $50 \sim 100$ 之间的新增建设用地斑块被确定为填充式扩张;介于 $0 \sim 50$ 之间为边缘式扩张;  $LEI$ 值等于 $0$ 的新增斑块,由于与原有建设用地斑块完全分离,因而被确定为飞地式扩张.在景观水平上,平均斑块扩张指数( $MEI$ )和面积加权平均斑块扩张指数( $AWMEI$ )的计算公式如下:

$$MEI = \sum_{i=1}^N \frac{LEI_i}{N} \quad (3)$$

$$AWMEI = \sum_{i=1}^N LEI_i \left( \frac{a_i}{A} \right) \quad (4)$$

式中: $LEI_i$ 为新增建设用地斑块 $i$ 的景观扩张指数;  $a_i$ 为斑块 $i$ 的面积;  $N$ 为新增斑块总数;  $A$ 为新增斑块总面积.  $MEI$ 与 $AWMEI$ 的数值越大,表明建设用地扩张的方式更趋于紧凑.

**1.3.4 多元逐步回归模型** 考虑到遥感数据在定量分析建设用地扩张驱动力方面的局限性,本文选取长时间序列的城乡建设与社会经济统计数据,应用多元逐步回归模型来解析建设用地扩张的社会经济驱动力.相关研究表明<sup>[17]</sup>,苏锡常地区建设用地的扩张在宏观上主要受人口变化、经济发展、社会建设以及收入水平等因素驱动,考察数据的可获取性,初步选择4大类共11个指标作为回归模型的自变量(表2).

由于上述指标间存在着复杂的多重共线性,并不能直接作为回归模型的自变量,因此在分析前,采用相关分析与主成分变换对模型变量进行初步筛选<sup>[20]</sup>.首先,按不同类别计算各指标间的相关系数,如果某一指标与同类别其他指标间的相关性不强,则将其选作回归模型的自变量;如果各指标间存在显著的相关性,则采用主成分变换将它们压缩成几个独立成分,分别计算各指标在主成分上的载荷,选取第一主成分上得分最高的指标(该指标可看作是其所在类别的代表)作为回归模型的自变量.依据上述准则,最终选取年末城镇户籍人口(U-POP)、地

表2 回归模型选取的人口与社会经济指标

Table 2 Demographic and socioeconomic variables selected in the regression model

指标类别 Category	指标名称 Socioeconomic variable	指标代码 Abbreviation
人口变化 Population growth	年末户籍总人口 Total population	POP
	年末城镇户籍人口 Urban population	U-POP
	年末农村户籍人口 Rural population	R-POP
经济发展 Economic development	地区生产总值 Gross domestic product ( $\times 10^8$ yuan)	GDP
	第一产业生产总值 Primary industry GDP ( $\times 10^8$ yuan)	P-GDP
	第二产业生产总值 Second industry GDP ( $\times 10^8$ yuan)	S-GDP
	第三产业生产总值 Tertiary industry GDP ( $\times 10^8$ yuan)	T-GDP
社会建设 Social development	固定资产投资完成额 Fixed assets investment ( $\times 10^4$ yuan)	FAI
	公路货运量 Road freight traffic ( $\times 10^4$ t)	RFT
	城镇居民人均可支配收入 Per capita annual disposable income of urban households (yuan)	PCIUH
收入水平 Income level	农民人均纯收入 Per capita annual net income of rural households (yuan)	PCIRH

区生产总值(GDP)、固定资产投资完成额(FAI)、城镇居民人均可支配收入(PCIUH)作为逐步回归模型的自变量.

逐步回归是一种行之有效的选元方法,基于其构建的回归方程,仅包含对因变量具有直接影响的解释变量<sup>[21]</sup>.本文选取1990—2010年建设用地统计数据作为分析样本,构建苏锡常地区建设用地的逐步回归模型,基本形式如下:

$$\ln B\text{-AREA} = \ln U\text{-POP} + \ln GDP + \ln FAI + \ln PCIUH + C \quad (5)$$

式中: $B\text{-AREA}$ 为各年度的建设用地面积;  $U\text{-POP}$ 为年末城镇户籍人口;  $GDP$ 为地区生产总值;  $FAI$ 为固定资产投资完成额;  $PCIUH$ 为城镇居民人均可支配收入;  $C$ 为模型常量.分析前,先对原始数据作标准化处理,以消除不同量纲的影响.

## 2 结果与分析

### 2.1 苏锡常地区建设用地的时空特征

1990—2010年,苏锡常地区建设用地面积的变化经历了快速增长—缓慢增长—加速增长的历史过程(表3).1990—1995年为建设用地快速增长期,城镇用地、农村居民点、其他建设用地的年均扩张速率分别高达15.3%、9.0%、11.3%,建设用地总体增长772.5 km<sup>2</sup>.1995—2000年,建设用地的扩张速率

表 3 不同时期各类地物的面积及年均变化速率

Table 3 Land use types area and their yearly conversion rates during the four periods

地物类型 Land use type	面积 Area (km <sup>2</sup> )					变化率 Conversion rate (%)			
	1990	1995	2000	2005	2010	1990—1995	1995—2000	2000—2005	2005—2010
US	504.3	890.6	993.1	1316.9	1618.7	15.3	2.8	7.3	5.3
RS	775.6	1094.9	1256.2	1508.3	1734.7	9.0	3.5	4.7	3.6
IT	31.7	48.6	79.2	128.0	177.1	11.3	13.0	12.8	8.5
PF	9672.5	9076.4	8806.8	8131.7	7550.4	-1.6	-0.8	-2.0	-1.8
DL	1139.9	1043.2	917.5	860.2	816.2	-2.2	-3.2	-1.6	-1.3
FL	940.6	938.7	916.6	919.0	916.7	-0.1	-0.6	0.1	-0.1
GL	41.7	41.6	41.1	40.9	37.7	-0.1	-0.3	-0.1	-2.0
LR	3413.8	3328.8	3413.4	3400.9	3398.7	-0.6	0.6	-0.1	-0.0
AP	874.3	931.5	970.0	1088.0	1143.7	1.6	1.0	2.9	1.3
UL	6.8	6.9	7.3	7.3	7.2	0.4	1.4	0.0	-0.3

US:城镇用地 Urban settlements; RS:农村居民点 Rural settlements; IT:其他建设用; PF:水田 Paddy field; DL:旱田 Dryland; FL:林地 Forest land; GL:草地 Grassland; LR:自然水体 Lakes and rivers; AP:水库坑塘 Artificial ponds; UL:未利用地 Unused land. 下同 The same below.

明显放缓,净增长量降至 294.4 km<sup>2</sup>,约为前一阶段的 38%. 2000 年以后,研究区进入建设用地加速增长期,2000—2005 年建设用地净增长量高达 624.7 km<sup>2</sup>,其中,城镇用地的扩张趋势尤为显著,年均扩张速率为 7.3%. 2005—2010 年延续了前一时期的基本趋势,净增长量虽然有所下降,但仍高达 557.3 km<sup>2</sup>,城镇用地、农村居民点、其他建设用地的年均扩张速率分别为 5.3%、3.6%、8.5%.

研究期间,建设用地的扩张主要源于对水田、旱田以及水库坑塘等生态服务用地的占用(图 4). 1990—2010 年,水田、旱田的面积骤减 22%、28%, 1990—1995、1995—2000、2000—2005、2005—2010 年两者对新增建设用地的贡献率分别为 99.7%、91.3%、96.3%、95.8%. 水库坑塘是水产养殖的人工场所,研究初期其对于新增建设用地的贡献率不足 0.5%,但 2000 年以后,随着耕地资源日益短缺以及基本农田的严格保护,该比率开始逐步上升,2000—2005、2005—2010 年分别达到了 3.0%、3.7%. 相比之下,建设用地占用林地、草地等自然覆被的比例较低.

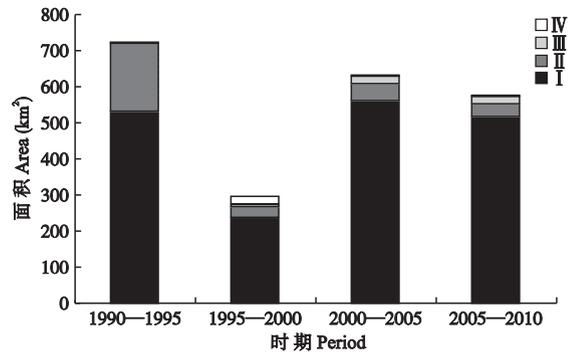


图 4 1990—2010 年研究区新增建设用地的来源构成  
Fig. 4 Major components of new built-up area in Su-Xi-Chang region during 1990—2010.

I:水田转为建设用地 Paddy field to built-up area; II:旱田转为建设用地 Dryland to built-up area; III:水库坑塘转为建设用地 Artificial ponds to built-up area; IV:其他来源 Other.

从建设用地扩张强度的分布格局来看,呈现市辖区高于周边县市、区域东北部高于西南部的规律性. 由图 5 可以看出,除 1995—2000 年以外,各个时期苏州、无锡、常州市辖区的新增建设用地面积均高于 70 km<sup>2</sup>,一些时期甚至突破了 100 km<sup>2</sup>,明显快于周边县市,主要原因在于市辖区是城市发展的核心

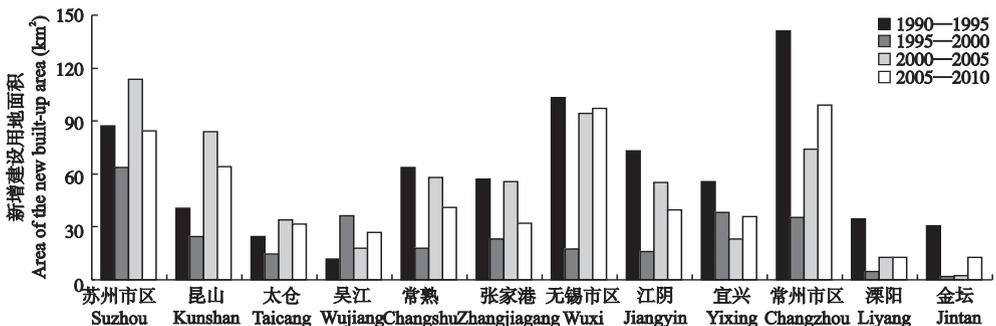


图 5 不同县市建设用地扩张的对比  
Fig. 5 Comparison of built-up area expansion in different counties of Su-Xi-Chang region.

区域,物质、资本、人口等要素高度集中,高强度的土地开发加快了建设用地的扩张.同时,区域东部与北部的昆山、常熟、张家港、江阴等县市,由于区位优势临近上海,加之城市化与工业化水平较高,因而新增建设用地面积大幅高于西南部的金坛、溧阳等农业主产区,且这种区域差异有不断扩大的趋势.

### 2.2 建设用地扩张的空间模式

依据计算出来的景观扩张指数获取不同时期景观扩张指数 (LEI) 的直方图 (图 6). 无论从新增斑

块数还是分布格局来看,各个时期建设用地扩张均呈现出不同的发展模式.进一步分析发现,新增建设用地斑块的景观扩张指数均存在 4 个峰值,峰值对应的 LEI 区间分别为 0~2、48~50、50~52、98~100,4 个峰值区间的斑块数占各个时期总斑块数的比例分别为 27.3%、53.0%、28.3%、24.3%.

由图 7 可以看出,1990—1995 年,建设用地的扩张以边缘式、填充式为主,两者的新增斑块数占总斑块数的比例分别为 54.6%、34.5%,面积比例分

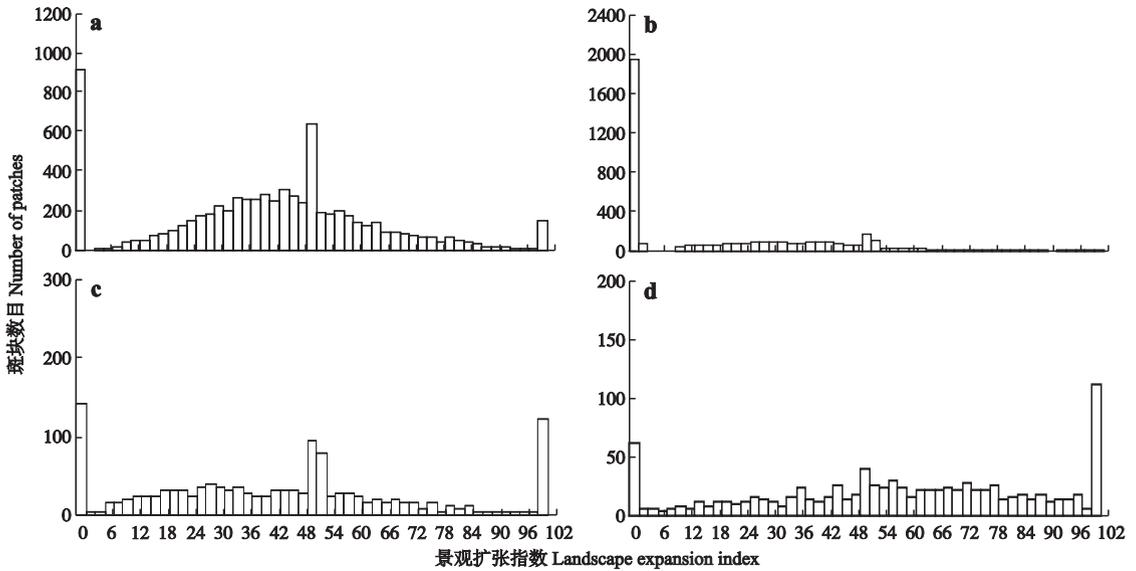


图 6 不同时期建设用地的景观扩张指数直方图  
Fig. 6 Histograms of built-up area LEI for different periods.

a) 1990—1995; b) 1995—2000; c) 2000—2005; d) 2005—2010. 下同 The same below.

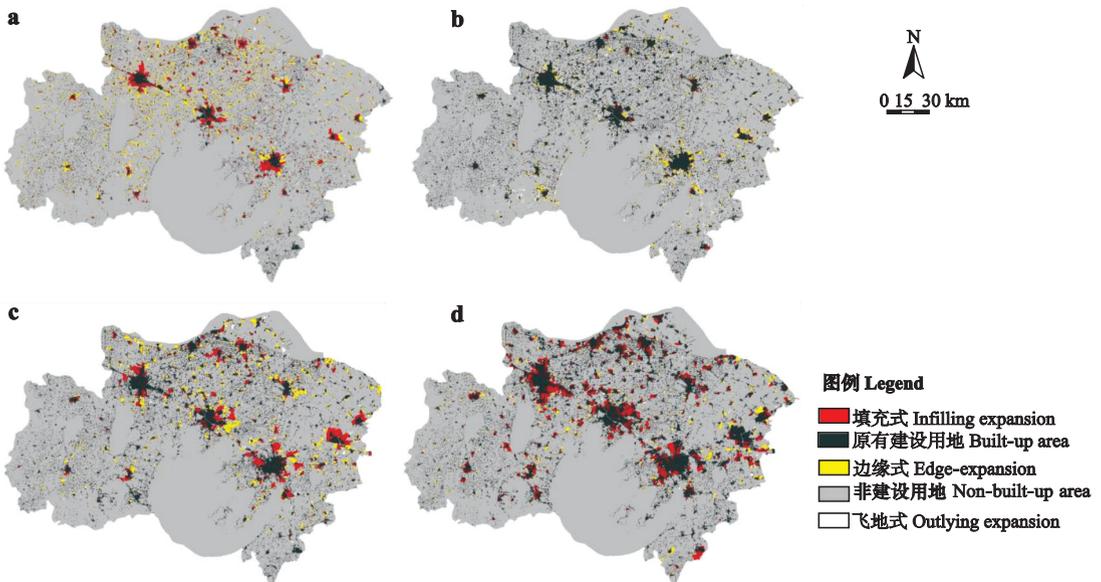


图 7 各时期不同建设用地扩张类型的空间分布  
Fig. 7 Spatial distribution of different expansion modes of built-up area in different periods.

别为 59.0%、28.1% (图 8); 相比之下, 飞地式扩张较弱, 斑块数目比例、面积比例均为 10%。1995—2000 年, 建设用地的扩张速率明显放缓, 边缘式、填充式扩张受到人为抑制, 增长量仅为 170.1 和 25.7 km<sup>2</sup>, 填充式扩张的斑块数目、面积比例均低于 10%; 该时期最显著的变化是飞地式扩张增强, 这主要源于农村居民点的离散发展。2000—2005 年, 建设用地开始加速扩张, 边缘式、填充式重新成为建设用地扩张的主要形式, 两者的斑块数、面积相加占总体的比例高达 89.6%、95.0%, 尤其以填充式增长的最显著; 同时, 飞地式扩张大幅锐减, 农村居民点的发展趋于集中。2005—2010 年基本延续了前一时期的发展趋势, 但填充式逐渐取代边缘式, 成为建设用地扩张最重要的途径, 其面积比例、斑块数目比例分别达到 73.2%、59.6%; 此外, 飞地式扩张进一步减弱。总体而言, 该时期区域城市化步入稳定发展阶段, 建设用地扩张由最初的蔓延性逐渐趋向紧凑型。

1990—1995、1995—2000、2000—2005、2005—2010 年, 苏锡常地区平均斑块扩张指数 (MEI) 的数值分别为 39.62、17.54、42.02、56.50, 呈波动上升趋势; 面积加权平均斑块扩张指数 (AWMEI) 的变化趋势与 MEI 类似 (表 4)。建设用地发展的紧凑度有所提高。

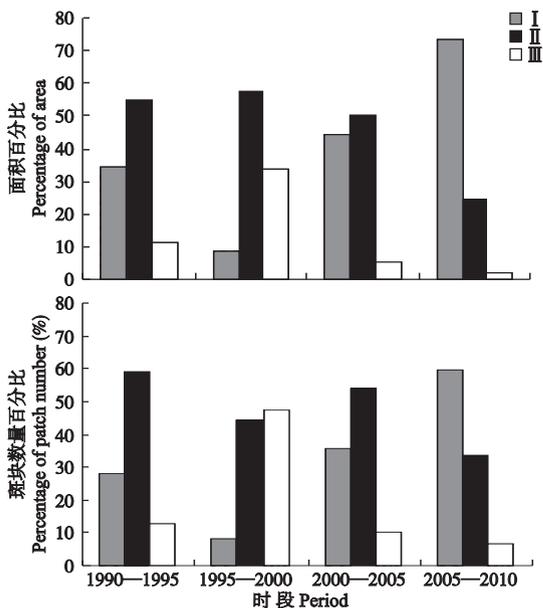


图 8 不同时期 3 种建设用地扩张类型所占的面积比例以及斑块数目比例

Fig. 8 Percentages of area and patch number for different expansion modes of built-up area in different periods.

I: 填充式扩张 Infilling growth; II: 边缘式扩张 Edge-expansion growth; III: 飞地式扩张 Outlying growth.

表 4 1990—2010 年苏锡常地区的平均斑块扩张指数 (MEI) 和面积加权平均斑块扩张指数 (AWMEI)

Table 4 MEI and AWMEI in Su-Xi-Chang region during 1990—2010

时期 Period	平均斑块扩张指数 MEI	面积加权平均斑块 扩张指数 AWMEI
1990—1995	39.62	41.44
1995—2000	17.54	20.12
2000—2005	42.02	44.56
2005—2010	56.50	64.20

## 2.3 建设用地扩张的驱动机制

### 2.3.1 政策影响

1990—2010 年, 苏锡常地区建设用地面积的变化轨迹与国家宏观政策的重大调整具有高度关联性。改革开放以来, 国家先后实施了沿海开放 (1984 年)、沿江发展 (1992 年) 战略, 这在带动苏锡常地区经济快速发展的同时, 也引发了大规模的城乡建设热潮。为满足社会经济发展对土地资源的巨大需求, 国家对旧土地制度进行了一系列重大改革, 并逐步推行土地市场化, 这些举措极大促进了 1990—1995 年建设用地的扩张。但耕地的过度非农化, 逐渐影响区域的农业生产与可持续发展。为了保护优质耕地资源、遏制建设用地无序扩张, 国家于 1994 年颁布施行了强有力的耕地保护政策——《基本农田保护条例》<sup>[22]</sup>, 并于 1997 年宣布冻结非农业建设项目占用耕地一年。这些因素相叠加, 使得 1995—2000 年的耕地流失量大幅锐减, 建设用地扩张的规模得到了有效控制。然而进入 21 世纪, 随着苏锡常地区工业化与城市化的深入推进, 开发区建设成为推动城市发展的新模式。统计数据显示, 苏州、无锡、常州 3 市不仅增设了大量开发区, 同时对原有开发区进行了大幅扩容, 这在带动区域经济高速增长的同时, 也极大刺激了建设用地的扩张。

### 2.3.2 社会经济驱动力

逐步回归的最终模型仅包含年末城镇户籍人口、地区生产总值两个自变量, 它们对建设用地扩张的影响均十分显著, 能够解释建设用地面积变化的 97.2%, 表明模型拟合度较好 (表 5)。

模型结果表明, 城镇人口数量与建设用地面积的变化呈显著正相关, 这与周锐等<sup>[8]</sup>、赵可和张安录<sup>[23]</sup>的研究结果一致。1990—2010 年, 区域城镇人口数量迅猛增长, 人口城市化率从 1990 年时的 28% 骤升至 2010 年的 70%, 大幅高于全国平均水平。城镇人口的激增, 一方面满足了社会经济发展对劳动力的需求, 但同时也产生了巨大的住房、出行等

表5 多元逐步回归模型的估计结果

Table 5 Estimation results of the multiple stepwise regression model

变量 Variable	偏回归系数		P	R <sup>2</sup>
	Unstandardized coefficients			
	B	标准误差 Standard error		
年末城镇户籍人口 U-POP	0.387	0.167	0.033	
地区生产总值 GDP	0.605	0.167	0.002	0.972
常量 C	-1.361E-14	0.038		

生活需求,推动着房地产、道路交通以及基础服务设施等建设用地的发展.因此,城镇人口数量是驱动苏锡常地区建设用地扩张的重要因素.

模型结果还表明,地区生产总值对建设用地面积的变化具有显著的正向影响,这与刘纪远等<sup>[24]</sup>、吴晓青等<sup>[7]</sup>的研究结果一致;而标准化回归系数表明,地区生产总值对建设用地面积变化的作用强度高于城镇人口数量.研究期间,地区生产总值增加37倍,年均增长19.7%,高于全国平均水平(16.6%).由于正处于工业化加速发展阶段,苏锡常地区的开发区建设、乡镇企业发展极大促进了建设用地的扩张;近年来,随着现代物流、仓储、商贸等服务业的兴起,用于三产的固定资产投资显著增长,与三产相关的建设用地面积持续猛增.进一步分析发现,苏锡常地区城镇居民人均可支配收入、农民人均纯收入均与地区生产总值存在极强相关性,相关系数高达0.998、0.991,表明经济的快速发展显著提高了城镇居民与农民的收入水平.在城市地区,财富与收入的增长促进了市民对城市土地需求的增加,集中表现在人均居住面积、人均公园绿地面积以及人均拥有道路长度等的持续增长;而在农村地区,农民收入水平的大幅提高则相应地引发了普遍的建房热潮.以上因素均不同程度地加剧了建设用地的扩张.由此可见,地区生产总值的增长对预测建设用地面积变化具有重要的指示作用.

### 3 讨 论

基于遥感影像与社会经济统计数据,本文综合运用3S空间分析技术、景观扩张指数与多元逐步回归模型,分析了苏锡常地区1990—2010年建设用地的时空特征、空间模式及社会经济驱动力.结果表明:研究期间,研究区建设用地总体增长2218.9 km<sup>2</sup>,主要来源于对水田、旱田、水库坑塘等生态服务用地的占用;从扩张强度的分布格局来看,呈市辖

区高于周边县市、区域东北部高于西南部的规律性.建设用地面积经历了快速增长-缓慢增长-加速增长的变化轨迹,这与不同时期国家宏观政策的重大调整紧密相关:1990—1995年,国家经济布局的调整与土地制度的改革,是驱动建设用地快速扩张的主要政策因素;1995—2000年,国家颁布施行《基本农田保护条例》<sup>[22]</sup>并宣布冻结非农业建设项目占用耕地一年,导致建设用地的扩张速率明显放缓;2000年以后,随着土地管理政策的市场化以及开发区建设的升温,研究区建设用地开始加速扩张.各个时期建设用地扩张呈现出不同的发展模式:1990—1995年,建设用地扩张以边缘式、填充式为主;1995—2000年,边缘式、填充式扩张受到政策限制,飞地式成为建设用地扩张的主要途径,这源于农村居民点的离散发展;2000年以后,建设用地发展处于聚合阶段,中心城区以内部填充为主,城区周围主要以边缘式进行扩张,飞地式扩张大幅锐减,城市化步入稳定发展阶段,建设用地空间形态逐渐趋向紧凑.苏锡常地区城镇人口数量和地区生产总值是建设用地扩张的直接驱动因素,二者不但自身对建设用地的扩张产生直接影响,同时还通过刺激固定资产投资、城镇居民和农民收入水平的增长对建设用地的扩张起作用.

制定科学的中长期发展规划,对于促进区域土地资源的优化配置、促进城市化进程的健康发展以及区域社会经济的可持续发展具有重要意义.基于苏锡常地区建设用地扩张过程的分析结果,文末提出若干区域经济、社会发展规划的政策建议:1)土地是经济社会发展的重要物质基础,未来苏锡常地区应采取多种规划措施,如引导企业建造多层厂房、规范农村宅基地管理等,实现区域土地利用方式由粗放型向集约型的转变<sup>[25]</sup>.2)紧凑城市模式能够提高土地的承载力和基础设施利用效率,有利于节约和统筹安排各种设施,被许多欧美国家作为城市规划标准施行<sup>[26]</sup>.在深入推进城镇化的过程中,苏锡常地区可借鉴该类模式的核心思想,提高建设用地空间布局的紧凑度.3)在新农村建设与产业结构升级、改造的政策背景下,可通过推行新村建设与旧村复垦相结合、搬迁整合零散乡镇企业,来提高耕地复垦面积、满足城镇发展常规的土地需求.目前常州市已有探索性实践,但这方面的政府补偿、市场化管理体制仍有待完善.

### 参考文献

- [1] United Nations. World Urbanization Prospects: The

- 2011 Revision. New York: United Nations Population Division, 2011
- [2] National Bureau of Statistics of China (中华人民共和国国家统计局). China Statistical Yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2011 (in Chinese)
- [3] Grimm NB, Faeth SH, Golubiewski NE, *et al.* Global change and ecology of cities. *Science*, 2008, **319**: 756–760
- [4] Liu J-Y (刘纪远), Zhang Z-X (张增祥), Xu X-L (徐新良), *et al.* Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2009, **64** (12): 1411–1420 (in Chinese)
- [5] Wu G-J (邬建国). Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2007 (in Chinese)
- [6] Chen L-D (陈利顶), Sun R-H (孙然好), Liu H-L (刘海莲). Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: Progresses, problems, and perspectives. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2013, **33**(4): 1042–1050 (in Chinese)
- [7] Wu X-Q (吴晓青), Hu Y-M (胡远满), He H-S (贺红士), *et al.* Spatiotemporal pattern and its driving forces of urban growth in Shenyang City. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(10): 2282–2288 (in Chinese)
- [8] Zhou R (周锐), Li Y-H (李月辉), Hu Y-M (胡远满), *et al.* Spatiotemporal expansion of urban and rural built-up areas in Shenyang City: An analysis based on remote sensing and GIS technology. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20** (10): 2446–2454 (in Chinese)
- [9] Qin P (秦鹏), Dong Y-X (董玉祥), Li Y-L (李裕梨). Analysis of the expansion and simulation of urban land use in Guangzhou. *Resources Science* (资源科学), 2012, **34**(10): 1881–1890 (in Chinese)
- [10] Xu L-H (徐丽华), Yue W-Z (岳文泽), Cao Y (曹宇). Spatial scale effect of urban land use landscape pattern in Shanghai City. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(12): 2827–2834 (in Chinese)
- [11] Arsanjani JJ, Helbich M, Kainz W, *et al.* Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013, **21**: 265–275
- [12] Liu X-P (刘小平), Li X (黎夏), Chen Y-M (陈逸敏), *et al.* Landscape expansion index and its application to quantitative analysis of urban expansion. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2009, **64** (12): 1430–1438 (in Chinese)
- [13] National Development and Reform Commission of China (中华人民共和国国家发展和改革委员会). Regional Planning of Yangtze River Delta [EB/OL]. (2010–06–07) [2013–07–26]. [http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2010tz/t20100622\\_355748.htm](http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2010tz/t20100622_355748.htm) (in Chinese)
- [14] Jiangsu Statistics Bureau (江苏省统计局). Jiangsu Statistic Yearbook. Beijing: China Statistics Press, 1991–2011 (in Chinese)
- [15] National Bureau of Statistics of China (中华人民共和国国家统计局). China City Statistic Yearbook. Beijing: China Statistics Press, 1991–2011 (in Chinese)
- [16] Campbell JB. Introducing to Remote Sensing. New York: The Guilford Press, 2002
- [17] Xie YC, Yu M, Tian GJ, *et al.* Socio-economic driving forces of arable land conversion: A case study of Wuxian City, China. *Global Environmental Change*, 2005, **15**: 238–252
- [18] Liu XP, Li X, Chen YM, *et al.* A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 2010, **25**: 671–682
- [19] Zeng Y-N (曾永年), He L-L (何丽丽), Jin W-P (靳文凭), *et al.* Quantitative analysis of the urban expansion models in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan metropol areas. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), 2012, **32**(5): 544–549 (in Chinese)
- [20] Gong CF, Yu SX, Joesting H, *et al.* Determining socio-economic drivers of urban forest fragmentation with historical remote sensing images. *Landscape and Urban Planning*, 2013, **117**: 57–65
- [21] He X-Q (何晓群), Liu W-Q (刘文卿). Applied Regression Analysis. 2<sup>nd</sup> Ed. Beijing: China Renmin University Press, 2007 (in Chinese)
- [22] The Central People's Government of the People's Republic of China (中华人民共和国中央人民政府). The Basic Farmland Protection Regulation [EB/OL]. (1998-12-27) [2013-07-26]. [http://www.mlr.gov.cn/zwgk/flfg/tdglflfg/200406/t20040625\\_570370.htm](http://www.mlr.gov.cn/zwgk/flfg/tdglflfg/200406/t20040625_570370.htm) (in Chinese)
- [23] Zhao K (赵可), Zhang A-L (张安录). Driving forces behind urban land expansion based on panel data for 14 cities in Liaoning. *Resources Science* (资源科学), 2013, **35**(5): 928–934 (in Chinese)
- [24] Liu J-Y (刘纪远), Zhang Z-X (张增祥), Zhuang D-F (庄大方), *et al.* A study on the spatial-temporal dynamic changes of land use and driving forces analyses of China in the 1990s. *Geographical Research* (地理研究), 2003, **22**(1): 1–12 (in Chinese)
- [25] Jiang Z-D (姜志得). Strategic Research on Sustainable Development of Land Resources in China. Beijing: China Agriculture Press, 2004 (in Chinese)
- [26] Liu J-Y (刘纪远), Wang X-S (王新生), Zhuang D-F (庄大方), *et al.* Application of convex hull in identifying the types of urban land expansion. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2003, **58**(6): 885–892 (in Chinese)

作者简介 周翔,男,1990年生,硕士研究生.主要从事景观生态、空间分析与建模研究. E-mail: zhouxianggis@ecnu.cn

责任编辑 杨弘