

# 基于 RS 和 GIS 的江阴城市扩张研究

陆 玘<sup>1</sup>, 汤茂林<sup>1</sup>, 刘茂松<sup>2</sup>

(1 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210046)

(2 南京大学生命科学学院, 江苏 南京 210093)

[摘要] 作为城市化的一个结果, 城市空间格局的演变明确地反映了城市化过程. 本文以 Landsat TM 为核心数据支持, 借助于 GIS 的空间分析功能, 从空间发展的角度探索江阴的城市扩张过程, 在此基础上讨论影响城市发展的因素. 结果表明: 从 1996 年至 2005 年间, 江阴城市区扩张速度快, 扩张强度大; 扩张过程中城市紧凑度升高, 城市空间格局由外延式向填充式转变; 社会经济发展、外资、城市规划等因素对江阴城市扩展作用显著.

[关键词] 城市化, GIS 城市扩张, 江阴

[中图分类号] P237 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4616(2010)02-0132-06

## Urban Expansion of Jiangyin Based on Remote Sensing and GIS

Lu Pin<sup>1</sup>, Tang Maolin<sup>1</sup>, Liu Maosong<sup>2</sup>

(1 School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

(2 School of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract** As one of the results of urbanization, the evolution of urban spatial pattern clearly reflects the process of urbanization. Based on Landsat thermal images and the function of spatial analysis in GIS, this paper studies the spatial expansion process of Jiangyin city from the perspective of spatial development and then discusses the main factors which influence the development of Jiangyin. The result shows that from 1996 to 2005 the urban area in Jiangyin was expanding with quite fast pace and strong intensity, urban compactness was rising during the expansion process and the urban spatial pattern was changing from epitaxial type to packing type. Factors such as socio-economic development, foreign investment and city planning play a significant role in the urbanization progress and the urban expansion in Jiangyin.

**Key words** urbanization, GIS, urban expansion, Jiangyin city

城市化是当今世界上最重要的社会经济现象之一. 统计数据显示, 在过去 30 年里我国城市化水平翻了一番, 2008 年我国城镇人口占总人口 45.68%. 目前我国的城市化正以较快的速度进行. 城市的增长或消亡在很大程度上是基于空间的过程<sup>[1]</sup>. 随着城市化速度的加快, 城市空间在原有基础上扩张成为城市发展过程中的必然现象. 对于城镇扩张的研究, 一般借助城市用地和人口的扩张进行. 90 年代以来, 遥感 (RS) 和地理信息系统 (GIS) 空间数据处理及分析技术迅速发展, 为从较小尺度对城市进行细致、定量和多时空的土地利用格局演变分析提供了行之有效的手段, 其在城市扩张中的应用逐渐普及, 在一定程度上可以解决城市用地和人口统计方面存在的问题.

西方对城市扩张的空间过程的研究始于 20 世纪 50 年代对城市蔓延的关注<sup>[2]</sup>, 60 年代以后, 随着“城市增长管理”的不断实践, 环境保护运动的高涨和区域主义的盛行, 以及 80 年代新城市主义运动、90 年代中期的“精明增长”思潮的兴起<sup>[3]</sup>, 很多研究开始注重城市扩张控制<sup>[4,5]</sup>、城市扩张评估<sup>[6]</sup>等主题. 纵观其研究进展, 国外对城市扩张研究的综合性、交叉性越来越强, GIS 已成为普遍使用的工具, 并且在研究深化的过程中不断吸纳新技术、新方法、新理论. 近 10 年来, 国内关于城市空间扩张和城市土地利用演化的研究成果日趋丰富. 徐梦洁等对近年国内城市土地扩张文献进行梳理, 将相关研究划分为城市土地扩张的特

收稿日期: 2010-04-08

基金项目: 国家自然科学基金 (30870433)、南京师范大学留学回国人员科研启动基金.

通讯联系人: 汤茂林, 博士, 副教授, 研究方向: 城市与区域发展以及方法论. E-mail: tangmaolin@njnu.edu.cn

征和模式研究、城市土地扩张的影响因素和驱动机制研究、城市土地扩张的效益研究以及城市土地扩张的影响和对策研究<sup>[7]</sup>。RS 和 GIS 被广泛运用于城市扩张过程的实证研究<sup>[8-9]</sup>, 特别是多时相的城市形态遥感解译数据, 为城市空间扩张研究提供了有力的信息和数据支撑。

江阴位于长江三角洲腹地, 1987 年撤县建市, 改革开放后, 连续 7 年蝉联全国县域经济百强县(市)第一, 其城市发展轨迹与长三角其他城市相比有独特性, 而学者对于江阴城市化的关注和研究相对较少<sup>[10-12]</sup>。用 GIS 方法研究江阴市城市空间格局演变, 定量分析城市不同时段扩张过程、特点及其成因, 不仅有利于了解江阴市的发展过程和经验, 而且对科学制定和完善城市规划, 实现城市社会经济与环境的和谐发展有重要作用。

## 1 研究区概况、研究数据和方法

### 1.1 研究区概况

江阴市位于北纬  $31^{\circ}40'34''$  至  $31^{\circ}57'36''$ , 东经  $119^{\circ}59'$  至  $120^{\circ}34'30''$ 。北枕长江, 南近太湖, 东接常熟、张家港, 西连常州, 地处苏锡常“金三角”几何中心, 交通便捷, 辖区内多平原, 水网密布, 是自上海溯江而上的第一座滨江港口城市。江阴境内拥有 35 km 长江深水岸线, 被称为黄金水道的“黄金地段”。江阴有着独特的港口优势, 1992 年 5 月江阴港被国务院批准为一类对外开放口岸。目前已有各类码头泊位 57 个, 其中万吨级 22 个, 形成了石化产品、集装箱、煤炭、粮食等支柱货源构成的港口群, 成为长江下游重要的物资集散基地。

改革开放后, 江阴发展明显加快, 连续 7 年在全国县域经济基本竞争力评价排名中名列第一。具体看来, 江阴的发展可分为几个发展过程: 80 年代后期依托农村工业化(乡镇企业)和内生的新农村(华西村)建设而得到发展; 90 年代初江阴完成撤乡建镇, 港口(江阴港)、公路(锡澄公路、“六路”工程)基础设施的建设为江阴的发展注入了活力, 同时金融市场的初步建立、经济开发区的建成均为江阴的迅速发展做出了贡献; 90 年代中后期至新世纪, 江阴将其融入到大区域环境中, 主动迎接全省沿江开发战略。在如此快速的发展背景之下研究江阴城市扩张的空间过程有其特殊意义。

### 1.2 数据来源和研究路线

结合江阴市的扩展情况和现有数据条件, 本文选取了 1996 年、2001 年、2005 年 3 个时相的 TM 影像, 时间间隔大致为 4 年, 便于分析其扩展规律。辅助数据包括 2008 Google Earth 影像图以及社会经济方面的统计数据。

本文使用的主要软件是遥感信息处理软件 ENV 4.4, 地理信息系统软件 ArcGIS 9.3 以及统计软件 SPSS 10.0。通过城市用地遥感信息提取来确定城市建成区的范围, 在此基础上用点扩张模型来分析城市扩张, 假设在空间水平面上, 城市从一个中心点向外扩张且城市的扩张是均匀的。在具体分析时, 将不同时期的现状图与模型叠加进行分析, 得出空间扩张历史分析图。用 GIS 的空间统计方法对城市扩张数量进行分析, 并计算出城市用地面积在不同时期的扩张强度, 分析城市扩张的主导方向。在一系列的空间分析、变换和可视化表达之后, 将城市发展不同阶段的空间扩张特点转变为一系列可以直接识别和解译的内容。之后用统计方法对城市扩张的驱动因子进行分析, 得出各个阶段影响城市扩张的主要因子。

## 2 城市用地遥感信息提取

### 2.1 数据预处理

由于大气辐射、遥感平台位置、运动状态、地形起伏、地球曲率、地球自转等一系列原因, 卫星影像存在误差, 需要对数据进行预处理。数据预处理过程包括辐射校正和几何校正。

#### 2.1.1 辐射校正

完整的辐射校正包括传感器校正、大气校正以及太阳高度角和地形校正<sup>[13]</sup>。一般卫星地面站提供给用户的数据都经过了系统辐射校正, 去除了传感器本身性能的改变引起的辐射误差, 但是大气的影响和太阳光照条件引起的辐射差异并没有去除, 而大气的影响在很多情况下都是不能忽略的, 所以仍需要对大气的影响进行校正。本文用 ENV 4.4 中的 FLAASH 模块对影像进行辐射校正。

2.1.2 几何校正

在城镇用地信息提取之前,要对遥感影像进行几何精校正,便于裁剪研究区.几何精校正的处理方法主要是利用地面控制点和多项式内插模型进行校正<sup>[13]</sup>,本文用 ENV I 软件进行几何校正处理.考虑到研究区地图数据的缺失,本文根据 2008 年江阴市 Google Earth 影像对遥感影像进行几何校正,Google Earth 影像采用 WGS84 坐标系、墨卡托投影.先对 2005 年的遥感影像进行几何精校正,选取 6 个控制点,分别为图幅 4 个角落、江阴长江大桥东桥头堡、沿江高速与锡澄高速交叉点.总的均方根 (RMS) 误差控制在 0.5 以内,然后再以校正好的 2005 年遥感影像为基准,对 2001 年和 1996 年 TM 影像进行影像到影像的几何配准,控制点的总 RMS 控制在 0.3 以内.

2.2 城市用地信息提取

从遥感影像上提取城市用地的方法在国内外都有较多研究,有基于城市道路网络的提取<sup>[14]</sup>,有基于城乡纹理密度的提取<sup>[15]</sup>,还有归一化指数来提取城镇建成区等.由于城市土地以植被、建筑用地以及水体 3 种土地类型构成,本文构造了分别代表这 3 种土地类型的指数,对这 3 个指数波段进行合成,再通过非监督分类和人机交互综合提取城市信息.

2.2.1 三指数的构建

归一化植被指数 (NDVI) 由 Rouse 等<sup>[16]</sup>引入,采用近红外波段与红光波段的比值运算可以大大增强植被信息. NDVI 表达式为:  $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ . 其中, NIR 为近红外波段的像元亮度值,即 TM 的第 4 波段; Red 为红光波段的像元亮度值,即 TM 的第 3 波段.

归一化建筑指数 (NDBI)<sup>[17]</sup>是归一化植被指数的一个应用,它反应了地表裸露情况,可以设置合适的阈值提取地表覆被信息, NDBI 表达式为:  $NDBI = (MR - NIR) / (MR + NIR)$ . 其中, MR 为中红外波段的像元亮度值,即 TM 的第 5 波段.

归一化差异水体指数 (NDWI) 起初由 Mc Feeters<sup>[18]</sup>创建,考虑到城市内河受到不同程度污染,徐涵秋<sup>[19]</sup>对其进行了修改,修改后的归一化差异水体指数 (MNDWI) 表达式为:  $MNDWI = (Green - MR) / (Green + MR)$ . 其中, Green 代表绿光波段的像元亮度值,即 TM 影像的第 2 波段.

2.2.2 城市建成区范围确定

根据三指数波段的计算公式,利用 ENV I 软件衍生出 2005 年、2001 年和 1996 年三时相的 NDVI、NDBI 和 MNDWI 三指数波段,并分别对三时相的三指数波段进行图像融合,将影像数据从原来的 7 个波段压缩到 3 个波段.对三指数波段的合成影像采用非监督分类法进行分类,并从分类结果图中提取出三时相的城镇用地信息.由于提取出的城镇用地斑块比较零碎,为了使提取出的城镇用地具有较明显的城区边界,需要将城镇用地信息进行多次去噪处理,消除用地信息中一些小的斑块.3 个不同时相江阴市建成区信息如图 1 所示.

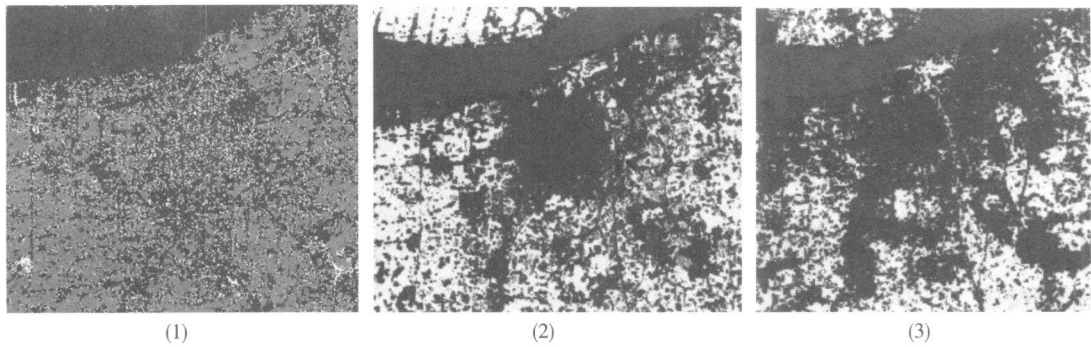


图 1 1996 年、2001 年和 2005 年江阴城市用地信息  
Fig.1 Urban land use of Jiangyin in year 1996, 2001 and 2005

3 城市扩张的动态分析

3.1 城市建成区叠加分析

城市用地信息提取出以后,将影像导入 ArcMAP 中,进行栅格转矢量处理,根据提取的建设用地信息

来勾绘建城区范围, 然后进行不同时相的叠加处理并提取出不同年份建城区面积. 图 2 为 1996 年、2001 年、2005 年 3 个年份城市建成区的叠加图.

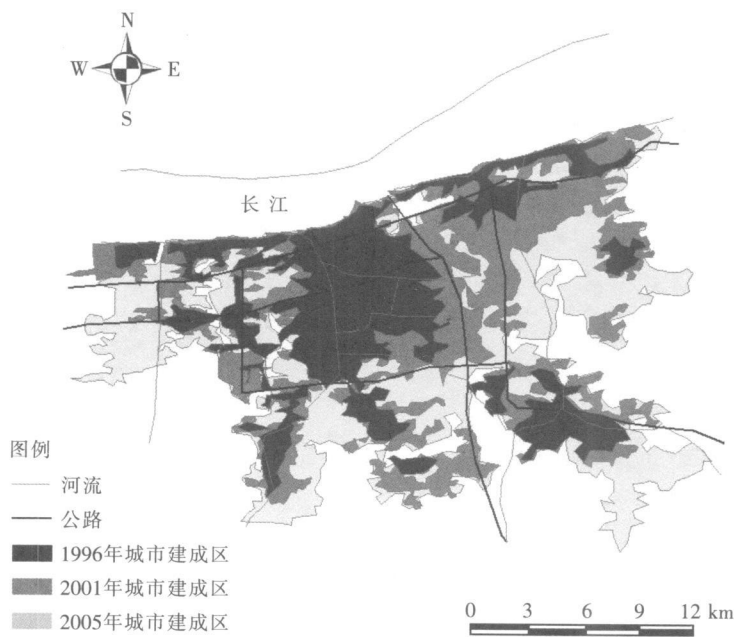


图 2 江阴市各年份城市建成区叠加图

Fig.2 The overlay analysis of the urban land use of Jiangyin in different years

由图 2 可知, 1996 年到 2005 年间江阴城市建成区范围持续扩张. 1996 年城市建成区主要为政府所在地的澄江镇中心, 建成区主要沿河流及公路分布; 沿江经济开发区建设效果不显著, 仅有沿江的“一层皮”; 周边镇规模小, 而且与澄江镇联系不紧密, 中间存在大量“空白地带”. 1996 年至 2001 年期间, 沿江港口以及沿江工业区, 特别是城东一片, 得到了大力发展, 城市建成区面积迅速增加, 城市化进程明显加快. 2001 年城市建成区在原有基础上翻了一番, 主要沿长江沿岸工业区内延伸; 随着临港工业的发展, 城东新市区初具规模; 周边镇迅速发展, 与澄江镇之间的“空白地带”被填补, 建成区沿河流及公路向内深入. 2001 年至 2005 年期间, 城市建成区在原有基础上进一步扩张, 建设用地连续性越来越好. 2005 年城市建成区面积在原有基础上继续增加, 老城区趋向饱和, 城东新市区与老市区连成一片, 城西港口工业区建成; 周边镇出现明显的扩张现象, 沿着公路的区域建设范围进一步扩大, 城乡界限日渐模糊.

3.2 扩张数量与强度分析

本文通过在 ARGB 中计算研究年份城区的总面积和每个时间段内城区的扩展面积来反映城区范围在数量上的扩展. 城市扩张强度可用于比较不同时期城市扩张的强弱和快慢, 可用城市年均增加面积和基年面积之比来表示, 其公式为:

$$AGR = (UA_{n+i} - UA_i) / nUA_i * 100\%$$

其中, AGR 为城市年均扩张强度指数,  $UA_{n+i}$  和  $UA_i$  分别代表  $n+i$  和  $i$  年的城区面积. 1996 年城市建成区面积为  $25.3\text{ km}^2$ , 2001 年间城市建成区面积为  $48.6\text{ km}^2$ , 建设面积净增加  $23.3\text{ km}^2$ ; 2005 年城市建成区面积为  $78.9\text{ km}^2$ , 建设面积净增加  $30.3\text{ km}^2$ . 1996 年 ~ 2005 年间城市以平均每年  $5.36\text{ km}^2$  的速度扩张. 表 1 为江阴市不同阶段城市用地扩展面积、扩展速度以及年平均扩展强度指数. 分析认为, 近 10 年江阴城区的扩张非常剧烈, 前一阶段 (1996 年 ~ 2001 年) 扩张强度较大, 后一阶段 (2001 年 ~ 2005 年) 在上一时期剧烈增长过后, 对大范围区域进行有序规划, 扩展特征以填充为主, 外延特征没有前一阶段明显.

表 1 江阴不同阶段城市用地扩展面积及扩展强度指数  
Table 1 The urban expansion area and expand intensity index of Jiangyin in different periods

年份 项目	1996 ~ 2001	2001 ~ 2005
扩张面积 / $\text{km}^2$	23.3	30.3
扩张速度 $I / (\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1})$	4.66	7.58
年均扩张强度指数 / %	23.02	15.58

3.3 扩张空间演变特征

城市用地空间特征的形成是内部填充和外部扩展两种扩展模式相互作用的结果. 在 1996 年至 2001 年间, 江阴的老城区及周边镇的扩张遵循由内向外的圈层式推进; 开发区建设和城东新区的扩张以跳跃式模式进行. 在 2001 年至 2005 年间, 老城区和经济开发区及新城区之间以填充式扩展为主, 老城区与新区连为一体.

为了定量说明江阴城市扩张空间形态演变的特征, 引入城市紧凑度<sup>[20]</sup>的概念, 其公式为  $C = (2\pi A)^{1/2} / P$ , 其中  $C$  为城市紧凑度,  $A$  为城市面积,  $P$  为城市周长. 若城市用地扩张属于填充类型, 城市的外围轮廓趋于紧凑; 若城市用地扩张属于外延类型, 城市形态趋于非紧凑. 经过计算, 江阴 1996 年城市紧凑度为 0.079, 2001 年为 0.115, 2005 年为 0.212, 城市紧凑度增加反映了江阴市空间格局由外延式向填充式的转变.

4 城市扩张的驱动因子分析

4.1 社会经济发展与城市扩张

城市空间增长的基本驱动力是经济增长. 对社会经济影响因子与城市面积进行相关性分析, 研究江阴市城市扩张过程中社会经济的影响. 考虑到统计数据的易获得性和典型性, 选取了 5 项指标, 包括地区生产总值(亿元)、固定资产投资额(亿元)、社会消费品零售总额(亿元)、职工平均工资(元)、非农人口(万人). 表 2 为上述指标与城市扩张面积的相关性分析. 对三次产业与城市扩张进行偏相关分析, 结果表明城市扩张与第三产业产值关系最为密切, 相关系数 0.973 7, 显著性概率  $p$  为 0.000.

表 2 社会经济与城市扩张相关性分析

Table 2 Correlation analysis of social economic and urban expansion

	相关系数	相关性	线性回归方程
地区生产总值	0.962	显著相关	$y = 1.002^* x + 1.327$
固定资产投资额	0.943	高度相关	$y = 1.003^* x + 30.56$
社会消费品零售额	0.928	高度相关	$y = 1.009^* x + 1.004$
职工平均工资	0.962	显著相关	$y = 1.000\ 06^* x + 0.999$
非农人口	0.799	中度相关	$Y = 1.03^* x + 1.000$

可见, 职工平均工资及地区生产总值与城市增长之间的相关性是非常显著的, 固定资产投资和社会消费品零售与城市增长的相关性次之, 非农人口数量与城市增长之间呈中度相关关系. 随着地区生产总值和职工工资增加, 居民购买力增强, 带动了基础设施建设、房地产业、商业、餐饮及娱乐服务业等第三产业的快速发展, 使得城区迅速扩张.

4.2 外资与城市扩张

上世纪 90 年代以来, 经济全球化加速发展, 我国改革开放全面推进, 地处长江三角洲腹地的江阴吸收外资规模不断扩大. 外商投资已经成为江阴经济和城市化发展的重要推动力量. 目前江阴的外资企业已经达到 2 367 家, 累计协议注册外资 35 亿美元, 到位注册外资 19.8 亿美元, 2008 年到位注册外资 17 110 万美元. 外商投资投资方向以制造业为主, 主要集中在纺织业、服装业、电子设备制造业、金属制品业、塑料制品业等加工制造行业. 投资对象集中在城市东部的江阴开发区, 与城市扩张趋向一致.

外资的涌入创造了大量的城市用地需求和非农业就业机会, 吸引着乡村人口和外来人口进入新城区. 人口的集聚产生大量的生活用地的需求, 城区房地产业得以迅速发展. 大量工业企业在产生大量用地需求的同时, 也产生了多样的服务业需求, 促进了第三产业的发展.

4.3 规划合理引导

城市发展, 规划先行. 江阴城市 1989 年、1995 年、2002 年城市总体规划对城市扩展起到了较好的引导作用. 1989 年的第三轮总体规划提出沿江发展、工业分区集中的思路, 为城市发展方向和用地布局调整指明了方向. 1995 年的第四轮总体规划提出带状组团结构、生态绿地系统的概念和综合交通体系; 该规划重视沿江发展, 这对之后沿江工业区及其沿线的发展有重大意义; 此外, 规划提出控制老城区和建设城市新中心区, 不仅有助于城市交通问题的解决, 而且为城市长远发展留下了空间. 2002 年第五轮总体规划用区域统筹的观点研究城市发展, 加强了江阴、张家港、靖江三市优势互补、错位发展的研究, 把靖江园区建设

与江阴产业转移相结合, 提出了跨江发展、区域基础设施和公共设施共建共享的思路. 此外, 对江阴市域城乡空间作全覆盖的整合规划, 提出了“工业进园区、居住进镇区、生活进社区”的具有江阴特色的城乡统筹、集聚发展的理念, 引导市域整合成“一城四区”的远景城镇空间布局<sup>[21]</sup>.

## 5 总结

(1) 遥感技术和地理信息系统已广泛应用于经济社会各个领域. 用 RS 和 GIS 获取、分析不同时期城市信息, 是研究城市化进程、城市扩张并了解城市规划实施情况的重要方法. 本文构造建筑用地、植被、水体三指标, 然后再进行分类, 提高了提取城市信息的精度.

(2) 江阴经济发展迅速, 城市化过程典型, 从 1996 年 ~ 2005 年, 江阴城市建成区面积以平均每年  $5.36 \text{ km}^2$  的速度扩张. 扩张过程中城市紧凑度增加, 城市空间格局由外延式向填充式转变, 城市用地结构趋于合理. 在未来的城市和产业发展中, 仍应该重视外延扩张和内涵挖潜的关系, 控制建设用地“摊大饼”式的无序增长, 使城市化发展与资源节约两相协调.

(3) 在城市形态的塑造方面, 经济和社会的发展, 外资投入以及城市规划都发挥着重要作用. 未来城市的发展可在合理规划框架下更多地发挥市场经济的作用, 使城市空间结构趋于合理.

致谢: 感谢华东勘测设计研究院邵银龙在论文写作与修改过程中的鼓励与帮助.

## [参考文献]

- [1] Pérez A, Scott D M. Spatial statistics for urban analysis: a review of techniques with examples[J]. Geo Journal, 2004, 61(1): 53-67.
- [2] Jackson K T. Crabgrass Frontier: the Suburbanization of the United States[M]. New York: Oxford University Press, 1985: 12.
- [3] 马晓东. 基于 ESDA 的城市化空间格局与过程比较研究[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007.
- [4] Cooley T F, LaCivita C J. A theory of growth controls[J]. Journal of Urban Economics, 1982, 12(2): 129-145.
- [5] Brueckner J K. Growth controls and land values in an open city[J]. Land Economics, 1990, 66(3): 237-248.
- [6] Guzy M R, Smith C L, Bolte J P, et al. Policy research using agent-based modeling to assess future impacts of urban expansion into farmlands and forests[J]. Ecology and Society, 2008, 13(1): 135-153.
- [7] 徐梦洁, 於海美, 梅艳, 等. 近年我国城市土地扩张研究进展[J]. 国土资源科技管理, 2008, 25(1): 47-50.
- [8] 马荣华, 陈雯, 陈小卉, 等. 常熟市城镇用地扩展分析[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 418-426.
- [9] 吴宏安, 蒋建军, 周杰, 等. 西安城市扩张及其驱动力分析[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 143-150.
- [10] 颜鹏, 刘茂松, 徐驰, 等. 江阴市城市化过程中聚居地格局动态[J]. 南京林业大学学报, 2006, 30(3): 93-97.
- [11] 罗小龙, 沈建法. 中国城市化进程中的增长联盟和反增长联盟——以江阴经济开发区靖江园区为例[J]. 城市规划, 2006, 30(3): 48-52.
- [12] 罗小龙, 沈建法. 跨界的城市增长——以江阴经济开发区靖江园区为例[J]. 地理学报, 2006, 61(4): 435-445.
- [13] 尹占娥. 现代遥感导论[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [14] Stefan H, Albert B. Automatic extraction of urban road networks from multi-view aerial imagery[J]. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2003, 58(2): 83-98.
- [15] Stefanov W L, Ramsey M S, Christensen P R. Monitoring urban land cover change: an expert system approach to land cover classification of semiarid to arid urban centers[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 77(2): 173-185.
- [16] Rouse J W, Haas R H, Schell J A, et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS[C] // Proceedings of the Third ERTS Symposium. NASA SP-351. Washington DC: NASA Special Publication, 1973: 309-317.
- [17] 杨山. 发达地区城乡聚落形态的信息提取与分形研究——以无锡市为例[J]. 地理学报, 2000, 55(6): 671-678.
- [18] McFeeters S K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425-1432.
- [19] 徐涵秋. 基于压缩数据维的城市建筑用地遥感信息提取[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(2): 223-229.
- [20] 刘纪远, 王新生, 庄大方, 等. 凸壳原理用于城市用地扩展空间类型识别[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 886-892.
- [21] 江阴市规划局. 江阴城市总体规划编制历程[EB/OL]. [2009-02-15]. <http://www.jgh.gov.cn/12/bianzhilicheng/01.asp>

[责任编辑: 顾晓天]