

长江三角洲地区城市用地增长的时空特征分析

李加林^{1,2}, 许继琴³, 李伟芳¹, 刘 闯²

- (1. 宁波大学海岸带资源与环境研究中心, 宁波 315211;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 宁波大学商学院, 宁波 315211)

摘要: 以 Landsat MSS、TM、ETM 卫星影像为主要数据源, 利用遥感和 GIS 手段, 提取了长江三角洲地区 5 个时相 (1979 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年) 城市用地信息, 分析了城市用地扩展速度、扩展强度、空间结构的变化特征, 进而探讨了长江三角洲 1979 年以来的城市空间生长过程。结果表明: 1979 年以来, 长江三角洲城市用地增长呈明显的加快趋势, 城市用地总体扩展强度也表现为不断提高。不同行政等级城市用地的扩展强度表现为直辖市 > 地级市 > 副省级市 > 县 (县级市)。长江三角洲城市用地空间结构的分维和稳定性特征具有一定的波动性。城市用地的空间结构特征与城市用地增长过程和发展阶段具有一定的联系。长江三角洲城市生长表现出“一核二带”、“二核三带”、“四核四带”和“五核五带”的空间轨迹。

关键词: 城市用地; 增长极核; 增长极带; 空间格局; 长江三角洲

1 引言

城市化及城市用地扩张是人类对土地利用的重要作用方式之一^[1]。城市化往往引起林地、草地、耕地和湖泊等土地类型向城市用地的转化^[2-5], 从而导致社会、经济 and 环境的进一步变化^[6]。城市作为区域经济发展的核心与载体, 城市用地时空动态变化格局与过程日益成为现代土地利用过程的主要特征和主要研究内容^[7-11]。

长江三角洲地区以上海为中心, 以沪杭甬为主体, 北部包括扬州、泰州、南通, 南部包括南京、镇江、常州、无锡、苏州、上海、湖州、嘉兴、杭州以及处于杭州湾以南的绍兴、宁波、舟山、台州等 16 市, 陆域面积约为 $11.31 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。长江三角洲是我国最大的经济核心区和城市化水平最高、城市密度最大的区域之一。其城市用地变化在我国具有典型性, 并成为现代城市土地利用变化过程研究的热点地区^[12-15]。已有研究从不同角度对长江三角洲典型城市空间变化进行剖析, 对长江三角洲城市发展研究有重要的参考价值^[16, 17]。但目前从长江三角洲区域整体角度探讨城市扩展的研究比较少, 难以揭示长江三角洲区域整体城市用地增长特征, 也不利于长江三角洲城市群的协调发展^[18, 19]。本研究利用 1979 年以来 5 个时相的遥感数据, 研究以上海为中心的整个长江三角洲城市用地空间演变过程, 不仅可为城市发展变化监测、城市规划执行和合理变更提供科学依据。同时, 对制订长江三角洲经济区城市群发展规划, 促进世界第六大城市群建设具有重要意义。

收稿日期: 2006-11-07; 修订日期: 2006-12-30

基金项目: 浙江省社科基金项目 (06HZC314YB); 宁波大学重点学科课题 (XK0611036); 浙江省教育厅项目 (20040911)
[Foundation: Social Science Foundation of Zhejiang Province, No.06HZC314YB; Key Academic Discipline Program of NBU, No.XK0611036; Scientific Research Foundation of Zhejiang Provincial Education Department, No.20040911]

作者简介: 李加林 (1973-), 男, 浙江台州人, 博士后, 副教授, 中国地理学会会员。主要从事海岸带环境演变与资源开发研究。E-mail: nbnj2001@163.com

2 数据来源与研究方法

2.1 遥感数据预处理及城市用地提取

本研究使用的遥感数据包括 1979 年 (MSS)、1990 年 (TM)、1995 年 (TM)、2000 年 (ETM) 和 2005 年 (TM) 5 期共 75 景陆地资源卫星数据。以 1978 年研究区 1:100 000 地形图为基础,在 ENVI4.2 图像处理系统下,对遥感影像进行几何校正,校正误差小于 1 个像元,投影方式为地理经纬度投影。对 1979 年 MSS 数据和 2000 年 ETM 数据进行 30 m × 30 m 重采样。采用国家基础地理信息 1:100 000 行政区划界线进行影像切割,再进行增强处理,用于城市用地专题信息提取。

从城市用地及其背景地物的遥感信息机理分析着手,采用决策树分类器进行城市用地提取^[20]。由于影像成像季节差异,加上地物本身的复杂性和地域差异性,不同影像上的光谱特征有较大差别。决策树分类的各个环节及阈值的选择在不同影像上有一定的差异,城市用地提取需要结合具体地物光谱特征进行。提取的城市用地栅格图像经形态综合、村镇信息剔除、图像镶嵌、矢量转化,最后得到 5 个时期的城市用地矢量图 (图 1)。

2.2 城市用地增长的时空分析指标

在 5 个时相城市用地解译数据基础上,进行城市用地的空间叠加运算,可得到长江三角洲不同时段城市用地增长的时空信息。为探讨长江三角洲城市用地增长的时间特征、空间形态及其生长格局,本文引入以下分析指标:

(1) 城市用地扩展速度和扩展强度指数 城市用地扩展速度 U_v 表示整个研究时期内不同阶段城市用地扩展面积的年增长速率。城市用地扩展强度指数 U_i 是指年均城市用地扩展面积与土地总面积的比值^[15]。 U_v 和 U_i 分别可用式 (1)、式 (2) 表示

$$U_v = \frac{DU_{es}}{Dt \times U_{es}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: U_v 为城市用地扩展速率, DU_{es} 为某一时间段城市用地扩展数量, Dt 为时间段 (一般以年为单位), U_{es} 为某一时间段初期的城市用地面积。

$$U_i = \frac{DU_{es} \times 100}{Dt \times L_{ta}} \quad (2)$$

式中: U_i 为城市用地扩展强度, DU_{es} 为某一时间段城市用地扩展数量, Dt 为时间段 (一般以年为单位), L_{ta} 为研究单元土地总面积。

(2) 城市用地扩展分形模型 分形模型适合于城市空间形态与空间过程研究,揭示

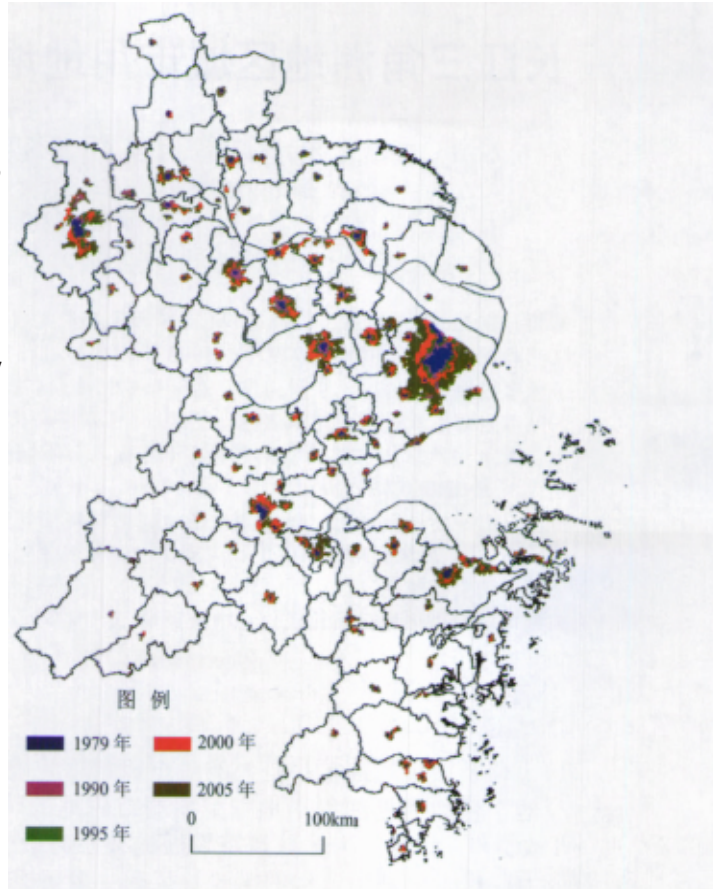


图 1 长江三角洲地区 5 个时相城市用地叠加图
Fig.1 Overlapping of urban land use in the Yangtze River Delta of five periods

城市生长和演化规律。城市空间形态的变化可用式 (3) 定义^[21]

$$\ln A(t) = \frac{2}{D} \ln P(t) + C \quad (3)$$

式中: $A(t)$ 为 t 时期城市面积, $P(t)$ 为 t 时期城市边缘周长, C 为截距, D 为分数维数。由于城市平面图斑为二维空间, 故 D 值的理论值范围在 1.0~2.0 之间。

(3) 缓冲区分析模型 城市用地扩展的缓冲区分析法是通过建立围绕中心市区或交通线向外等距扩散缓冲带, 然后将这些缓冲带作为城市用地扩展空间分异的基本单元, 用来计算相关空间度量特征, 并分析不同时期城市扩展过程所体现出来的空间行为特征。缓冲区可由式 (4) 定义

$$B_i = \{x: d(x, U_i) \leq R\} \quad (4)$$

式中: B_i 为缓冲区, x 为点位, U_i 为城市, d 为 x 到 U_i 的距离, R 为半径。

本研究中的城市用地扩展缓冲区包括 76 个城市的点缓冲区和主要交通网的线缓冲区。县级、地级、副省级和直辖市的缓冲区范围分别设定半径为 10 km、15 km、25 km 和 40 km, 步长为 1 km, 可将不同时期 95% 以上的新增城市用地覆盖在内。基线缓冲区范围则设定半径为 9 km, 步长为 3 km, 可将交通干线影响区域内的绝大部分城市包括在内。

(4) 城市生长极核和城市生长极带 由增长极理论与点轴理论可知, 区域经济的发展是以大中城市为增长点, 沿区域内经济发达、集聚效益明显的交通线、动力线等线状基础设施形成点轴体系, 并通过“点—轴”扩散机制的不均衡推进来实现区域经济以大城市为中心由近及远的圈层式渐进开发格局^[22]。为了分析长江三角洲不同时期城市增长的空间特征, 本文以上述理论构建了“城市生长极核”、“城市生长极带”模型来考察某一研究时段内城市面积增长的空间差异和发展模式。区域城市生长极核是指某一研究时段内城市用地面积增长较快的城市。城市生长极带是指某一研究时段内新增城市用地带状连片分布或串珠状分布的交通干线上的一系列城市。在对长江三角洲不同时段城市用地面积增长和空间分布的相关分析基础上, 城市生长极核和城市生长极带作如下定义:

$$A_a = \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^n A_i \quad (5)$$

式中: A_a 为 a 城市在研究时段内城市面积增长量, A_i 为 i 城市面积增加量, n 为研究区域内城市总数。当 a 城市满足式 (5) 时, 则确定其为一级城市生长极核。

$$\frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^n A_i > A_b \quad \frac{1}{15} \cdot \sum_{i=1}^n A_i \quad (6)$$

式中: A_b 为某一城市在研究时段内城市面积增长量, A_i 为 i 城市面积增加量, n 为研究区域内城市总数。当 b 城市满足式 (6) 时, 则确定其为二级城市生长极核。

$$B_a = \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i \right) \quad (7)$$

式中: B_a 为某一研究时段内 a 交通干线上所有城市在缓冲区范围内的平均单位城市面积增加量, B_i 为某一交通干线上第 i 城市在缓冲区范围内的城市面积增加量, n 为该交通干线上城市个数, m 为进行缓冲区分析的交通干线总数, 当 a 交通干线上系列城市满足式 (7) 时, 则确定其为一级生长极带。

$$\frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n B_i \right) > B_\beta, \quad \frac{1}{15} \cdot \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n B_i \right) \quad (8)$$

式中： B_β 为某一研究时段内 b 交通干线上所有城市在缓冲区范围内的平均单位城市面积增加量， B_i 为某一交通干线上第 i 城市在缓冲区范围内的城市面积增加量， n 为该交通干线上的城市个数， m 为研究区进行缓冲区分析的交通干线总数。当 b 交通干线上一系列城市满足式 (8) 时，则确定其为二级生长极带。

3 结果分析

3.1 长江三角洲城市用地扩展速度

1979 年，长江三角洲城市用地总面积仅为 388.58 km²，2005 年城市用地增至 4847.94 km²，为 1979 年的 12.48 倍，期间城市用地年均增长 171.51 km²。同时，城市用地扩张呈明显的加快趋势，1979~1990 年、1990~1995 年、1995~2000 年和 2000~2005 年 4 个时期的城市面积年均增加量分别为 37.66 km²、112.43 km²、274.86 km² 和 421.73 km²。1979~1990 年、1990~1995 年和 1995~2000 年，长江三角洲城市用地扩展速度总体上呈加快趋势，年平均速度分别为 9.69%、14.01% 和 20.14%。2000~2005 年城市用地扩展速度略有下降，年平均扩展速度为 15.40%。

不同行政等级城市不同时期的扩展速度差异较大 (图 2)。1979~1990 年，4 级城镇体系中以县 (县级市) 级城市的扩展速度最快，达 19.61%。次为地级市，12 个地级市的城市用地扩展平均速度为 17.54%。再次为直辖市—上海市，城市用地扩展速度为 8.32%。副省级城市的扩展速度最低，仅为 4.50%，三个副省级城市的排序为宁波 > 杭州 > 南京。1990~1995 年，县 (县级市) 级城市和地级市仍保持较高的城市用地扩展速度。副省级城市用地的扩展速度大大提高，超过地级城市用地扩展速度，接近县 (县级市) 级城市用地扩展速度，达 20.12%。上海城市用地扩展速度略有下降，为 7.60%。1995~2000 年间，县 (县级市) 级城市和地级城市用地进入超高速扩展时期，扩展速度分别达 26.31% 和 25.76%。江阴、张家港、昆山、吴江、临安、慈溪等县 (县级市) 级城市的扩展速度均在 40% 以上。地级市中，湖州、嘉兴、台州、南通、苏州和泰州等城市用地扩展速度均在 25% 以上。副省级城市的扩展仍保持平稳的高速发展，以杭州市的扩展速度最快，达 32.10%；宁波次之，为 16.43%；南京最小，仅为 9.75%。上海城市用地的扩展速度大大提高，达 15.48%。进入 2000 年以后，县 (县级市) 级城市、地级城市用地的扩展速度都有明显下降，其值分别为 14.59%、12.53%，低于长江三角洲的平均水平。副省级城市的扩展速度降至 17.00%，与前一时期相比，平均下降了 2.43%，3 个城市扩展速度的排序

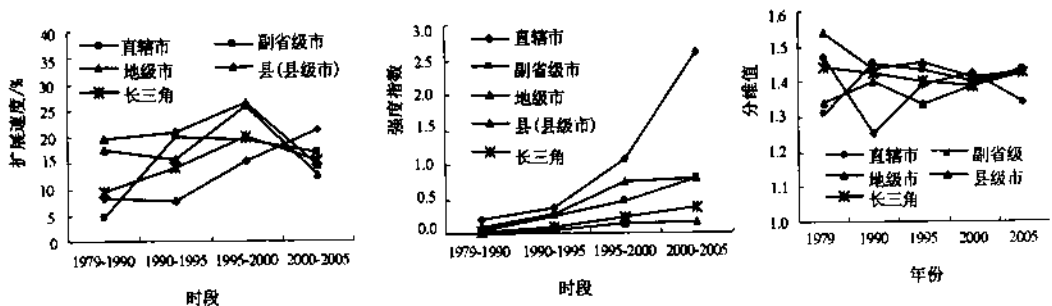


图 2 1979~2005 年长江三角洲不同等级城市用地扩展速度、强度指数和分维值

Fig. 2 Growth speed, intensity and fractal dimension of urban land use in the Yangtze River Delta during 1979-2005

为宁波 > 南京 > 杭州。上海城市用地扩展速度在该阶段表现为强劲的增加趋势,扩展速度高达 21.20%。

3.2 长江三角洲城市用地扩展强度

1979~2005年,长江三角洲城市用地总体扩展强度不断提高(图2)。1979~1990年间,城市用地扩展强度指数仅为0.03,其后三个时段则分别提高到0.10、0.24、0.37。从不同行政等级城市类型看(图2),1979~2005年间,从直辖市到县(县级市)级城市4个行政等级城市用地扩展强度的排序基本没有发生变化,表现为直辖市 > 地级市 > 副省级市 > 县(县级市),仅2000~2005年副省级城市用地的扩展强度略大于地级市。1979~1990年,不同行政等级城市扩展强度指数均较小。1990~1995年间,各级城市用地的扩展强度稳定增加,从直辖市到县(县级市)级城市用地的扩展强度分别为0.38、0.25、0.27和0.05。1995~2000年,各级城市用地扩展强度仍保持在较高水平,并有不同程度的增加,从直辖市到县(县级市)级城市用地的扩展速度分别为1.07、0.47、0.75和0.13。2000年以后,各级城市用地扩展强度指数差异较大。上海市区城市用地扩展强度显著增大,扩展强度指数高达2.60,是1995~2000年间的2倍以上。副省级城市扩展强度指数也有明显增大,其值为1995~2000年间的1.7倍,其中宁波的扩展强度指数高达1.05,南京为0.81,杭州为0.54。地级和县级城市用地扩展强度指数增加最小,与前一时段相比,其增加量仅为0.03。

3.3 长江三角洲城市空间结构变化特征

根据长江三角洲不同时期城市用地总图斑及分形模型,建立城市用地周长—面积双对数关系,再利用最小二乘法进行线性回归分析。结果表明,1979~2005年,长江三角洲城市用地空间结构的分维数介于1.3868~1.4427之间,均小于1.5,城市用地结构相对简单。1979~2000年,城市用地空间结构的分维数由1.4427逐渐降至1.3868,用地趋向简单和规则,这与长江三角洲城市地域面积的增加以建成区边缘填充为主有直接关系。2000年以后长江三角洲城市用地大规模扩展,且在一定程度上表现为外部扩展为主,导致城市形态的不规则程度增加,至2005年城市用地空间结构的分维数又明显增加,达到1.4252,接近于1990年水平。1979年以来,长江三角洲城市用地空间结构的稳定性指数表现出与城市用地分维数类似的规律。1979~2000年,随着城市用地分维数的减小,城市用地空间复杂性也逐渐减小,城市用地空间结构的稳定性指数逐渐增大,由0.0573增至0.1132,城市用地结构趋向稳定。而2005年城市用地的稳定性指数又下降至0.0748,这种变化同样与2000年以后城市用地的空间增长特征有关。

1979年以来长江三角洲不同行政等级城市用地空间结构分维数的分布范围有逐渐变小趋势,且1995年以后的分维值均小于1.5。1979~2000年,不同等级城市分维数分布范围从1.3069~1.5396变至1.3898~1.4236。2005年,副省级城市、地级市和县级城市的分维值更趋接近,分布范围为1.4252~1.4367,上海的分维值较小,为1.3421。具体到不同等级城市,研究时段内上海市城市用地结构分维值变化范围最大,副省级城市与地级市次之,县级城市的变化范围最小。城市用地稳定性指数的变化也表现出类似特征。

3.4 长江三角洲城市空间生长过程分析

根据城市生长模型,对不同时期、不同等级城市用地矢量叠加图进行缓冲区分析,可得到研究区内的城市生长极核和城市生长极带。为了便于不同时期的互相比,本研究以初始时段1979~1990年城市生长极核和城市生长极带的阈值为标准,得到不同时期的生长极核与生长极带(表1、表2、图3)。

3.4.1 城市生长极核的变化特征 1979~1990年,长江三角洲城市用地变化以上海市的城市用地增长为显著特征。期间,上海市缓冲区范围内新增城市用地136.62 km²,为典型的一级城市生长极核。无锡、南京和杭州为二级生长极核,期间缓冲区范围内新增城

表 1 长江三角洲不同时期城市生长极核表

Tab. 1 Urban land growth poles in the Yangtze River Delta in four different periods

	2000-2005	1995-2000	1990-1995	1979-1990
一级生长极核	上海(752.07)、南京(181.22)、宁波(132.54)、苏州(112.03)、杭州(84.44)	上海(309.05)、杭州(113.21)、苏州(87.62)、南京(68.50)	上海(107.38)、南京(79.71)	上海(136.62)
二级生长极核	无锡(60.06)、绍兴(55.41)、昆山(44.01)、常熟(40.18)、常州(39.57)、张家港(38.55)、太仓(27.26)、余姚(24.44)、扬州(23.21)、嘉兴(23.11)、南通(22.77)	无锡(60.57)、常州(55.92)、宁波(51.43)、南通(41.56)、张家港(33.65)、台州(31.37)、江阴(28.95)、镇江(25.58)、昆山(25.20)、湖州(22.06)、扬州(20.29)	宁波(34.51)、苏州(26.61)、无锡(25.67)、杭州(20.78)	无锡(29.17)、南京(27.50)、杭州(20.64)

注:表中数据是指各生长极核城市在研究时段内的面积增加量,单位为 km^2 。

表 2 长江三角洲不同时期城市生长极带表

Tab. 2 Urban land growth belts in the Yangtze River Delta in four different periods

	2000-2005	1995-2000	1990-1995	1979-1990
一级生长极带	上海-南京(40.85)、杭州-上海(38.34)、宁波-杭州(34.41)、上海-靖江(32.73)、高淳-南京(25.38)	上海-南京(32.64)、杭州-上海(31.01)、上海-靖江(21.38)、宁波-杭州(20.15)	上海-南京(17.96)、高淳-南京(17.33)、杭州-上海(16.48)	上海-南京(16.76)、杭州-上海(15.91)
二级生长极带	杭州-南京(15.32)、台州(黄岩)-宁波(11.45)、启东-南通(11.21)、海安-南京(8.86)、泰州-靖江(6.91)、台州(路桥)-上虞(6.40)、建德-杭州(5.93)、湖州-临安(5.81)、玉环-台州(黄岩)(5.67)、如东-南通(5.63)	杭州-南京(14.95)、高淳-南京(14.70)、启东-南通(13.94)、南通-海安(13.85)、建德-杭州(10.76)、如东-南通(10.49)、泰州-靖江(9.79)、玉环-台州(黄岩)(8.91)、湖州-临安(8.18)、台州(黄岩)-宁波(7.11)、海安-南京(7.01)、台州(路桥)-上虞(6.22)	建德-杭州(10.76)、杭州-南京(10.17)、宁波-杭州(10.03)、上海-靖江(7.06)、南通-海安(6.70)、泰州-靖江(5.65)、海安-南京(5.57)	上海-靖江(10.68)、宁波-杭州(6.63)、高淳-南京(5.63)

注:表中数据是指各生长极带上缓冲区范围内单位城市在研究时段内的面积平均增加量,单位为 km^2 。

市用地分别为 29.17 km^2 、 27.50 km^2 、 20.64 km^2 。

1990~1995年,长江三角洲的一级城市生长极核增加为上海、南京两个,缓冲区内新增城市用地分别为 107.38 km^2 和 79.71 km^2 。二级生长极核有 4 个,分别为宁波、苏州、无锡和杭州,其城市用地增加量分别为 34.51 km^2 、 26.61 km^2 、 25.67 km^2 和 20.78 km^2 。

1995~2000年,长江三角洲形成了包括上海、杭州、苏州和南京在内的 4 个一级生长极核和 11 个二级生长极核。一级生长极核中,上海市缓冲区范围内的新增城市用地为 309.05 km^2 ,杭州、苏州和南京新增城市用地相对较小,分别为 113.21 km^2 、 87.62 km^2 和 68.50 km^2 。二级生长极核以无锡、常州和宁波的用地增长最为明显,分别达 60.57 km^2 、 55.92 km^2 和 51.46 km^2 。南通、张家港、台州、江阴、镇江、昆山、湖州和扬州用地增长相对较少,其值介于 $20.29\sim 41.56 \text{ km}^2$ 之间。

2000~2005年,长江三角洲形成了包括上海、南京、宁波、苏州和杭州在内的 5 个一级生长极核和 11 个二级生长极核。居于首位的上海城市用地增加量高达 752.07 km^2 ;南京、宁波、苏州和杭州 4 个城市缓冲区内城市用地增加量分别为 181.22 km^2 、 132.54 km^2 、 112.03 km^2 和 84.44 km^2 。二级生长极核城市用地增长以无锡、绍兴 2 市最为明显,缓冲区内城市用地增加量分别达 60.06 km^2 和 55.41 km^2 ,昆山、常熟等 9 个城市的用地增加量介于 $22.77\sim 44.01 \text{ km}^2$ 之间。

3.4.2 城市生长极带的变化特征 1979~1990年,长江三角洲城市增长表现为 2 个一级生长极带和 3 个二级生长极带。一级生长极带以上海为中心,连接南京和杭州 2 个省会城市。其中上海—南京生长极带在缓冲带范围内平均单位城市面积增加量为 16.76 km^2 ,杭州—上海生长极带上缓冲区范围内平均单位城市面积增加量为 15.91 km^2 。二级生长极带包括上海—靖江、宁波—杭州和高淳—南京 3 条,上海—靖江生长极带在缓冲带范围

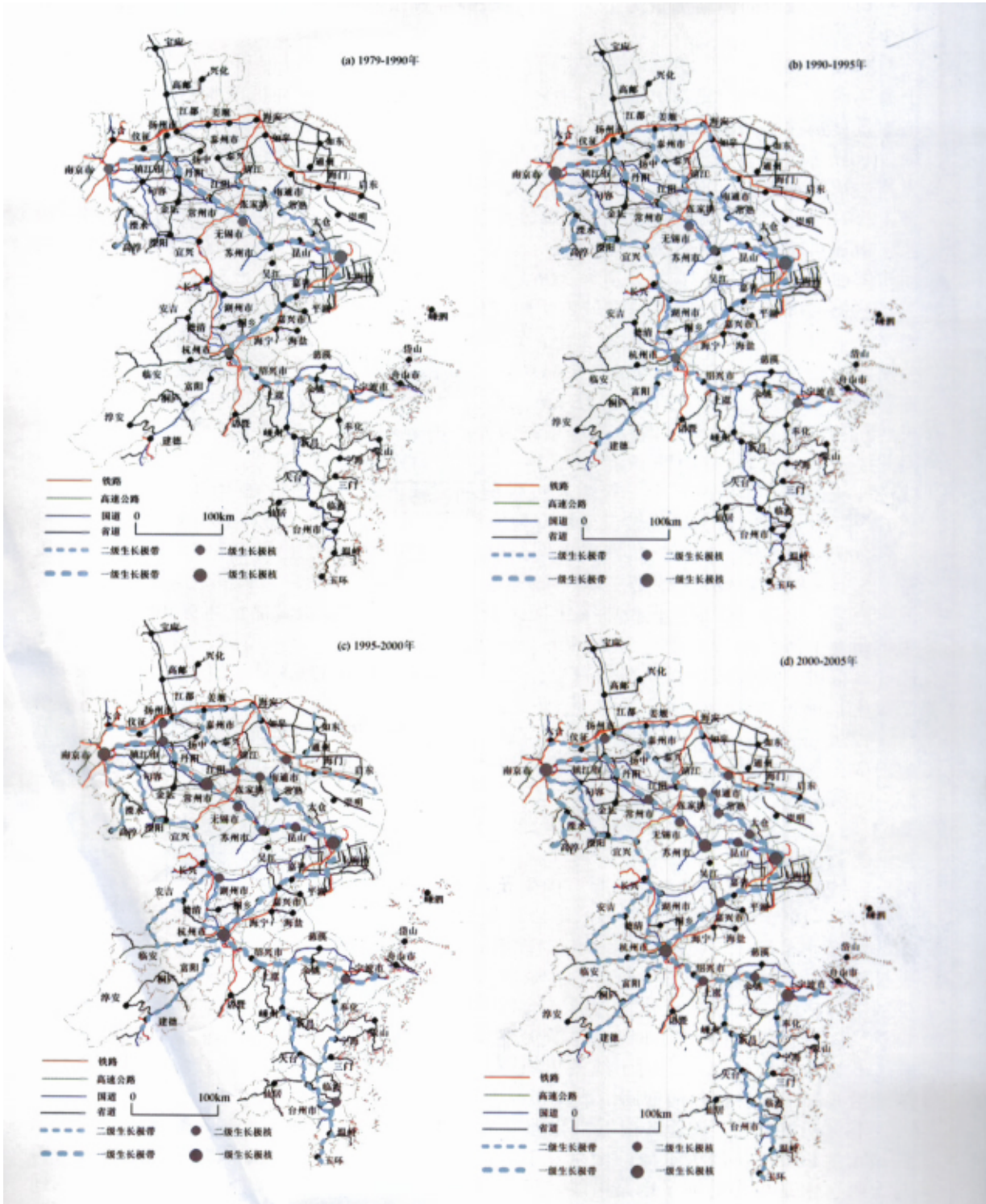


图 3 1979~2005 年长江三角洲地区城市生长极核、极带分布

Fig. 3 Urban land growth poles and belts in the Yangtze River Delta during 1979-2005

内平均单位城市面积增加量为 10.68 km^2 ，宁波—杭州和高淳—南京则分别为 6.63 km^2 和 5.63 km^2 。

1990~1995年，长江三角洲城市增长表现为3个一级生长极带和7个二级生长极带。上海—南京、高淳—南京和杭州—上海3条一级生长极带上缓冲区范围内单位城市面积增加量分别为 17.96 km^2 、 17.33 km^2 、 16.48 km^2 ，与1979~1990年时段基本持平。7个二级生长极带分别为建德—杭州、杭州—南京、宁波—杭州、上海—靖江、南通—海安、泰州—靖江和海安—南京。其中建德—杭州、杭州—南京、宁波—杭州3个二级生长极带上缓冲区范围内单位城市面积增加量比较接近，介于 $10.0\sim 11.0 \text{ km}^2$ 之间。上海—靖江、南通—海安、泰州—靖江和海安—南京4个二级生长极带上缓冲区范围内单位城市面积增加量相对较少，其值分别为 7.06 km^2 、 6.70 km^2 、 5.65 km^2 和 5.57 km^2 。

1995~2000年，长江三角洲城市用地增加表现为4个一级生长极带和12个二级生长极带。上海—南京、杭州—上海2个一级生长极带上缓冲区范围内单位城市面积增加量分别高达 32.64 km^2 和 31.01 km^2 ，上海—靖江和宁波—杭州2个一级生长极带的单位城市面积增加量也达 21.38 km^2 和 20.15 km^2 ，超过前2个时段的最高水平。12个二级生长极带为杭州—南京、高淳—南京、启东—南通、南通—海安、建德—杭州、如东—南通、泰州—靖江、玉环—台州(黄岩)、湖州—临安、台州(黄岩)—宁波、海安—南京、台州(路桥)—上虞，其中前6个二级生长极带的单位城市面积增加量在 $10.0\sim 15.0 \text{ km}^2$ 之间，后6个二级生长极带上单位城市面积增加值相对较少，其值介于 $6.0\sim 10.0 \text{ km}^2$ 之间。

2000~2005年，长江三角洲城市生长极带包括5个一级生长极带和10个二级生长极带。5个一级生长极带分别为上海—南京、杭州—上海、宁波—杭州、上海—靖江、高淳—南京。上海—南京生长极带上缓冲区范围内单位城市面积增加量高达 40.85 km^2 ，次为杭州—上海，其增加量达 38.34 km^2 ，再次宁波—杭州、上海—靖江、高淳—南京，其缓冲区范围内单位城市面积增加量也分别达到 34.41 km^2 、 32.73 km^2 和 25.38 km^2 。10个二级生长极带为杭州—南京、台州(黄岩)—宁波、启东—南通、海安—南京、泰州—靖江、台州(路桥)—上虞、建德—杭州、湖州—临安、玉环—台州(黄岩)和如东—南通。其中前3个生长极带上缓冲区范围内单位城市面积增加量均超过 10.0 km^2 ，后7个则介于 $5.0\sim 10.0 \text{ km}^2$ 之间。

3.4.3 长江三角洲城市生长极核与极带的空间变迁轨迹 从城市生长极核和极带空间格局演变看，1979年至今，长江三角洲城市增长的空间过程表现为“一核二带”、“二核三带”、“四核四带”和“五核五带”的生长轨迹。

1979~1990年，地区内部行政等级作用对城市的发展具有显著的影响。同时，铁路在区域工业布局中也具有明显的组织作用。长江三角洲城市生长表现为以上海为一级生长极核，以连接南京和杭州两个省会城市的沪宁和沪杭2条铁路沿线城市为一级生长极带的主体格局。南京和杭州作为沪宁线和沪杭线上另一端的省会城市，发展成二级生长极核。同时，沪宁线上的无锡也得以快速发展，并成为该时期的另一个二级城市生长极核。在城市生长极核和交通干线的组织带动下，上海—靖江的国道沿线、高淳—南京的省道沿线和宁波—杭州的铁路沿线城市成为当时的二级生长极带。

1990~1995年，随着苏南城市化速度的加速和南京城市生长速度的提高，长江三角洲城市生长极核扩展为上海、南京二个。城市生长极核的扩展和交通联系的增强，使得与上海、南京相连的沪宁铁路沿线、沪杭铁路沿线和高淳—南京省道沿线城市也相应地发展成为一级生长极带。二级生长极核除原先的苏州、杭州外，沪宁线上的无锡和杭甬铁路的端点城市宁波也逐渐发展为二级生长极核。与杭州相连的几条主要交通干线及长江以北主要交通干线上的城市也逐渐发展为二级生长极带。

1995~2000年，苏州和杭州城市生长速度加快，发展成为一级增长极核，此时，长

江三角洲的城市一级生长极核进一步扩展至四核。高淳—南京沿线城市生长速度降低,退化为二级生长极带,沪宁线、沪靖线、沪杭线仍为一级生长极带,杭甬沿线城市生长速度加快,形成了一级生长极带。此时,沪宁杭地区形成了多个二级城市生长极核,长江以北的南通、仪征,杭州湾以南的宁波和台州也发展成为二级生长极核。连接这些城市的二级生长极带也得以快速发展,此时,长江三角洲已形成12条二级生长极带。

2000年以后,浙东地区城市发展速度加快。宁波围绕建设长江三角洲南翼经济中心和现代化国际港口城市的总目标,2000~2005年间共投入415亿元,加强城市基础设施建设,进一步完善城市功能。至2005年,宁波发展成为长江三角洲的第五个一级城市生长极核。在杭州和宁波城市扩展的带动下,杭甬线上的绍兴、余姚亦逐渐成长为二级城市生长极核。

4 结论

(1) 长江三角洲城市用地扩展速度和强度不断增涨 1979年,长江三角洲城市用地为388.58 km²,2005年城市用地为1979年的12.48倍,达4847.94 km²。城市用地增加呈明显的加快趋势,1979~1990年、1990~1995年、1995~2000年、2000~2005年4个时期的城市用地年均增加量分别为37.66、112.43、274.86和421.73 km²。城市用地总体扩展强度也表现为不断提高。1979~1990年间,城市用地扩展强度指数仅为0.03,其后三个时段则分别提高到0.10、0.24、0.37。从直辖市到县(县级市)级城市4个行政等级城市用地扩展强度在4个时期的排序基本没有发生变化,表现为直辖市>地级市>副省级市>县(县级市)。

(2) 长江三角洲城市用地空间结构的分维和稳定性特征具有一定的波动性 1979~2000年,长江三角洲城市用地空间结构的分维数逐年减小,表明城市用地空间结构的复杂性相对减小,城市用地趋向规则。2000年以后长江三角洲城市用地大规模扩展,这在一定程度上增长了城市用地结构的复杂性,城市用地空间结构的稳定性指数也表现出类似特征。城市用地的空间结构特征与城市用地增长过程和发展阶段具有一定的联系。不同等级城市用地空间结构分维数的分布范围有逐渐变小趋势。

(3) 长江三角洲城市生长表现出“一核二带”到“五核五带”的空间生长轨迹 1979~1990年,长江三角洲城市生长表现为以上海为一级生长极核,以连接南京和杭州两个省会城市的沪宁和沪杭铁路线2条交通干线为一级生长极带的主体格局。1990~1995年,随着苏南城市化速度的加快和南京城市生长速度的提高,长江三角洲城市生长极核扩展为上海、南京2个。城市生长极核的扩展和交通联系的增强,使得与上海、南京相连的沪宁铁路沿线、沪杭铁路沿线和高淳—南京省道沿线城市也相应地发展成为一级生长极带。1995~2000年,苏州和杭州城市生长速度加快,长江三角洲的城市生长极核进一步扩展至四核,杭甬沿线城市生长速度加快,形成了一级城市生长极带。2000年以后,宁波城市发展加快,成为长江三角洲的第五个一级生长极核。

致谢:感谢中国科学院地理科学与资源研究所全球变化信息研究中心朱晓华博士、黄大鹏博士、郑伟博士在数据分析和论文写作中的有益探讨。

参考文献 (References)

- [1] Barney Cohen. Urban growth in developing countries: A review of current trends and a caution regarding existing forecasts. *World Development*, 2004, 32(1): 23-51.
- [2] Meyer W B, Turner B L II. *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. Cambridge, New York: University of Cambridge Press, 1994. 287-328.

- [3] Kong Chunfang, Xu Kai, Wu Chonglong. Classification and extraction of urban land-use information from high-resolution image based on object multi-features. *Journal of China University of Geosciences*, 2006, 17(2): 151-157.
- [4] Martin Herold, Helen Coudeelis, Keith C Clarke. The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2005, 29(4): 369-399.
- [5] Tian Guangjin, Liu Jiyuan, Zhuang Dafang et al. The temporal-spatial characteristics of urban land in China in 1990s by remote sensing and GIS. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(4): 421-427. [田光进, 刘纪远, 庄大方等. 基于遥感和GIS的20世纪90年代中国城镇用地时空特征. *第四纪研究*, 2003, 23(4): 421-427.]
- [6] Weber C, Puissant A. Urbanization pressure and modeling of urban growth: Example of the Tunis metropolitan area. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(3): 341-352.
- [7] Martin Herold, Noah C Goldstein, Keith C Clarke. The spatio-temporal form of urban growth: Measurement, analysis and modeling. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(3): 286-302.
- [8] Turner B L II, Clark W C, Kates R W et al. *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*. Cambridge, New York: Melbourne & Sydney Press, 1990. 713-714.
- [9] Kaya S, Curran P J. Monitoring urban growth on the European side of the Istanbul metropolitan area: A case study. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2006, 8(1): 18-25.
- [10] Liu Huiping, Zhou Qiming. Developing urban growth predictions from spatial indicators based on multi-temporal images. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2005, 29(5): 580-594.
- [11] 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.]
- [12] Shi Xuezheng, Zhang Dingxiang, Pan Xianzhang. Dynamic expanding of typical city in the south Jiangsu Province in recent 35 years. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(6): 780-787. [史学正, 张定祥, 潘贤章. 近35年苏南典型地区的城镇扩展动态研究. *土壤学报*, 2002, 39(6): 780-787.]
- [13] Li Xiaowen, Fang Jingyun, Piao Shilong. The evolving process and related spatial mechanism of urban landuse in Shanghai region. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(4): 439-446. [李晓文, 方精云, 朴世龙. 上海城市土地利用转变类型及其空间关联分析. *自然资源学报*, 2004, 19(4): 439-446.]
- [14] Chu Jinlong, Ma Xiaodong, Gao Shu et al. Spatio-temporal characteristics of urbanization area growth in Nantong city, Jiangsu province. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(1): 55-64. [储金龙, 马晓冬, 高抒等. 南通地区城镇用地扩展时空特征分析. *自然资源学报*, 2006, 21(1): 55-64.]
- [15] Yang Shan. On extraction and fractal of urban and rural residential spatial pattern in developed area. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(6): 671-678. [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. *地理学报*, 2000, 55(6): 671-678.]
- [16] Wang Zhixian, Yu Xiaogan, Xu Kefeng et al. Situation and suggestions of sustainable development in the Yangtze River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(3): 381-391. [王志宪, 虞孝感, 徐科峰等. 长江三角洲地区可持续发展的态势与对策. *地理学报*, 2005, 60(3): 381-391.]
- [17] Zhang Xiaoming. Characteristics of Yangtze River delta mega-city region. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(10): 1025-1036. [张晓明. 长江三角洲巨型城市区特征分析. *地理学报*, 2006, 61(10): 1025-1036.]
- [18] Zhang Shangwu. The historical characteristics of formation and development of city regions in the Yangtze Delta. *Urban Planning Review*, 1999, (1): 40-47. [张尚武. 长江三角洲城镇密集地区形成及发展的历史特征. *城市规划汇刊*, 1999, (1): 40-47.]
- [19] Yao Shimou, Chen Shuang. The trend of urban spatial evolution in the Changjiang River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(suppl.): 1-10. [姚士谋, 陈爽. 长江三角洲地区城市空间演化趋势. *地理学报*, 1998, 53(增刊): 1-10.]
- [20] Li Shuang, Zhang Erxun. The decision tree classification and its application in land cover. *Areal Research and Development*, 2003, 22(1): 17-21. [李爽, 张二勋. 基于决策树的遥感影像分类方法研究. *地域研究与开发*, 2003, 22(1): 17-21.]
- [21] Kuang Wenhui, Zhang Shuwen, Zhang Yangzhen et al. Analysis of urban utilization spatial expansion mechanism in Changchun city since 1900. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(5): 841-850. [匡文慧, 张树文, 张养贞等. 1900年以来长春市土地利用空间扩张机理分析. *地理学报*, 2005, 60(5): 841-850.]
- [22] Lu Dadao. An analysis of spatial structure and optimal regional development. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(2): 127-135. [陆大道. 论区域的最佳结构与最佳发展: 提出“点-轴系统”和“T”型结构以来的回顾与再分析. *地理学报*, 2001, 56(2): 127-135.]

Spatio-temporal Characteristics of Urbanization Area Growth in the Yangtze River Delta

LI Jialin^{1,2}, XU Jiqin³, LI Weifang¹, LIU Chuang²

(1. Coastal Resources and Environment Research Center, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. College of Commercial Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The Yangtze River Delta is one of the economically developed coastal areas. From the late 1970s, its urbanization process has been quickened greatly, which resulted in the number increase and the spatial expansion of urban areas. The Landsat MSS, TM/ETM satellite images, which were respectively acquired in 5 periods of 1979, 1990, 1995, 2000 and 2005, were used to extract urban land information and analyze urban growth data with the help of remote sensing and GIS softwares. We analyzed the spatio-temporal characteristics including urban growth speed, growth intensity, fractal dimension and urban growth pattern. Additionally, dynamics of urban expansion in the Yangtze River Delta were also analyzed. The results are drawn as follows: (1) From 1979 to 2005, the growth speed of urbanization area was accelerating obviously. The quantities of increasing area of urbanized land were 37.66 km², 112.43 km², 274.86 km² and 421.73 km² in the past four periods (1979-1990, 1990-1995, 1995-2000 and 2000-2005), respectively. Meanwhile, the growth intensities of urbanized land enhanced gradually. From 1979 to 1990, the growth intensity was only 0.03, then reaching 0.10, 0.24 and 0.37 in the following three periods. (2) The spatial structure of urbanization area in the Yangtze River Delta was fractal. The fractal dimension and stability coefficient of urbanized land structure fluctuated to a certain extent. From 1979 to 2000, the fractal dimension of urbanized land structure decreased yearly. The shape of urbanized land tended to be regular. After 2000, the area increase of urbanized land on a large scale led to more complicated shape of urbanized land. The stability coefficient also had similar characteristics to that of fractal dimension. So the change of urbanized land in spatial structure was relating to the growth process of urbanized land. (3) The growth process of urban agglomeration in the Yangtze River Delta was from one pole and two belts to five poles and five belts. From 1979 to 1990, Shanghai was the only first-grade growth pole of urbanized land and Shanghai-Nanjing railway and Shanghai-Hangzhou railway were the two first-grade growth belts of urbanized land in the Yangtze River Delta. At the latest period (from 2000 to 2005), the first-grade growth poles included 5 cities, i.e., Shanghai, Nanjing, Hangzhou, Suzhou and Ningbo. Besides Shanghai-Nanjing railway and Shanghai-Hangzhou railway, Shanghai-Jingjiang railway, Hangzhou-Ningbo railway and the highway linking Nanjing to Gaochun also became growth belts of urbanized land in the Yangtze River Delta in that period.

Key words: urbanized land; growth pole; growth belt; spatial pattern; Yangtze River Delta