

# 群组型港口城市用地时空扩展特征 及外部形态演变——以宁波为例

李加林<sup>1</sup>, 朱晓华<sup>2</sup>, 张殿发<sup>1</sup>

(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)

**摘要:** 以多时相 Landsat MSS、TM 和 ETM 卫星影像为数据源, 提取宁波城市各组团(三江片、镇海片和北仑片)多时相的用地信息, 分析了港口城市用地扩展的时空特征及外部形态演变过程。结果表明: (1) 1979 年以来, 宁波城市用地面积扩展速度和扩展强度不断提高, 但各个组团的表现有较大的差异。(2) 各组团城市用地空间结构分维数的波动与城市用地的空间扩展模式表现出明显的相关性。(3) 3 个组团的城市用地扩展强度指数峰区相对城市质心有不断外移趋势, 但扩展强度指数峰值的变化在各个片区有一定差异。(4) 3 个组团城市用地外部形态演变在不同方向上的差异性与宁波港口迁移及港口经济的发展密切相关。(5) 随着宁波港口从内河港向河口港、海岸港的迁移, 宁波城市外部形态演变经历块状单一集中型内河港城市、“一城一镇”飞地式群组河口港城市、“一城二镇”飞地式群组海港城市和“一城多镇”不连续带状群组海港城市发展阶段, 最后将形成“T”型带状群组现代化国际港口城市。

**关键词:** 城市用地; 时空特征; 群组型港口城市; 形态演变; 宁波

文章编号: 1000-0585(2008)02-0275-10

## 1 引言

城市化及城市用地扩展是现代人类社会对土地利用的重要方式之一<sup>[1]</sup>, 城市扩展不仅表现为对非城市用地的替代, 而且还涉及到城市空间形态的变化。不同的城市自然环境、区位条件、经济结构和社会结构对应不同的城市形态。20 世纪下半叶以来, 世界范围内城市化进程加速, 经济、人口、物质、能量和信息等在城市区域的快速集聚, 直接导致了城市规模扩大、腹地空间增大。城市用地扩展及其外部形态演变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<sup>[2]</sup>。分析城市空间形态, 掌握城市用地时空演变规律, 对于优化城市空间, 推动城市发展具有十分重要的意义。国内外学者在城市形态演变的特征、过程、机制等方面开展了大量的研究, 并对城市形态研究的理论和方法进行了探讨<sup>[3~10]</sup>。从具体案例选择看, 集中型城市的形态特征及其演变是当前研究的热点和重点<sup>[11,12]</sup>, 群组型城市形态演变的研究案例较少<sup>[13]</sup>; 从研究手段上看, 遥感和 GIS 技术在城市形态演变研究中逐渐得到应用<sup>[8,12]</sup>。然而, 由于缺乏多时段动态数据的支持, 不利于揭示大尺度、长时间序列城市形态的演变特征。

收稿日期: 2007-10-13; 修订日期: 2008-01-22

基金项目: 国家自然科学基金 (40701006); 宁波市自然科学基金 (2006A610077); 宁波大学重点学科课题 (XK0611036)

作者简介: 李加林 (1973-), 男, 浙江台州人, 博士后, 副教授。主要从事海岸带资源环境及遥感应用研究。

E-mail: nbnj2001@163.com

长江三角洲作为我国最大的经济核心区和城市化过程最为剧烈的地区,城市用地增长特征和形态变化在我国具有典型性,成为我国现代城市土地利用变化过程研究的热点地区。已有研究主要是对长江三角洲地区的集中型城市用地扩展和形态演变分析<sup>[14~18]</sup>,也有基于多时相数据对整个长江三角洲城市用地增长的分析<sup>[19]</sup>,而对受地形、河流等限制或因经济发展需要所形成的群组型城市的用地扩展特征及形态演变的研究则较少。宁波地处浙江东部、长江三角洲南翼,东临东海,北濒杭州湾,西接绍兴市,南临三门湾,并与台州的三门、天台相连,全市陆域总面积 9365km<sup>2</sup>。宁波是长江三角洲地区典型的群组型港口城市,作为长江三角洲南翼中心城市,宁波在长江三角洲社会经济发展中占有十分重要的地位,目前对该地区城市扩展及形态演变的研究多以定性研究为主<sup>[20]</sup>。定量分析宁波城市用地扩展及空间形态演变规律,不仅对科学合理指导城市规划、控制城市用地规模、促进该地区土地资源的合理开发和可持续利用具有重要的现实意义,而且对促进我国群组型港口城市形态及其演变研究具有一定的理论意义。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源及处理

本研究使用的主要数据源为宁波幅 1979(MSS)、1990(TM)、1995(TM)、2000(ETM)和2005年(TM) 5期陆地资源卫星数据。以研究区 1978 年 1:10 万地形图为准,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 30m×30m 重采样。采用国家基础地理信息 1:10 万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。

本文的宁波城市用地特指鄞县并入市区前的城市用地,即海曙、江东、江北老 3 区构成的老城区(三江片)及镇海、北仑 2 区。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<sup>[21]</sup>。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(图版 3 图 1)。

### 2.2 城市用地增长的分析指标

将不同时相的城市用地解译数据进行顺序叠加运算,得到不同时段城市用地变化信息。为深入探讨 1979 年以来宁波城市用地扩展的时空特征及形态结构,引入以下分析指标:

(1) 城市用地扩展速度 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平均增长量,用以表征各阶段城市用地扩展的总体规模和趋势。

$$U_v = \frac{U_{\beta} - U_{\alpha}}{\Delta t} \quad (1)$$

式中:  $U_v$  为城市用地扩展速度,  $U_{\beta}$  为某一时间段末期城市用地面积,  $U_{\alpha}$  为某一时间段初期的城市用地面积,  $\Delta t$  为时间段(一般以年为单位)。

(2) 城市用地扩展强度指数 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。其实质是用各单元土地总面积来对其年均扩展速度进行标准化处理,使不同片区城市用地扩展速度具有可比性<sup>[16]</sup>。

$$U_i = \frac{\Delta U_{\alpha} \times 100}{\Delta t \times L_{\alpha}} \quad (2)$$

式中:  $U_i$  为城市用地扩展强度指数,  $\Delta U_{\alpha}$  为某一时间段城市用地扩展数量,  $\Delta t$  为时间段(一般以年为单位),  $L_{\alpha}$  为研究单元土地总面积。

(3) 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, 揭示城市生长和演化规律。城市空间形态的变化可用式 (3) 定义<sup>[22]</sup>

$$D = 2 \ln \frac{P}{4} / \ln A \quad (3)$$

式中:  $D$  为分维数,  $A$  为某一时期的城市面积,  $P(t)$  为该时期的城市边缘周长。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。 $D$  值可反映城市用地的集约程度,  $D$  值越小, 表示用地集约程度越低;  $D$  值越大, 表示用地集约程度越高。

(4) 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<sup>[18]</sup>

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

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。

### 3 结果分析

#### 3.1 城市用地扩展速度

1979 年宁波城市用地总面积仅为 17.26 km<sup>2</sup>, 2005 年增至 248.26 km<sup>2</sup>, 为 1979 年的 14.39 倍, 期间城市用地扩展速度为 8.88 km<sup>2</sup>/a。从不同时段城市用地面积扩展速度看, 1979 年以来的 4 个时期呈明显的加快趋势 (表 1, 2)。

从宁波各组团城市用地增长构成看, 三江片、镇海片和北仑片 3 个组团在不

表 1 1979~2005 年宁波城市用地面积 (单位: km<sup>2</sup>)

年份	1979	1990	1995	2000	2005
宁波市	17.26	28.08	62.60	113.99	248.26
三江片	15.12	20.88	38.81	62.93	139.10
镇海片	1.90	6.05	13.06	27.83	49.36
北仑片	0.24	1.15	10.73	23.23	59.80

同时期城市用地的增长特征表现出较大的差异 (表 1, 2)。在改革开放之初的 1979 年, 宁波城市仍是以三江片为中心的集中型形态, 其用地面积占整个城市用地的 87.6%, 群组型城市形态还未形成。随着镇海港的建成及镇海石化、镇海电厂等港口工业的发展, 镇海片城市用地扩展速度加快, 1979~1990 年城市用地面积的净增长量接近同期三江片用地的净增长量。北仑片尚处于国家级经济技术开发区、保税区一期建成之初, 港口配套设施还不完善, 城市用地规模仍相对较小。1990~1995 年, 随着改革开放的进一步扩大和政治体制改革的持续深入, 宁波城市建成区外拓加快。三江片仍是城市发展的重点地区, 镇海片用地也有所增长。北仑片则在港口经济的带动下, 城市用地以开发区为依托迅速增长,

表 2 1979~2005 年宁波城市用地扩展速度、强度指数

Tab. 2 Growth speed and growth intensity of urbanized land in Ningbo from 1979 to 2005

时段	1979~1990		1990~1995		1995~2000		2000~2005	
	扩展速度	扩展强度	扩展速度	扩展强度	扩展速度	扩展强度	扩展速度	扩展强度
宁波市	0.98	0.08	6.904	0.56	10.28	0.84	26.85	2.19
三江片	0.52	0.19	3.586	1.30	4.82	1.75	15.23	5.52
镇海片	0.38	0.10	1.4028	0.38	2.95	0.81	4.31	1.17
北仑片	0.08	0.01	1.9152	0.33	2.50	0.43	7.31	1.25

注: 扩展速度单位为 km<sup>2</sup>/a

期间城市用地净增长接近  $10\text{km}^2$ 。1995~2000 年, 宁波城市各组团的用地仍保持较高的增长速度, 三江片、镇海片和北仑片城市用地增长量分别为  $24.12\text{km}^2$ 、 $14.77\text{km}^2$  和  $12.50\text{km}^2$ 。2000 年以后, 宁波城市进入超常规的高速发展时期, 城市空间迅速膨胀。2005 年宁波城市用地总量是 2000 年的 2.18 倍, 三江片、镇海片和北仑片城市用地增长量分别为  $76.17\text{km}^2$ 、 $21.53\text{km}^2$  和  $36.57\text{km}^2$ 。

### 3.2 城市用地扩展强度

1979~2005 年, 宁波城市用地总体扩展强度不断提高 (表 2)。具体从三江片、镇海片和北仑片看, 不同时段各组团城市用地的扩展强度也表现为不断提高的趋势, 但提高速度有较大的差异。1979~1990 年, 三江片和镇海片城市用地表现出较快的扩展趋势, 强度指数分别达 0.19 和 0.10。而北仑片仍未形成规模, 扩展强度较小。1990~1995 年, 三江片、镇海片和北仑片的扩展强度指数分别达 1.30、0.38 和 0.33。1995~2000 年, 城市用地的扩展强度进一步提高, 三江片、镇海片和北仑片分别达 1.75、0.81 和 0.43。2000~2005 年, 各组团城市用地扩展强度指数达 1979 年以来的最大值, 北仑片首次超过镇海片。

### 3.3 城市用地空间结构变化特征

根据提取的宁波市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。结果表明, 1979~2005 年宁波城市用地空间结构的分维数介于 1.0708~1.2494 之间, 均小于 1.5 (表 3)。1979~1995 年, 宁波城市用地

表 3 宁波城市用地结构分维数

Tab. 3 Fractal dimension of urbanized land in Ningbo city

年份	1979	1990	1995	2000	2005
宁波市	1.1914	1.2283	1.2494	1.2372	1.2371
三江片	1.1802	1.1925	1.1857	1.2136	1.2021
镇海片	1.0708	1.1870	1.2011	1.1726	1.2000
北仑片	1.1073	1.1828	1.2366	1.1641	1.1719

空间结构的分维数由 1.1914 增加到 1.2494, 这是由于该时期宁波城市地域面积的增加沿主要交通线向外规模扩展, 城市用地集约程度相对提高。1995 年以后, 城市发展过程中受海岸、河流等条件的影响较大, 用地结构的空分维数略有降低。从宁波三江片、镇海片和北仑片 3 个组团看, 城市用地空间结构的分维数表现出一定的差异 (表 3), 这种差异与各组团在相应时期的城市用地扩展特征有直接联系。

### 3.4 各组团城市用地空间扩展特征

分别以 1979 年宁波市 3 个组团的城市用地质心为原点, 以 1km 为间隔建立缓冲区, 并与 1979 年、1990 年、1995 年、2000 年和 2005 年的城市用地解译结果进行叠加分析, 获得不同年份各缓冲带内城市用地面积, 同时计算出不同年份各缓冲区城市用地扩展强度指数 (图 2~图 4)。此外, 以 1979 年宁波市三个片区的城市用地质心为原点, 东西方向为横轴, 南北方向为纵轴, 按八个方位划分为八个象限区域 (以 E、NE 方位所夹区域为第 1 象限, 逆时针依次排列 8 个象限), 将其与解译的不同时期城市用地数据进行空间叠加分析, 得到不同时期城市用地在各个象限中的面积, 然后分析不同时段各个象限内城市用地扩展的规模和强度特征。

**3.4.1 三江片** 三江片城市质心 2km 缓冲区范围内的城市用地在 1979 年已接近  $9\text{km}^2$ , 1979 年以来城市用地的增加主要表现在城市质心 2km 以外的区域。1979~1990 年, 城市用地扩展集中在离城市质心 5km 范围内, 增长最快的区域集中在 2~3 km 处, 用地增长量达  $3.32\text{km}^2$ 。1990~1995 年, 城市用地增长的峰区外移, 峰值出现在 3~4km 处, 增长量为  $6.99\text{km}^2$ 。1995~2000 年, 城市用地增长的峰区进一步外移, 4~5km 处增加量达

7.21 km<sup>2</sup>。2000~2005 年，城市用地增长量以 7~8km 处为最，达 16.01 km<sup>2</sup>；4~10km 范围内均有较大的增长，增加量在 7.0 km<sup>2</sup> 以上。

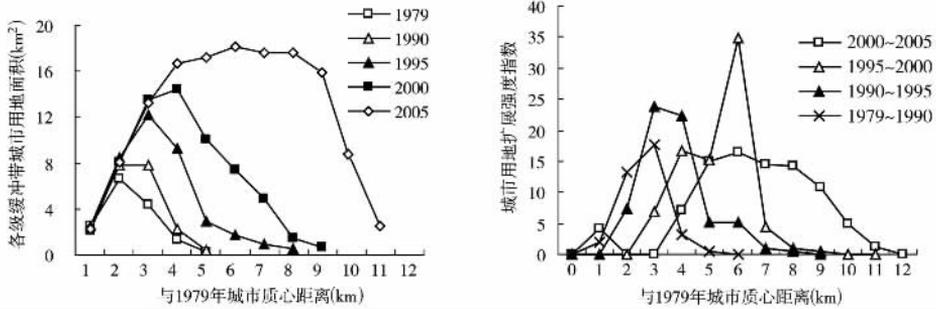


图 2 三江片不同缓冲带城市用地面积及扩展强度变化

Fig. 2 The change of urbanized land area and growth intensity in Sanjiang district

由图 2 可知，三江片 1979 以来 4 个时期的缓冲区扩展强度指数分布曲线以 1995~2000 年的峰值最大，达 34.73。其次为 1990~1995 年、1979~1990 年和 2000~2005 年。1979 年以来的 4 个时段，城市用地扩展强度指数峰值，分别位于 2~3km、2~3km、5~6km 和 5~6km 处有逐渐外推的趋势。扩展强度指数峰值的外移表明三江片城市化的核心区域逐渐外移。由象限分析可知（图 5），1979~2000 年三江片城市用地在各象限的规模外扩相对均匀。而 2000~2005 年突出表现为沿宁镇公路和江南公路向镇海和北仑、沿 329 国道和甬台温高速公路向北仑和沿江北大道向江北工业区方向的扩展。

**3.4.2 镇海片** 1979 年镇海片城区面积较小，城市质心 2km 缓冲区范围内的城市用地不到 2km<sup>2</sup>。1979~1990 年城市用地增长最快的区域集中在 2~3 km 处，用地增长量达 1.53km<sup>2</sup>。1990~1995 年，用地增长以 1~2km 处的 2.97km<sup>2</sup> 为最大。1995~2000 年，用地增长的峰区外移，3~4km 处用地增加量达 3.95 km<sup>2</sup>。2000~2005 年，城市用地增长量峰区进一步外移，以 6~7km 处为最，达 3.67 km<sup>2</sup>；2~8km 范围内城市用地增长量均在 1.60km<sup>2</sup> 以上。1979 年以来，镇海片城市用地扩展强度指数峰值分别位于 0~1km、1~2km、2~3km、3~4km 缓冲区范围内（图 3）。城市用地在各象限的扩展则有较大的差异（图 5），并突出表现为第 4 象限沿海岸线向西北方向和第 1 象限沿海岸线向东南方向的扩展。

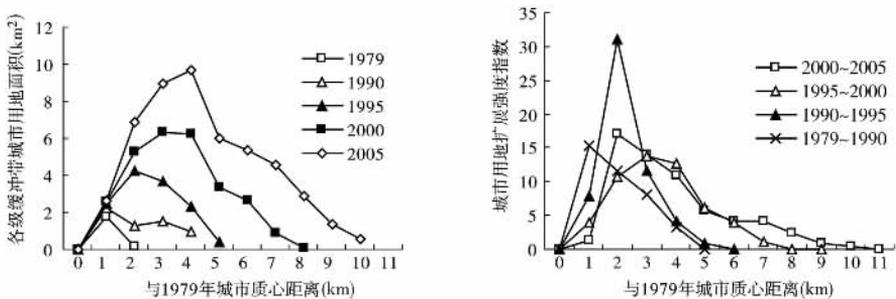


图 3 镇海片不同缓冲带城市用地面积及扩展强度变化

Fig. 3 The change of urbanized land area and growth intensity in Zhenhai district

**3.4.3 北仑片** 1979 年，北仑片城市用地分布在离质心 1km 缓冲区范围内，用地仅 0.24km<sup>2</sup>。至 1990 年用地仍集中在 1km 缓冲区范围内，面积也仅为 0.59km<sup>2</sup>。1990~

1995 年, 1~4km 缓冲区范围内城市用地均有较多增长, 其中 1~2km 增长量最大, 为 2.87km<sup>2</sup>。1995~2000 年, 北仑片城市规模进一步加大, 但城市用地增加量却主要分布在原有城市框架范围内。2000~2005 年, 用地增长的峰区显著外移, 2~7km 缓冲区范围内均有较大的增加量。其中以 4~5km 处为最, 达 9.09 km<sup>2</sup> (图 4)。

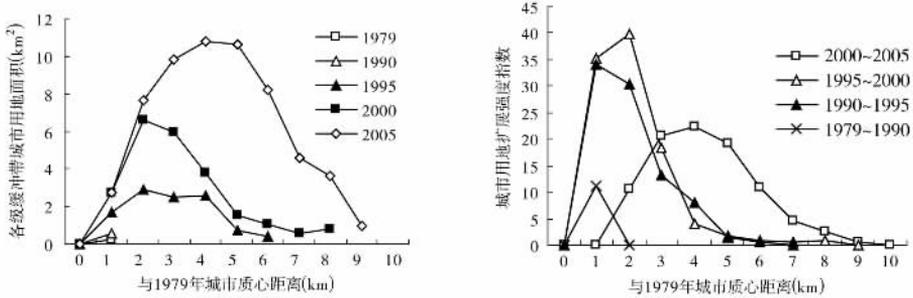
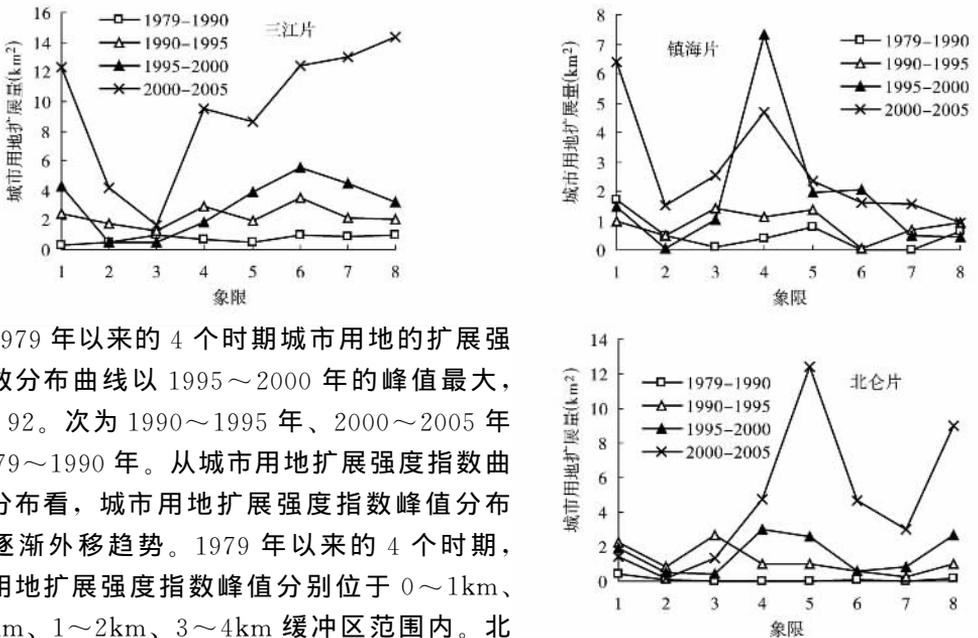


图 4 北仑片不同缓冲带城市用地面积及扩展强度变化

Fig. 4 The change of urbanized land area and growth intensity in Beilun district



1979 年以来的 4 个时期城市用地的扩展强度指数分布曲线以 1995~2000 年的峰值最大, 达 39.92。次为 1990~1995 年、2000~2005 年和 1979~1990 年。从城市用地扩展强度指数曲线的分布看, 城市用地扩展强度指数峰值分布区有逐渐外移趋势。1979 年以来的 4 个时期, 城市用地扩展强度指数峰值分别位于 0~1km、0~1km、1~2km、3~4km 缓冲区范围内。北仑区城市形态演变除第 2、3 象限受海岸线限制外, 其他象限均有较快的增长。其外部空间形态的演变突出表现沿 329 国道和甬台温高速公路 (第 5 象限) 向宁波方向和第 8 象限沿海岸线向东南方向的扩展 (图 5)。

3.5 群组型港口城市外部形态演变过程

3.5.1 块状单一集中型内河港城市 (1979 年以前) 宁波老城地处浙东奉化江、余姚江、甬江三江交汇之处, 沿江可上溯奉化、余姚, 下达东海, 经济发达, 交通便利。1000 多年前宁波已在此建城筑港, 唐景福元年 (公元 892 年) 建成了宁波之郭——罗城。作为内河港口城市, 宁波当时的城市形态比较简单, 基本上为点状形态。经济以农业、手工业和渔业的产品交换为特征, 商品交换的场所集中在港口附近的东门一带, 这与当时以木帆

图 5 城市用地扩展的象限分析

Fig. 5 Quadrant analyzing of urbanization land spatial expansion

船运输为特征的内河港口条件相适应。鸦片战争后,宁波成为五大通商口岸之一,城市经济也逐渐从传统农业、手工业和渔业向近代工业演变,江北港址逐渐形成。宁波城市规模也就逐渐跨过奉化江和余姚江,向江东、江北发展,宁波老城被分为海曙、江东、江北3区,宁波老城的城市外部轮廓基本形成,城市形态为块状单一集中型。20世纪30~70年代,随着船舶大型化及国际远洋航运事业的飞速发展,港口对水深陆域的要求逐渐提高,上海港迅速崛起,宁波港相对衰落,宁波的城市总体布局无多大变化,城市形态基本上保持原状,仍为单一集中型内河港口城市。

**3.5.2 “一城一镇”飞地式群组河口港城市(1979~1990年)** 20世纪70年代以后,船舶大型化进一步发展。国家为分流上海港的运输,1974年开始开发宁波镇海港。宁波内河老港甬江通航能力低,不能适应现代化海运事业的发展,为进一步加大对外开放的力度,使宁波城市具有足够的吸引力、竞争力、辐射力,宁波必须有自己的出海口。镇海港的开发,标志着宁波河口港的形成,镇海港主要承担物资中转和近海物资集疏运。该时期宁波三江片老城区城市用地空间扩展以内部填充为主。以1979年城市质心为原点,则该年三江片城市规模已形成以5km为半径范围的基本框架,1979~1990年的城市用地增加主要集中在5km为半径的缓冲区范围内。随着镇海石化、镇海电厂等港口工业的发展,镇海成为石化加工和后续加工的重化工基地,城市用地大规模向外拓展。1979年镇海片城市用地规模仅为1.90km<sup>2</sup>,并集中在城市质心2km半径范围内。1979~1990年城市用地在2~4km为半径的缓冲区范围内增加量为3.60km<sup>2</sup>。随着内河港向河口港的发展,宁波城市形态形成“一城一镇”(老市区、镇海)飞地式河口港群组城市。

**3.5.3 “一城二镇”飞地式群组海港城市(1990~1995年)** 随着远洋运输和国际贸易的进一步发展,镇海港已不能适应国际贸易的需要,迫使港口外迁。北仑港位于甬江口以南的滨海地带,距三江汇合处约38km,是中国大陆重点开发建设的4个国际深水中转港之一。20世纪80年代开始,深水良港北仑港的开发,标志着宁城港已演变成集内河港、河口港和海港于一体的综合性港口,并进入港口工业型经济发展阶段。经过十多年的开发,至1995年在北仑、镇海二个港区的后方陆域,形成一个具有相当规模的港口工业体系。随着港口和港口工业的发展,宁波城市也向外拓展。该时期,宁波老城区仍是城市发展的重点地区,建成区用地扩展表现为内填外展。首先,在原有城市框架内城市用地进一步填充,2~3km、3~4km和4~5km缓冲带范围内的城市用地分别由1990年的7.758km<sup>2</sup>、2.279 km<sup>2</sup>、0.449 km<sup>2</sup>增加到1995年的12.23 km<sup>2</sup>、9.266 km<sup>2</sup>和2.922 km<sup>2</sup>。其次,5~8km缓冲区范围是该时期城市化的扩展区,三江片城市规模逐渐增大。港口工业的发展和北仑国家级经济技术开发区的成立壮大,使得镇海和北仑两区作为宁波城市的工业职能组团得以快速发展。镇海片城市用地扩展以内部填充为主,2~4km缓冲区范围内的城市用地增加量达6.46 km<sup>2</sup>。北仑片城市用地则大规模向外拓展,2~6km缓冲区范围内城市用地快速扩展,该范围内城市用地增加量为9.02km<sup>2</sup>,是1990年城市用地总量的15.2倍。宁波城市形态逐渐形成“一城二镇”(老市区、镇海、北仑)飞地式群组海港城市。

**3.5.4 “一城多镇”不连续带状群组海港城市(1995~2005年)** 港口经济的飞速发展,使得城市空间扩展逐步加快。依托港口优势,临港大工业逐渐得以发展,港口陆域腹地不断得以开发利用,同时也促进港区与中心城区的发展。由北仑、镇海、宁波老港组成的宁波港成为上海国际航运中心的国际远洋集装箱枢纽港和以上海为中心的国际性组合枢

纽港, 宁波成为长江三角洲地区的重要口岸。宁波老市区、镇海区、北仑区组成了生产、生活设施相互独立, 又有机联系的统一体。老市区成为宁波的政治、金融、贸易、科技文化和信息中心, 镇海为石化加工和后续加工的重化工基地, 镇海港主要承担物资中转和近海物资集疏运, 北仑港为大型远洋中转港和港口工业基地。该时期, 宁波老城区城市用地在内部填充的基础上, 不断向外拓展。其中 1995~2000 年以内部填充为主, 城市用地的扩展主要表现在 3~8km 缓冲区范围内城市用地的增加, 该范围内的城市用地增加量在 23km<sup>2</sup> 以上。2000~2005 年则是内填外展阶段。在该阶段, 3~8km 缓冲区范围内的城市用地继续以较大的幅度增加, 其增加量达 48.86km<sup>2</sup>。同时, 宁波三江片现代化大都市的架势进一步拉大。8~11km 缓冲区范围也是该时期城市用地扩展的重要区域, 城市用地扩展量达 26.86km<sup>2</sup>。镇海区城市用地扩展表现为内填外拓。1995~2000 年内填主要表现为 2~5km 缓冲区范围内的城市用地扩展, 其扩展量达 9.46 km<sup>2</sup>; 外拓主要表现在 5~7km 缓冲区范围内的用地拓展, 其扩展量为 3.52 km<sup>2</sup>。2000~2005 年, 城市用地内部充填主要表现在 2~7km 缓冲区范围内用地的增加, 增加量达 10.26 km<sup>2</sup>; 外拓主要表现在 7~10km 缓冲区范围内的用地扩展, 扩展量为 4.80 km<sup>2</sup>。北仑片城市用地扩展表现为 1995~2005 年的内填外拓和 2000~2005 年的内向充填。1995~2000 年的内填外拓主要表现在 2~6km 缓冲区范围内城市用地 11.07km<sup>2</sup> 的增加量及 6~8km 缓冲区范围内 1.37km<sup>2</sup> 的城市用地外拓。2000~2005 年的内向充填主要表现为 2~8km 缓冲区范围内的城市用地内部填充, 填充量为 35.11km<sup>2</sup>。

随着甬江新区、大榭岛、小港经济开发区规模的逐渐形成, 宁波城市形态向一城多镇方向发展, 以老市区、镇海、北仑之间的效能联系为骨架, 以港口为伸展轴定向发展, 形成从老港开始沿甬江至镇海、小港, 再转向东南沿海岸发展的不连续带状群组海港城市。

**3.5.5 “T”型带状群组现代化国际港口城市 (2005 年以后)** 由于宁波老市区、镇海、北仑相距较近, 再加上招宝山大桥、宁镇公路、江南公路、甬江隧道的建成, 2005 年以后三个组团之间的联系更加便捷。城市的内部空间结构发展充分利用老市区原有的优势, 沿甬江两岸逐渐向东向入海口方向推进。城市商业、金融中心也将逐步东移, 并在甬江入海口一带形成新的市中心, 重点发展金融、商贸、服务、科技等第三产业, 而三江口老市区城市中心的作用将逐渐下降。城市建设将逐渐转向沿江南公路, 宁镇公路两侧, 使这两条路逐渐成为今后的主要商业街。老城区城市用地的蔓延式发展模式将逐渐被沿甬江向东发展的模式所代替。与此同时, 受港口后方陆域腹地的限制, 镇海和北仑城市用地也将不断的沿宁镇公路和江南公路向老市区方向内向充填, 并逐渐与老城区连成一片。而宁波港口体系的进一步完善和港口经济的发展, 将使得镇海和北仑逐渐把各个沿海港口工业建设用地串联起来, 以共同利用各类公共建筑和市政设施, 并使得城市向港口所在地定向发展, 逐渐形成沿海城镇带。这样, 宁波城市形态最终将形成沿海岸发展和沿甬江发展的“T”型带状群组现代化国际港口城市。

## 4 结论

(1) 1979 年以来, 宁波群组型港口城市用地面积扩展呈明显的加快趋势。1979 年以来 4 个时期城市用地的年均扩展速度表现出一定的波动性, 且各组团在不同时期表现出较大的差异。城市用地总体扩展强度不断提高, 但各组团在不同时段是提高速度存在差异。城市用地空间结构的分维数表现出的波动与城市用地的空间扩展模式有明显的相关性。宁

波市群组型城市 3 个组团城市用地面积增长量的峰区和扩展强度指数峰区相对城市质心有不断外移趋势，但扩展强度指数峰值的变化在各个组团仍有一定差异。

(2) 宁波群组型城市 3 个组团城市用地外部形态扩展在不同方向上的差异性与港口经济的发展密切相关。港口的建设和经济的发展，使得三江片中心城区城市用地外部空间形态在规模外扩的基础上，突出表现为沿宁镇公路和江南公路向镇海和北仑、沿 329 国道和甬台温高速公路向北仑和沿江北大道向江北工业区方向的扩展。镇海港的建设和港口工业的发展，使得镇海片城市形态演变突出表现为第 4 象限沿海岸线向西北方向和第 1 象限沿海岸线向东南方向扩展。北仑港的开发和邻港工业的发展，使得北仑片城市形态演变除第 2、3 象限受海岸线限制外，其他象限均有较快的增长。其外部空间形态的演变突出表现沿 329 国道和甬台温高速公路（第 5 象限）向三江片方向和第 8 象限沿海岸线向东南方向的扩展。

(3) 作为港口城市的重要组成部分，港口条件决定了城市的空间结构和外部轮廓形态。社会经济的发展使得原来的港口位置、规模等条件越来越不适应城市的发展，城市的扩展、城市形态的演化必须通过港口位置迁移、规模扩展来实现。随着宁波港口从内河港向河口港、海岸港的迁移，宁波城市形态演变经历了块状单一集中型内河港城市、“一城一镇”飞地式群组河口港城市、“一城二镇”飞地式群组海港城市和“一城多镇”不连续带状群组海港城市发展阶段，并将最终形成“T”型带状群组现代化国际港口城市。

#### 参考文献：

- [ 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 ] 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.
- [ 3 ] 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.
- [ 4 ] 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.
- [ 5 ] Huiping Liu, Qiming Zhou. Developing urban growth predictions from spatial indicators based on multi-temporal images. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2005,29(5): 580~594.
- [ 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 ] 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.
- [ 8 ] 肖捷颖,葛京凤,沈彦俊,等. 基于 GIS 的石家庄市城市土地利用扩展分析. *地理研究*, 2003,22(6):789~798.
- [ 9 ] 廖和平,彭征,洪惠坤,等. 重庆市直辖以来的城市空间扩展与机制. *地理研究*, 2007,26(6):1137~1146.
- [ 10 ] 李晓文,方精云,朴世龙. 上海及周边主要城镇城市用地扩展空间特征及其比较. *地理研究*, 2003,22(6):769~779.
- [ 11 ] 牟凤云,张增祥,谭文彬,等. 广州城市空间形态特征与时空演化分析. *地球信息科学*, 2007,9(5):94~98.
- [ 12 ] 蔡博峰,张增祥,刘斌,等. 基于遥感和 GIS 的天津城市空间形态变化分析. *地球信息科学*, 2007,9(5):89~93.
- [ 13 ] 易峥. 重庆组团式城市结构的演变和发展. *规划师*, 2003,20(9):33~36.
- [ 14 ] 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.
- [ 15 ] 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 ] 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.
- [ 17 ] 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.
- [ 18 ] 李加林,许继琴,李伟芳,等. 长江三角洲地区城市用地增长的时空特征分析. *地理学报*, 2007, 62(4):437~447.
- [ 19 ] 王宁. 组团型城市形态分析——以浙江省台州市为例. *经济地理*, 1996,16(2):32~37.

- [20] 李加林. 河口港城市形态演变分析研究——兼论宁波城市形态的历演变及发展. 人文地理, 1998, 13(2): 50~53.
- [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.
- [22] 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.

## Spatio-temporal characteristics of urbanized area growth and outer spatial form evolution of group port city: Taking Ningbo city as a case

LI Jia-lin<sup>1</sup>, ZHU Xiao-hua<sup>2</sup>, ZHANG Dian-fa<sup>1</sup>

(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)

**Abstract:** Ningbo, classic group city, is the central city of the south Yangtze River Delta and is one of the economically developed coastal areas. Since the late 1970s, its urbanization process has been quickened greatly, which resulted in substantial increase in both urban areas and urbanization intensity. The landsat MSS, TM/ETM satellite images, which were respectively acquired in five 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 software. We analyzed the spatio-temporal characteristics including urban growth speed, growth intensity and fractal dimension. Additionally, outer spatial form of urban expansion in Ningbo city was also analyzed. The results are as follows. (1) From 1979 to 2005, the growth speed and the growth intensities of urbanized area in Ningbo city were accelerating obviously. To the three districts, there are some differences in the growth speeds and intensities. (2) The fractal dimensions of urbanized land structure were fluctuant and relating to the growth process of urbanized land. When the shape of urbanized land tends to be regular, the fractal dimension will decrease. (3) The mode position of index of the growth intensities related to shape centre of the urbanized land tends moving toward the outside. But the change of the mode value differs from each other in the three districts. (4) The direction of spatial expansion of urbanized land was obviously related to transplanting of port and the development of port economy. (5) With the transplanting of Ningbo port from river port, estuary port to coastal port, the evolvement of outer spatial form of Ningbo city was from the type of single central city with river port, enclave group city of estuary port with "one city and one town", enclave group city of coastal port with "one city and two towns" and discontinuity zonal city of coastal port with "one city and many towns". Finally, the "T-shaped" outer spatial form of modern Ningbo city composed of towns along the coast and towns along the Yong jiang River will come into being.

**Key words:** urbanized land; spatio-temporal characteristic; group port city; spatial form evolution; Ningbo

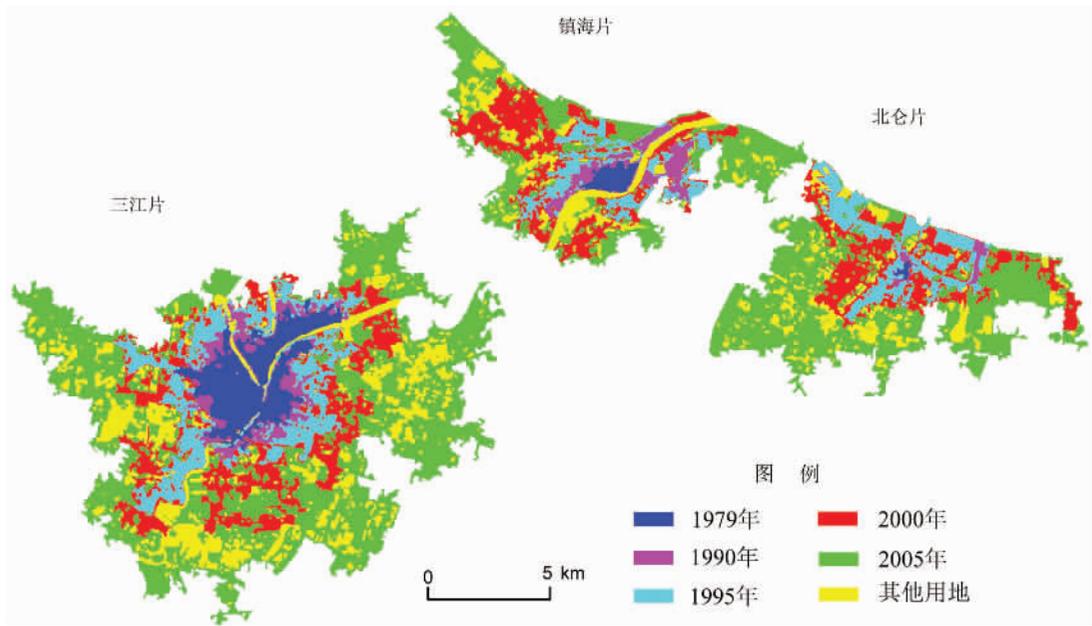


图 1 宁波 5 个时相城市用地解译矢量叠加图

Fig.1 Overlapping of urbanized land during five periods in Ningbo city

吴铮争 等：北京城市边缘区城市化过程与空间扩展分析——以大兴区为例

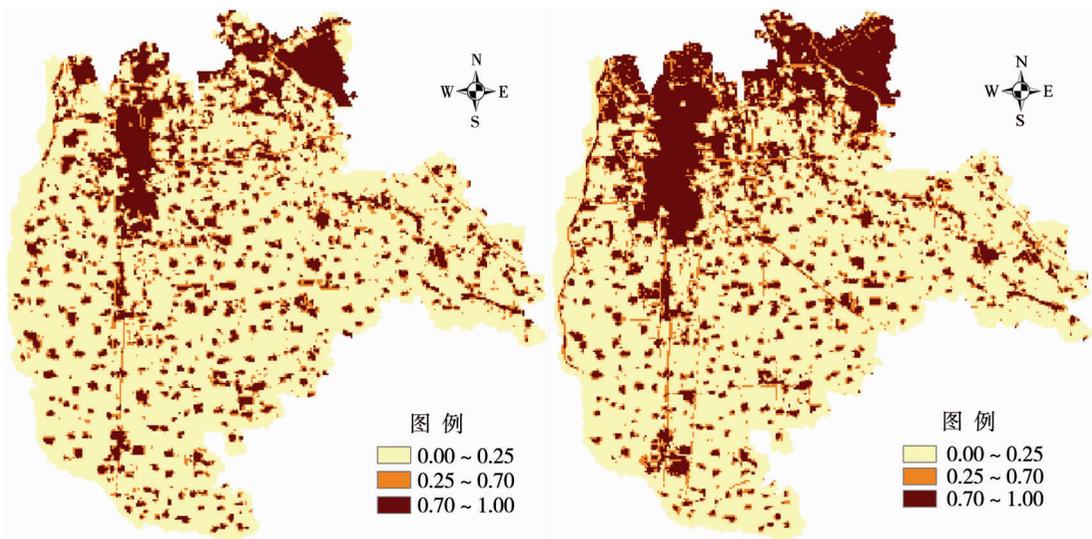


图 2 大兴区 2001 年(左)、2006 年(右)建设用地密度图

Fig.2 Built-up area density maps in 2001 and 2006 around Daxing District