

2000年以来宁波城市空间扩展特征及其驱动力分析

季顺伟^{1,2}, 马仁锋^{1,2}, 任丽燕^{1,2*}

(1.宁波大学 人文地理与城乡规划研究所, 浙江 宁波 315211;

2.宁波大学 宁波陆海空间利用与治理协同创新研究中心, 浙江 宁波 315211)

摘要: 基于遥感影像数据, 提取宁波城区土地利用数据, 从扩展速度与强度、紧凑度等方面分析城市空间扩展特征, 选取区位环境、人口社会、产业经济和政府决策四方面分析宁波城市扩展驱动力. 研究发现: (1)宁波主城区城市空间扩展存在明显阶段性, 2000~2005年空间快速扩张, 此后扩展强度缓和; 外延式扩展方式造成了城市形态复杂, 紧凑程度较差. (2)受制于地形影响, 城市空间向东沿交通干道呈现廊道式扩张; GDP和常住人口是城市空间扩张的决定性因素; 产业结构、政府投资微弱地影响城市扩展趋势.

关键词: 城市建成区; 城市化; 驱动力; 行政区划调整

中图分类号: TU982

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132(2021)02-0096-06

随着城市快速发展, 扩张成为中国城市化主要特征. 而城市外延扩张日益增强是中国一直面临的挑战. 因此, 探究城市扩张特征与机制, 引导和调节城市发展, 对于可持续发展具有重要意义. 城市空间结构探讨起源于20世纪20年代, Boyce等^[1]从地理学角度提出城市空间形态概念, 此后城市空间研究日益兴盛. 主要扩展形式有紧凑扩展和外延扩展, 紧凑扩展指城市内部空间填充或更新, 外延扩展指城市空间向外延伸, 学界探讨后认为“不可能发现城市空间扩展的最佳平衡状态”^[2], 因而需细化城市空间扩展过程. Camagni等^[3]提出填充、外延、交通线扩展、蔓延和“卫星城”5种扩展模式; 国内学者认为中国城市扩展以集中型同心圆扩张、沿主要对外交通轴线带状扩张、跳跃式组团扩张和低密度连续蔓延4种模式^[4]. 综合来看, 不同城市的扩展特征各不相同, 最终仍要关注城市个性, 以总结其扩展机制的普遍性. 20世纪80年代, 遥感技术的发展奠定了城市空间扩展研究数据的基础, Xian等^[5]利用遥感数据评估坦帕湾流域城市增长情况, Akintunde等^[6]研究尼日利亚乔斯大都会城市增长的时空模式. 判读方法也在不断

发展, 刘纪远等^[7]提出凸壳原理用以分类安徽省1990~2000城市用地扩展, 王新生等^[8]提出空间图形定量方法. 此外, 动力机制研究多采用多元回归、因子等统计方法^[9], 亟待进一步完善研究综合性与解释力^[10]. 时间跨度方面也逐渐关注长周期内容, 姚玉龙等^[11]分析了合肥市30年扩展过程, 李飞雪等^[12]研究了建国以来南京城市的扩展. 总体而言, 城市空间扩张研究缺乏特定城市化阶段典型案例, 多关注超大城市的空间结构和动力, 缺少海港特色城市和二、三线城市研究案例, 驱动力分析方面缺乏定量与定性相结合的深度解释.

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源及处理

本文选取宁波市2000年12月、2005年11月、2010年12月、2015年12月、2018年12月云量低于5%的Landsat4-5TM、Landsat-8OLI_TIRS遥感数据影像, 利用ENVI5.3对遥感影像进行几何校正、大气校正、降噪处理等预处理, 目视解译采用最大似然分类法进行监督分类, 将研究区域土地类型划分为建设用地、耕地、林地、水体、其他用

收稿日期: 2020-03-12.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41771174).

第一作者: 季顺伟(1997-), 男, 江苏盐城人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 经济地理与区域规划. E-mail: 1911073006@nbu.edu.cn

*通信作者: 任丽燕(1976-), 女, 山东淄博人, 博士/副教授, 主要研究方向: 土地资源管理. E-mail: renliyan@nbu.edu.cn

表1 城市扩展各指数的表述

城市扩展评价指标		公式	描述
扩展速率变量	扩展速率	$V = \frac{E_b - E_a}{T}$ (1)	城市空间扩展速率主要指年均扩展速率
	扩展强度	$M = \frac{E_b - E_a}{E_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$ (2)	扩展强度指数是指研究区域在研究时期内的城市用地扩展面积占用地总面积的百分比
扩展形态变量	紧凑度	$C = \frac{2\sqrt{\pi E}}{P}$ (3)	C 为城市紧凑度, E 为城市面积, P 为城市周长. 紧凑度与城市形状有关, 紧凑度越接近1, 表示城市空间越紧凑, 反之, 城市紧凑度越低空间离散程度就越大
	分维数	$D = \frac{2\ln(P/4)}{\ln E}$ (4)	D 为分维数, P 为城市周长, E 为城市面积. 空间的分维数可以描述城市边界形状的复杂性. 当 $D=1.5$ 时, 表征城市形态处于随机分布状态; 当 $D < 1.5$ 时, 城市形态趋于稳定; 当 $D > 1.5$ 时, 城市形态复杂

地. 对照非遥感信息, 结合野外实地调查和同年土地利用遥感监测图的建设用地进行精度检验, 提取宁波市建设用地面积、周长、重心等相关指标. 高程数据选取30m精度的DEM数据, 高速公路道路数据、主要水系、主要铁路数据从OSM获取. 在《宁波统计年鉴》《浙江统计年鉴》中选取人口、产业等社会经济数据分析驱动力.

1.2 研究方法

1.2.1 城市扩展评价指标

筛选城市空间扩张指标, 结合地理特征选取两类指标对宁波主城区的扩展进行描述(表1): 第一类为扩展速率指标, 包括城市空间扩展速度和扩展强度; 第二类为扩展形态指标, 包括城市空间形态的紧凑度和分形维数.

1.2.2 地理探测器

地理探测器是王劲峰等^[13]提出探测空间分异性并揭示驱动因子的一种统计学方法, 优点在于自变量之间无线性假设, 能够探讨社会经济现象背后的驱动力及各影响要素的交互作用. 它包括4个探测器: 因子探测、交互作用探测、风险区探测和生态探测. 本文利用因子探测来分析宁波城市空间扩展的要素^[13], 公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2}, \quad (5)$$

式中: h 表示变量 X 的数量; N 为研究区样本数; σ^2 为区域内总方差. q 的值域为 $[0,1]$, 数值越大, 说明样本的空间分异性越明显, 影响因素对城市空间扩展的解释力越强, 相反则越弱.

2 宁波中心城区空间扩展分析

2.1 扩展指数分析

计算得到宁波城市扩展强度变化. 发现2000~2018年, 建成区面积由252.0 km²扩大到680.8 km², 整体扩展强度为9.45%. 城市扩展迅速, 阶段性明显. 由表2数据可见: (1)2000~2005年是宁波城市扩展速率和强度最大的时期, 扩展速度0.42 km²·a⁻¹, 扩展强度16.67%. 新世纪以来, 城市化进程加快, 城市土地利用价值被挖掘, 随着宁波城市经济的快速发展, 城市建设用地需求明显增加. (2)2005~2010年, 扩展强度明显减缓. 城市总体规划强调限制城市规模无序扩张, 宁波城市扩展得到了明显控制. (3)2010~2015年, 扩展强度进一步减缓至2.82%, 处于低速扩展阶段, 城市功能逐渐完善, 东部地区加强与中心城区的联系. (4)2015~2018年, 宁波城市空间稳定扩展, 扩展强度为2.89%. 沿海工业带形成, 大批企业进入, 增加了用地需求.

表2 宁波市主城区城市建设用地变化

指标	2000~ 2005年	2005~ 2010年	2010~ 2015年	2015~ 2018年
扩展速度/ (km ² ·a ⁻¹)	0.42	17.34	15.50	18.07
扩展强度/%	16.67	3.75	2.82	2.89

通过式(3)、(4)计算得到表3, 可见城市整体分形维数较高, 形态复杂, 形状不规则, 紧凑度水平极低. (1)2000~2005年, 城市分维数从2.34降低到2.08, 紧凑度上升. 此阶段城市扩展以中心城区内

部填充为主,以提高城市形态的紧凑性,降低边界复杂性。(2)2005年以后,宁波城市扩展向东延伸,分维数上升至2.15,紧凑度也下降至0.023。说明东部地区呈现向外扩张的特征。2015年城市形态变化较小,2018年城市空间分维数升至2.30,紧凑度降至最低。城市离散程度加大,向外扩张态势明显。东部地区大量未开发利用土地转换为建设用地,扩张过程也是分散复杂,造成整个城市的紧凑度不断下降,城市形态越来越趋向于复杂不规则,而不规则扩展形态和分散的城市空间也降低了整个城市内部资源利用效率。

表3 宁波主城区城市空间形态变化情况

指标	2000年	2005年	2010年	2015年	2018年
面积/km ²	252.0	462.0	548.7	626.2	680.8
紧凑度	0.021	0.031	0.023	0.026	0.012
分维数	2.34	2.08	2.15	2.09	2.30

2.2 扩展过程分析

以2000年城市中心作为圆心,将宁波主城区分割成8个方向的区域(图1),计算每个方向上的建成区面积、扩展速度、扩展强度。由图2可见,(1)2000~2005年宁波城市空间主要扩展方向为东北和西南两个方向。东北方向上扩张强度为42.72%,西南方向上扩展强度为22.64%。扩展面积总和超过120 km²。期间开发区、科技园区和产业园的建立对城市建设用地提出了更大需求,具体集中在区位优势明显的鄞州和江东。(2)2005年后扩展速度减缓,但在正东方向上出现较大幅度增长,扩展强度为8.85%。2006版《宁波市城市总体规划》中明确指出合理控制城市规模,严禁在设立范围之外建立各类开发区和城市新区。此背景下,城市扩展明显减缓。(3)2010~2015年,宁波城市扩展主要以东、东南为主。正东方向上扩展强度为7.92%,东南方向上扩展强度为7.10%。沿海地区成为重点建设区域,镇海、北仑与三江口主城区组成宁波三片双心的组团式结构。(4)2015~2018年,东、东南、东北方向上以外延扩张为主,城市形态复杂,紧凑度下降。北仑区沿海港口地带吸引了大批企业的进入,增加了用地需求^[14]。这一时期的镇海、北仑同中心城区呈现融合趋势,联系更加紧密。

总体上,宁波城市空间呈现东西廊道式扩张、

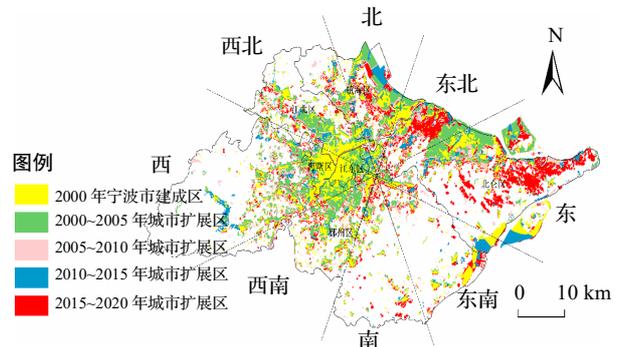


图1 宁波主城区建设用地扩展方位

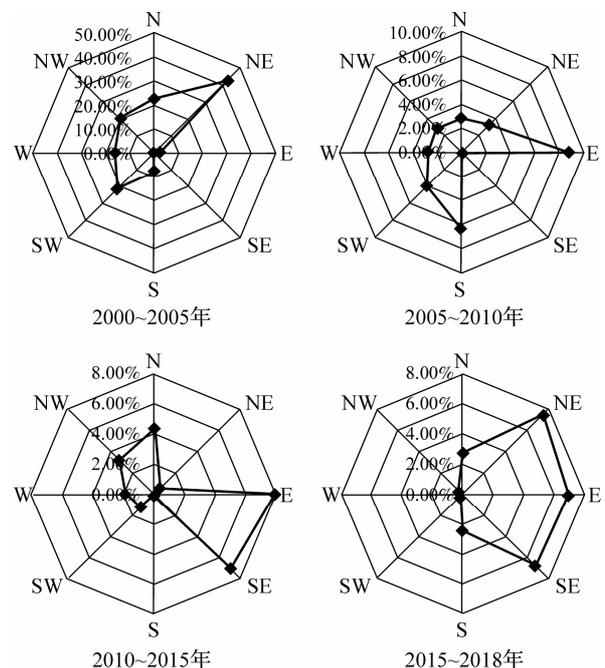


图2 宁波主城区各方向建设用地扩展强度阶段变化

条带状发展。自2005年以来,城市空间逐渐向东延伸,扩展态势明显。城市形态趋于复杂,对于城市内部功能的使用效率存在一定的削弱影响^[15]。

3 宁波中心城区扩展动力分析

在城市发展过程中,各因素产生了不同影响。参考已有研究^[16],选取地点区位、人口社会、产业经济和政府决策四个因素对宁波城市扩展的驱动力进行分析(表4)。

3.1 区位环境分析

区位环境因素决定了城市扩展的总体趋势,包含自然因子和邻域因子,其中自然因子包含高程、水系,邻域因子包含距高速公路距离、距铁路距离以及距城市中心距离。

表 4 宁波城市空间扩展指标体系

驱动因子	具体指标	单位
地点区位因素	高程 X_1	m
	距水系距离 X_2	m
	距城市中心距离 X_3	m
	距主要公路距离 X_4	m
	距主要铁路距离 X_5	m
人口社会因素	市区户籍人口 X_6	百万人
	常住人口 X_7	百万人
	城镇化率 X_8	%
产业经济因素	国民生产总值 X_9	亿元
	第一产业占比 X_{10}	%
	第二产业占比 X_{11}	%
	第三产业占比 X_{12}	%
政策规划因素	公共财政支出 X_{13}	亿元
	固定资产投资 X_{14}	亿元

叠加处理得到宁波城市空间扩展部分, 生成近邻表, 得到扩展空间到主要水系、城市中心、高速公路和主要铁路的距离(图 3), 利用自然断裂点分类法将其分为 5 类. 通过地理探测器分析区位环境因子的驱动力作用大小, 扩展区位因子 q 值越大, 表示该因子对城市扩展的驱动力作用越大(表 5).

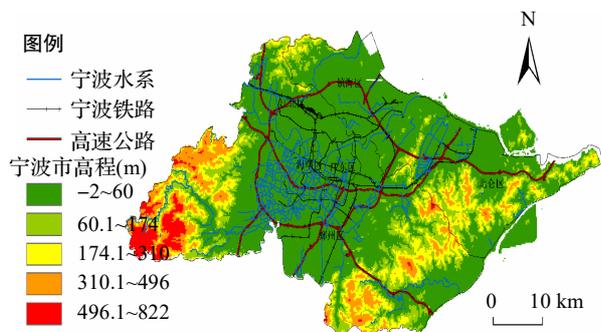


图 3 城市空间扩展区位环境因素

表 5 城市空间扩展区位因子 q 值

项目	q 数值
高程	0.280 942
距水系的距离	0.077 903
距城市中心距离	0.004 968
距高速公路距离	0.185 604
距主要铁路距离	0.160 217

扩展区位因子 q 值的大小依次是高程、距高速公路距离、距铁路距离、距水系距离和距城中心距离. 高程的影响体现在城市扩展发生在海拔较低

的地区. 宁波地形西南高、东北低, 西部以低山丘陵地区为主, 东南部等地分布低山丘陵港湾. 东北和中部的甬江流域平原是宁波的经济和政治中心. 城西受地形的限制, 以内部填充为主, 东部地区扩张集中于镇海和北仑, 因此距城中心距离影响较小, 其次是距高速公路距离, 交通的建设有利于沿线土地的开发, 加快城市扩张. 宁波城市扩展与绕城高速的建设开通步伐一致, 道路的完善提高了资源配置效率, 也带动了周边地区发展. 虽然铁路的开通在也一定程度上促进了周边土地利用类型的转换, 但影响程度不如公路距离影响明显.

3.2 社会经济分析

以宁波市建设用地面积作为因变量(Y), 选取驱动因子中人为社会因素市区户籍人口(X_6), 常住人口(X_7), 城镇化率(X_8), 国民生产总值(X_9), 第一产业占比(X_{10}), 第二产业占比(X_{11}), 第三产业占比(X_{12}), 公共财政支出(X_{13}), 固定资产投资(X_{14})作为自变量进行多元线性逐步回归, 且优先选择城市扩展的主要社会经济驱动因素. 建立回归方程, $R^2=0.994$, 显著性水平小于 0.05, 回归效果良好. 具体公式如下:

$$Y = 0.014X_9 + 0.399X_7 - 104.034.$$

通过回归分析得出, 宁波城市空间扩展的决定性因素为国民生产总值和常住人口. GDP 反映宁波经济发展状况, 是城市扩展的基础. 常住人口的不断增加带来的用地压力驱动了城市的不断扩展. 由于影响宁波城市扩展的社会经济因素众多, 以下从市场、社会和政府三方面具体分析.

3.2.1 产业经济

宁波市 GDP 从 2000 年 1175.75 亿元跃升到 2018 年 10745.5 亿元, 产业结构变化推动了城市扩展. 第二产业是宁波主导产业, 占比超 50%. 通过分析宁波市建设用地面积与产业结构相关性(图 4), 城市扩展与第一产业占比相关系数高达 0.997 0, 且方程系数为负数, 表明农业用地转换为建设用地. 二、三产业比重相近, 相关性分别为 0.551 3 和 0.834 7, 工业是宁波主导产业, 沿海工业用地的增加扩张了城市面积. 第三产业比重逐渐上升, 服务行业用地增加也是宁波城市扩展原因之一.

3.2.2 人口社会

宁波市城市常住人口迅速从 628.4 万增至 820.2

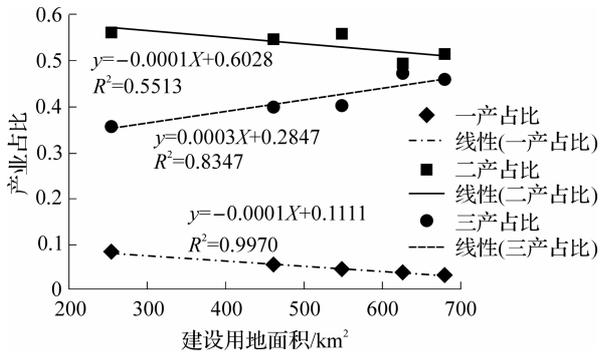


图4 城市扩展与产业结构相关性分析

万. 大量劳动力向城市转移, 扩展过程中的土地利用结构发生改变, 使众多农业人口转变为非农业人口. 分析宁波市建成区面积与市区人口和常住人口的关系(图 5), 发现城市扩展与常住人口关系十分密切, 存在明显正相关, 相关系数达到 0.9394 和 0.9541, 即城市的扩展会随着人口增加而不断增加, 人口压力带来大量用地需求, 因此, 人口因素是衡量宁波城市扩展因素的重要指标.

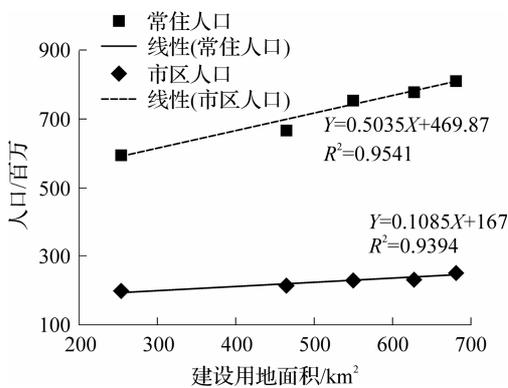


图5 宁波城市扩展与人口增长相关性分析

3.2.3 政策与规划

政府决策和规划引导了城市发展方向和速度的变化. 在 1986 版宁波城市总体规划中首次提出了宁波老市区、镇海发展区和北仑开发区的三片区发展模式. 1999 版规划中明确宁波重要港口城市、长江三角洲南翼经济中心和历史文化名城的城市性质. 1998~2002 年进行旧城改造和新城的开发. 加之鄞县撤县并区, 对宁波城市的扩展存在客观贡献. 此后伴随着城市功能的完善, 交通基础设施的建设, 东扩步伐加快, 沿江沿交通线向东轴向延伸. 2006 年城市总体规划强调调整城市发展规模, 构建组团式城市结构, 加强了镇海、北仑与中心城

区的联系. 2018 年提出“2049 城市发展战略”, 根据当前宁波扩展趋势, 锁定空间资源和发展规模, 强调优化空间格局, 以完善主城区的集聚核心功能. 城市的扩展离不开政策支持, 不同时期的政策和规划引导着宁波城市扩展的方向和速度. 图 6 显示, 公共财政支出、固定资产投资这两项和城市建设用地的相关系数分别为 0.5679 和 0.6094, 与城市空间扩展呈现正相关的关系, 对于城市的发展具有显著的促进作用.

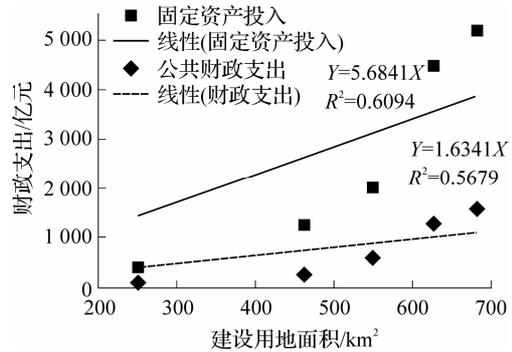


图6 城市扩展与政府投资相关性分析

4 结论

城市空间扩展研究对当今有重要意义, 本文分析宁波城市扩展过程和城市扩展形态, 挖掘宁波城市空间扩展的特征及规律.

(1)城市整体扩张阶段性明显, 2000~2005 年是城市扩展速度和强度最大的时期. 此后扩展速度和强度大幅回落, 城市形态趋于复杂和分散. (2)宁波城市空间扩展以东西条带状发展. 早期方向为东北和西南, 2006 年后向东地区延伸. 镇海、北仑与中心城区形成组团式结构. 近年东扩幅度更加明显, 三片区呈现融合趋势, 联系更加紧密. (3)受制于地形, 城市向东随着交通设施的完善而进行沿线扩张. GDP 和常住人口是决定性因素, 同时产业结构、政策投资均对城市扩展有影响.

宁波城市快速扩张导致城市形态复杂, 降低了城市内部资源的利用效率. 加强镇海、北仑与中心城区的联系, 完善城市空间扩展形态是未来宁波城市发展的方向. 本文仅从宏观层面研究宁波市主城区的城市空间演变过程, 未能结合不同阶段用地的比例探讨内部空间扩展的合理性, 未来需进一步整理城市内部不同功能用地资料, 以丰

富城市空间结构的变化研究.

参考文献:

- [1] Boyce R R, Clark W A V. The concept of shape in geography[J]. *The Geographical Review*, 1964, 54(4): 561-572.
- [2] Stone P A. *The Structure Size and Costs of Urban Settlements*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1975.
- [3] Camagni R, Gibelli M C, Rigamonti P. Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion[J]. *Ecological Economics*, 2002, 40(2):199-216.
- [4] 杨荣南, 张雪莲. 城市空间扩展的动力机制与模式研究[J]. *地域研究与开发*, 1997, 97(2):203-215.
- [5] Xian G, Crane M. Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 97 (2):203-215.
- [6] Akintunde J A, Adzandeh E A, Fabiyi O O. Spatio-temporal pattern of urban growth in Jos Metropolis, Nigeria[J]. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2016, 4:44-54.
- [7] 刘纪远, 王新生, 庄大方, 等. 凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别[J]. *地理学报*, 2003, 58(6):885-892.
- [8] 王新生, 刘纪远, 庄大方, 等. 中国特大城市空间形态变化的时空特征[J]. *地理学报*, 2005, 60(3):392-400.
- [9] 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[J]. *地理学报*, 2007, 62(4):437-447.
- [10] 马仁锋, 沈玉芳, 刘曙华. 1949年以来工业化与城市化动力机制研究进展[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(5):110-117.
- [11] 姚玉龙, 刘普幸, 陈丽丽, 等. 近30年来合肥市城市扩展遥感分析[J]. *经济地理*, 2013, 33(9):65-72.
- [12] 李飞雪, 李满春, 刘永学, 等. 建国以来南京城市扩展研究[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(4):524-535.
- [13] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1):116-134.
- [14] 马仁锋, 王美, 张文忠, 等. 临港石化集聚对城镇人居环境影响的居民感知——宁波镇海案例[J]. *地理研究*, 2015, 34(4):729-739.
- [15] 王益澄, 马仁锋, 孙东波. 宁波—舟山都市区结构的多维测度[J]. *宁波大学学报(理工版)*, 2015, 28(2):63-68.
- [16] 肖琳, 田光进. 天津城市扩展空间模式与驱动机制研究[J]. *资源科学*, 2014, 36(7):1327-1335.

Spatial expansion characteristics of Ningbo city and its driving forces since 2000

Ji Shunwei^{1,2}, MA Renfeng^{1,2}, REN Liyan^{1,2*}

(1. Institute of Human Geography and Urban-Rural Planning, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. Ningbo Land and Marine Spatial Utilization and Governance Collaborative Innovation Center, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The land use data of Ningbo urban area is extracted from the remote sensing image database to analyze the spatial expansion characteristics of the city in terms of expansion speed, intensity and compactness. The four aspects, including location environment, population and society, industry and economy, and government decision, are selected to study the driving forces of urban expansion in Ningbo. The study finds that: (1) Ningbo's urban spatial expansion is advanced in a phase-wise manner, with rapid spatial expansion from 2000 to 2005, followed by a slow expanding momentum; the outward expansion results in complex urban patterns and poor space-planning. (2) Due to the influence of topography, the urban space expands corridor-like to the east with the improvement of transportation facilities; GDP and resident population are the decisive factors of urban spatial expansion, while industrial structure and investment less influence the momentum of urban expansion.

Key words: urban expansion; urbanization; driving forces; administrative division adjustment

(责任编辑 章践立)