

王成新, 窦旺胜, 程钰, 等. 快速城市化阶段济南城市空间扩展及驱动力研究 [J]. 地理科学, 2020, 40(9): 1513-1521. [Wang Chengxin, Dou Wangsheng, Cheng Yu et al. Spatial expansion and driving force of Jinan City in the stage of rapid urbanization. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(9): 1513-1521.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2020.09.013

快速城市化阶段济南城市空间扩展及驱动力研究

王成新, 窦旺胜, 程钰, 刘凯

(山东师范大学地理与环境学院/“人地协调与绿色发展”山东省高校协同创新中心, 山东 济南 250358)

摘要: 基于济南市 1992 年、2000 年、2010 年、2018 年 Landsat 遥感影像数据, 借助 ArcGIS、ENVI 等图像分析工具, 提取济南城市建成区, 从扩展速度、强度、分形维数、紧凑度、重心转移等方面探究济南城市空间扩展的时空变化过程、特征, 运用地理加权逻辑回归方法对济南城市空间扩展驱动力进行分析。结果表明: ① 济南城市空间扩展经历“中强低速”“高强中速”“低强高速”3 个阶段, 城市形态趋于稳定, 城市形状呈现东西向条带状分布格局, 紧凑度较差; ② 1992—2018 年济南城市空间向 E、NEE、NE 方向扩展最为显著, 扩展方式以外延扩张与内部填充为主, 城市空间分布重心东移态势明显; ③ 济南城市空间扩展受多重驱动因子影响, 主驱动因子为距城市建成区距离、距主要公路距离、地区生产总值、城镇化率、人口密度等。

关键词: 城市空间; 扩展特征; 驱动因子; 济南市

中图分类号: F293.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2020)09-1513-09

城市是人地关系作用最强烈的地区之一, 城市不断变化的空间形态深刻地反映了人类活动对城市用地影响的过程与格局。改革开放以来, 在经济高速发展和人口快速增长的背景下, 城市化进程不断加快, 城市用地规模扩大, 扩张态势显著, 部分城市甚至呈现出无序扩张、土地利用效益低下、“摊大饼”式蔓延的态势^[1,2]。系统剖析已经进入稳定发展阶段的大城市, 研究其在快速城市化阶段的空间扩展过程、特征、规律及其驱动因素, 不仅有助于合理制定城市未来发展规划, 有效引导和调控城市化进程, 促进城市高质量可持续发展, 而且能够为尚处于快速城市化阶段的城市发展提供参考和借鉴。

城市空间研究始于 20 世纪 20 年代的西方发达国家, 城市空间领域经典理论、空间扩展的过程、规律、影响机制及优化调控等研究成果较为丰富, 理论体系较为健全, 研究方法 with 理论呈现出多学科交叉融合的趋势^[3-5]。相比之下, 国内对于城市空间的研究起步较晚, 在基础理论研究方面, 多以

引入西方城市空间基本理论与注重中国城市空间结构一般规律和模型总结为主, 评述性、综述性研究较多, 原创性理论较少^[6]。在实证研究方面, 国内学者借助 RS、GIS 技术对城市空间扩展及驱动力进行了大量研究工作。从研究内容来看, 城市空间扩展主要借助城市的土地利用/覆被变化来刻画, 以城市建成区为研究范围来探讨城市扩展过程、扩展效应、驱动机制、优化路径等, 但多用单一指标进行描述, 缺乏从多指标、全方面的角度刻画城市空间扩展^[7,8]。从研究方法来看, 主要利用土地利用数据、遥感影像数据, 借助 RS、GIS 等技术手段, 解译城市建设用地, 提取城市建成区来分析城市空间扩展历程、规律特征, 常见模型和方法有分形理论、空间句法、系统动力学等, 但在驱动力分析上多以定性分析为主, 较为缺乏定量与定性相结合的驱动力分析^[9-11]。从研究尺度来看, 空间尺度上多以研究我国超大城市的空间结构及演化机制为主, 如北京、上海等空间扩展剧烈、城市特色鲜明的地区, 对区域性中心城市空间扩展关注度不

收稿日期: 2019-08-11; **修订日期:** 2019-11-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871121)、山东省重点研究计划项目(2017GSF22102)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41871121), Shandong Provincial Key Research Project (2017GSF22102).]

作者简介: 王成新(1971-), 男, 山东新泰人, 教授, 博导, 主要从事区域发展与城市规划研究。E-mail: 404122665@qq.com

通讯作者: 窦旺胜。E-mail: dwsheng26@qq.com

高;时间尺度上主要以 10 a、5 a 跨度进行研究,缺乏对特定城市化阶段的城市空间扩展研究,且在驱动力的分析中,多以整体时间跨度进行研究,缺少对不同阶段的城市空间扩展驱动力辨析^[12,13]。

济南市位于山东省中西部,是山东省省会、环渤海地区南翼中心城市、国家历史文化名城。1992 年济南城市化率达到 30.21%,进入快速城市化阶段。2017 年济南城市化率突破 70%,达到 70.53%。截至 2018 年末,全市常住人口 746.04 万人,城市化率较去年上升了 1.57 个百分点,达到 72.10%^[14]。自 2017 年济南进入城市化成熟发展阶段。近年来,已有学者对济南城市空间扩张开展研究,但时间跨度短,且缺少对城市空间扩展驱动力的定量识别及演化分析^[15]。综上,本文以济南市为研究对象,以 1992 年、2000 年、2010 年、2018 年 4 个时相的遥感影像为数据源,从城市空间扩展速度、强度、分形维数、紧凑度、重心转移等多角度揭示济南城市空间扩展过程、分析扩展特征,并在此基础上采用地理加权逻辑回归方法,研究城市扩展主要驱动力,并进一步分析不同时间段驱动力的差异性,探讨驱动机理。以期为济南有效引导城市扩展,提高城市空间利用效率,保障城市可持续发展提供科学支撑。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源及处理

根据济南市进入快速城市化阶段、稳定城市化阶段以及济南城市总体规划中的起止年份(源自于济南市人民政府颁布的 1980—2000 年、1996—2010 年《济南市城市总体规划》(<http://www.jinan.gov.cn/>)),城市空间数据选取济南市 1992 年 5 月、2000 年 5 月、2010 年 10 月、2018 年 3 月无云或少云的 4 期 Landsat4-5、8TM 遥感影像数据,在 ENVI 支持下对 4 期遥感影像图进行几何精校正、降噪处理、大气校正等预处理,利用支持向量机(SVM)和目视解译等监督分类方法,将研究区土地利用类型划分为建设用地、耕地、林地、水体、其他用地并进行精度检验及与同年土地利用现状遥感监测图中城市建设用地斑块进行有效匹配,在 ArcGIS10.5 环境中,提取大范围、连片式济南市城市建成区将其矢量化,并统计其面积、周长,计算相关指标指数、分布重心。

结合国内学者研究经验,根据数据的科学性、

可获取性、代表性等原则,从《济南统计年鉴》^[14]中选取经济发展水平、人口规模等方面的社会经济数据进行城市空间扩展的驱动因素研究。

1.2 研究方法

1) 城市空间扩展指标。扩展速度与扩展强度是定量研究城市空间扩展的重要指标,表征不同时间段内城市空间扩展的绝对差异及相对差异^[11]。分形维数是刻画城市形态、反映城市生长的标度指数^[16],选取边界维数测度城市形态扩张。紧凑度反映城市内部和外部整体的空间布局情况,与城市地域的几何形状有关^[11]。空间重心的动态迁移反映空间要素分布的总体变化趋势,城市空间分布重心轨迹变化可反映城市空间扩展的时空过程和规律^[17]。

2) 地理加权逻辑回归。地理加权逻辑回归模型(Geographically weighted logistic regression, GW-LR)是在 logistic 模型基础上进行的扩展,将 GWR 模型与 logistic 模型进行融合,既可适应于因变量为分类变量时影响因素的分析,又可借助局部而不是全局的参数估计以探索各驱动因素的空间差异性及时期影响因素的相对大小,其实质是利用基于距离加权的局部样本估计出每个样本点各自独立的参数值^[18-20]。将解译后各时期起止年份的济南城区图进行栅格运算,得城市建设用地变化值 Y , Y 取值 0、1,例如 1992—2000 年由非城市建设用地变为城市建设用地部分的栅格赋值为 1,未变化的赋值为 0。

2 济南城市空间扩展分析

城市空间扩展部分应包括新增城市建设用地部分及原有零星城市建设用地自身扩展与建成区连成一片部分,即外延扩张与内部填充^[21]。通过解译出城市建设用地,提取集中连片式建成区,通过扩展速度、扩展强度、分形维数、紧凑度及重心转移分析济南城市空间扩展特征及一般规律。

2.1 扩展强度分析

1992—2018 年间,济南城市建成区面积由 110.31 km² 增加到 470.08 km²,扩展速度为 13.83 km²/a,扩展强度为 12.54%,城市空间总体处于快速扩张状态,并呈现出明显的阶段性特征(表 1)。

① 1992—2000 年,济南城市建成区面积增加 61.14 km²,扩展强度为 6.39%,扩展速度为 3 个阶段最低,仅为 7.64 km²/a,这一阶段属于城市空间

表 1 1992—2018 年济南城市空间扩展指标

Table 1 Urban spatial expansion index of Jinan (1992-2018)

扩展指标	1992—2000年	2001—2010年	2011—2018年	
扩展速度/(km ² /a)	7.64	12.71	21.45	
扩展强度/%	6.39	7.41	4.56	
	1992年	2000年	2010年	2018年
分形维数	1.35	1.26	1.32	1.28
紧凑度	0.39	0.46	0.35	0.38

扩展的“中强低速”阶段,城市空间整体扩展规模较小。这一时期中国处于经济发展与改革的战略持续推进阶段,“小城镇、大战略”成为当时城镇化道路的首选。在此背景下,城市土地改革慢于农村,济南市也明确提出市区内不再扩建和新建大、中型项目,城市用地需求总体较小。② 2001—2010年,济南城市建成区面积扩展 127.08 km²,扩展面积为上一阶段的 2 倍多,扩展强度达 7.41%,为 3 个阶段最高值,扩展速度为 12.71 km²/a,处于“高强中速”发展阶段,城市扩展强度较上一阶段明显增大。进入新世纪以来,城市化进程加快,城市土地价值被挖掘,新城建设及用地扩张具有拉动经济增长的作用。随着济南经济的快速发展,城市建设用地需求明显增加。③ 2011—2018年,济南城市建成区增加面积为 3 个阶段最大值,达到 171.57 km²,扩展强度较上一阶段有所减缓,为 4.56%,扩展速度继续增大,高达 21.45 km²/a,这一阶段处于“低强高速”扩展阶段,城市扩展态势明显。随着济南“四个中心”“现代泉城”城市发展建设战略的提出,城市功能不断完善,城市建设不断加快。

2.2 扩展形态分析

济南城市建成区的分形维数及紧凑度阶段性特征明显(表 1),城市形态、紧凑程度变化不一。1992 年济南城市空间的分形维数为 1.35,为 4 a 的最大值,城市形态稳定性相对较差;紧凑度为 0.39,城市空间紧凑度较差。2000 年城市空间分形维数下降迅速,由 1.35 下降到了 1.26,为 4 a 的最低值,城市形态趋于稳定;紧凑度值上升至 0.46,处于 4 a 峰值。可见,1992—2000 年济南城市空间形态整体趋于紧凑和稳定状态,城市扩张以内部填充及近邻发展为主。2010 年城市空间分形维数为 1.32,较之 2000 年有明显回升,城市形态趋于

复杂;紧凑度值下降至 0.35,整体呈现以向外部扩张为主的形态特征。2001—2010 年,城市形态趋于复杂化、非紧凑特征,城市扩展态势较上一时期明显,城市离散程度加大,趋向随机分布状态。2018 年济南城市空间分形维数下降至 1.28,城市形态趋向稳定状态;紧凑度小幅上升至 0.38,城市空间紧凑度加强。2011—2018 年,济南城市空间形态较上一时期表现为稳定型、紧凑化特征,城市内部资源利用效率增加。

2.3 扩展过程分析

在 ArcGIS10.5 中,以 1992 年济南城市建成区重心为原点,以东偏北 11°15′为起点,设置一定半径,画出 16 个大小相同的扇形区域,并将其转换为面文件。将矢量化后的 4 期城市建成区与 16 个扇形区域相交,进一步将城市建成区划分为 16 个夹角相等的扇形,统计并计算 16 个方位上的城市建成区面积、扩展速度、强度(图 1)。总体来看,1992—2018 年济南城市空间向 E、NEE、NE 方向扩展最为明显,其中,向 E 方向扩展面积最大,达 70.01 km²,NEE 方向扩展强度最大,达 29.4%;SSE 方向扩展面积最小,仅为 0.36 km²,扩展强度为 0.005%。为进一步研究济南城市空间扩展的时空演变特征,通过划分 3 个阶段后的各阶段扩展强度雷达图与主要扩展方向进行深入分析(图 2)。

济南城市建成区不同时间段的扩展强度、扩展方向存在显著性差异(图 2)。结合提取的各时段城市空间形态(图 1),可以看出:

1) 1992—2000 年, S、NNE 为济南城市空间主要扩展方向,扩展强度分别为 36.40%、26.66%,以内部填充为主要扩展方式,土地集约利用度较高。这一时期,济南高新技术开发区于 1991 年在济南市区东部设立,高新区的建设增大了城市内部用地需求。同时,随着济南经济发展的需要,一

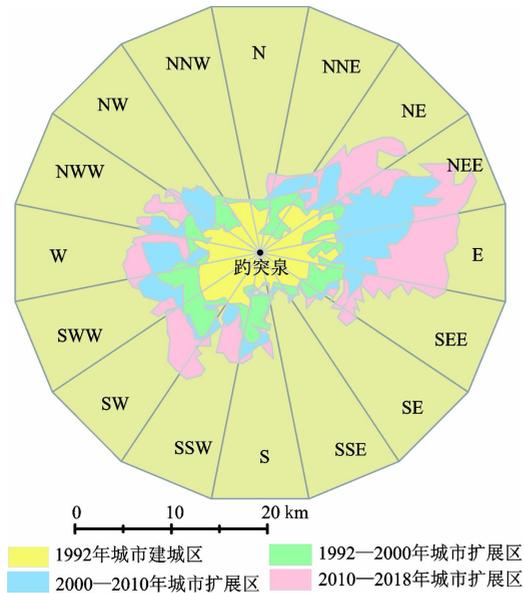


图1 济南城市建成区等扇分析

Fig.1 Fan analysis map of Jinan urban built-up area

批具有代表性的以机械、轻纺工业为重点的大中型企业在济南建立,形成了以化纤工业为主的七里河工业区、以汽车制造为主的党家庄工业区以及以冶金、轻纺为主的王舍人工业区等三大工业区,工业区的兴起对相应城市建设用地提出了更大的需求。

2) 2001—2010年,济南城市空间主要扩展方向为NEE、E、W、NE方向较上一时期扩展也较为明显,扩展强度分别为23.87%、16.03%、13.67%、10.75%,以外部扩张为主要扩展方式。随着第十一届“全运会”的召开、济南西站的建设以及济南市城市空间发展战略中“东拓、西进”的指引,济南城市建成区向东西两向扩展态势明显,经十路的

升级拓建更是加剧了这一扩展态势。

3) 2011—2018年NE、SSW、SW等方向较上一时段扩展态势明显,扩展指数分别为16.71%、12.52%、8.99%,E向仍保持着较高的扩展强度,这一时期外延扩张与内部填充并重,城市形态集中连片。在济南市“东拓、西进、南控、北跨、中优”的城市空间发展战略指引下,济南城区建设形成了以点带线、以线带面、重点片区优先建设的发展思路。“东拓、西进”效果明显,“南控”效果开始凸显,S向扩展强度由2.11%下降到1.70%,SSE向城市建设用地出现缩减,“北跨”步伐缓慢,N向扩展强度由0增加到2.15%,但随着黄河北岸济南新旧动能转换先行区的建设,N向扩展态势未来将更加明显。总体来看,受南部山区、北部黄河等生态敏感区的制约,济南城市空间长期以东西条带状组团式发展为主。

城市空间分布重心轨迹能进一步反映城市空间扩展方向变化。1992—2018年济南城市空间整体向东扩展态势明显,重心转移距离表现出先减小后增加的趋势。1992—2000年济南城市空间重心向西南转移631m,城市空间向西南扩展态势明显,其主要得益于西南部济南经济开发区的发展;2000—2010年城市空间开始明显向东北方向扩展,重心转移距离为2096m,随着济南“东拓、西进”的城市发展战略及城市内部用地结构和布局的调整,这一时期济南城市建设向“东西两翼”开展,进入“第一轮城市建设高潮”,在王舍人工业区、高新区的基础上,济南中心城市外围的东部组团发展较为明显;2010—2018年城市空间进一步向东部扩展,重心转移2152m,且转移速度均超过前2

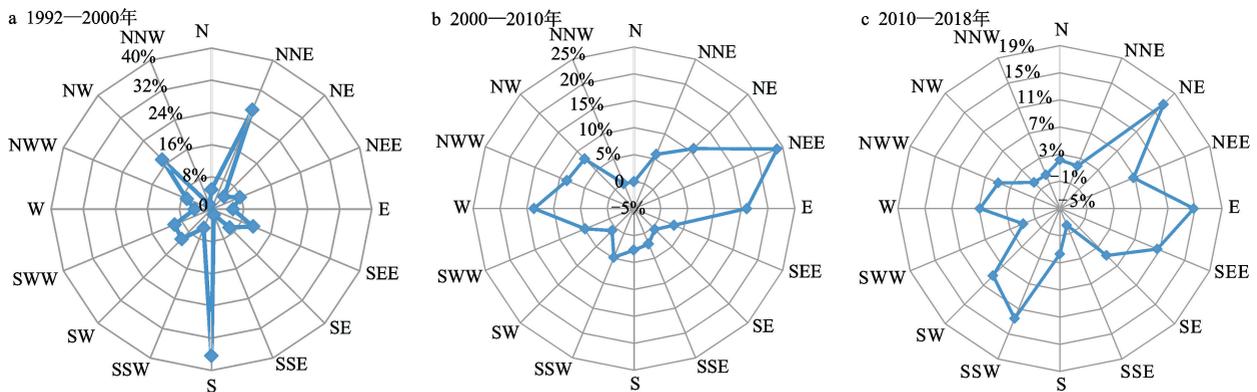


图2 济南城市建成区各方向扩展强度阶段变化

Fig.2 The direction of the jinan city proper strength phase change

个时期,城市建设进入“第二轮高潮”。经过 20 多年的发展,伴随新旧动能转换需要,高新区成为济南市高新技术产业集聚中心,城市建设逐步趋向产城融合的空间发展模式,也进一步推动着城市空间重心的东移。

3 济南城市空间扩展驱动力分析

为进一步识别济南城市空间扩展的主要驱动力及不同时期驱动力的差异性,结合济南城市空间扩展的实际情况及相关研究^[22-24],从自然区位因子及社会经济因子两大驱动因子出发,选取可能影响济南城市空间扩展的驱动因子,并构建指标体系(表 2)。自然区位因子由自然因子和邻域因子组成。自然因子是城市空间扩展的基底,影响城市开发建设成本,选取高程、坡度指标;邻域因子可反映可达性对城市空间扩展的影响,由于交通便利,区域位置优越,越靠近各级道路和城市周边的土地,开发潜力可能越高,选取距城市建成区距离、距主要公路距离、距主要铁路距离等指标,通过 Open Street Map 获取济南城市路网,结合主要公路、铁路通车时间,确定各时期相应公路、铁路。社会经济因子由人口因子、产业因子、经济因子组成。人口增长、产业集聚、投资驱动均可增加对城市建设用地的需求,人口因子选取各区人口密度及城镇化率指标来表征,产业因子选取各区第三产业与第二产业产值指标,经济因子选取各区地区生产总值及公共财政支出指标。在城市扩展的

表 2 济南城市空间扩展驱动因素指标体系

Table 2 Index system of urban spatial expansion drivers in Jinan

一级驱动因子	二级驱动因子	具体指标
自然区位因子	自然因子	高程
		坡度
	邻域因子	距城市建成区距离
		距主要公路距离
		距主要铁路距离
社会经济因子	人口因子	人口密度
		城镇化率
	产业因子	二产产值
		三产产值
	经济因子	地区生产总值
		公共财政支出

16 个方向中,各方向分别随机选取 100 个城市建设用地转变值($Y=1$)与未转变值($Y=0$)的栅格,将其城市建设用地转变值($Y=1$ 或 $Y=0$)及各驱动因子指标值赋予点上,最后导出以便计算。

为防止各自变量之间存在共线性,影响回归结果,对各自变量进行相关性分析,剔除共线变量。将各自变量两两进行相关性分析^[18],发现高程与坡度的相关性系数为 0.76,二产产值与地区生产总值的相关系数为 0.72,三产产值与地区生产总值的相关系数为 0.61,其余变量之间相关系数均小于 0.6,将坡度、二产产值、三产产值等指标剔除,对剩余变量进行地理加权逻辑回归。经地理加权逻辑回归计算各时期相应驱动因子参数估计值,所得系数均通过 0.05 水平的显著性检验,为进一步分析济南城市空间扩展主要驱动力,对每一阶段驱动因子系数统计均值,从宏观上识别济南城市空间扩展主要驱动力及各时期驱动因子(表 3)。从全域水平上看,进入快速城市化阶段以来,济南城市空间扩展驱动因子主要以距城市建成区距离、距主要公路距离、地区生产总值、城镇化率、人口密度为主。从不同时间段看,各时期驱动因子大小存在明显差异,1992—2000 年以人口密度、距城市建成区距离为主要驱动因子;2000—2010 年济南城市空间扩展驱动因子以城镇化率、人口密度为主;2010—2018 年主要以地区生产总值、城镇化率为主。

3.1 自然区位因子分析

自然区位驱动因子中,距城市建成区距离对城市空间扩展影响最大(表 3),距城市建成区距离反映了城市空间扩展受城市政策影响及公共服务

表 3 各时期主要驱动因子系数平均值

Table 3 The average value of the main driving factor coefficients in each period

驱动因子	1992—2000年	2000—2010年	2010—2018年
高程	-0.721	-0.784	-0.826
距城市建成区距离	-1.261	-1.462	-1.565
距主要公路距离	-1.077	-1.439	-1.331
距主要铁路距离	-0.629	-0.894	-0.817
人口密度	1.298	1.572	1.705
城镇化率	0.955	1.691	1.922
地区生产总值	1.175	1.483	2.141
公共财政支出	0.831	1.266	1.352

辐射的难易程度。济南城市空间扩展以边缘扩张及内部填充为主,距离城市建成区越近的区域,受城市社会经济活动辐射程度越高,从而自身社会经济活动强度加大,城市空间扩展越容易发生,如城中村改造、城边村拆迁等。距主要公路距离对城市空间扩展影响较大,重要交通干线对城市空间扩展具有明显的牵引作用,交通基础设施建设有利于加大沿线土地开发强度、加速城市化进程、加快城市空间扩展、提高资源配置效率、带动周边地区发展。1992年以来,济南道路建设发展迅速,尤以经十路、二环东路、奥体中路对济南城市空间扩展影响最为显著。2005年济南市对经十路起止点进行变更,全长90 km的经十路拉开了济南东西向发展的序幕,带动了沿线10余个片区的发展,成为济南市城市发展的大动脉,2000—2010年距主要公路距离较其他2个时期对济南城市空间扩展影响强度最大。二环东路串联城市内外部交通,强有力地带动了燕山片区、奥体中心、政务中心的建设与发展。奥体中路是连接城市中心、城市副中心、新旧动能转换先行区的交通中轴,带动了东部城区的发展。距主要铁路距离对城市空间扩展影响强度虽呈波动上升趋势,但影响较小,随着京沪高铁的开通以及济南西站、济南东站的投入使用,一定程度上促进了周边土地利用类型的转换,推进了西部城区、东部城区建设,但对济南城市空间扩展影响程度不如距主要公路距离影响显著。高程对济南城市空间扩展影响最小,对城市空间扩展限制强度越来越大,济南地势南高北低,南部山区多为泉水涵养地、生态保护区,且S、SSE方向扩张强度逐年减小,自然因素是决定城市发展空间与发展潜力的基础条件,在较短时间尺度内,自然因素对城市空间扩展影响较小,主要起限制与约束作用。

3.2 社会经济因子分析

社会经济发展是城市空间扩展与外部形态演变的重要驱动力。地区生产总值是一个国家或地区综合经济实力的重要体现,经济总量的提升是保障城市可持续发展和综合竞争力的基础。地区生产总值对济南城市空间扩展起正向驱动作用,影响强度显著上升,济南市经济发展在一定程度上依赖于城市土地资源的投入,城市土地资源具备更高的土地使用价值及实际产出能力,且经济水平提升又会增加土地需求,尤其是城市建设用

地需求,会进一步促使其他用地向城市建设用地转化。人口向城市集聚对城市空间扩展具有较强的推动力,人口密度与城镇化率是反映人口在城市集聚程度及城市发展水平的重要指标,城镇化率的提高是人口向城区集中的结果。随着济南经济社会的快速发展,大量人口涌入城市,人口的集聚加大了济南城市空间承载压力,促使城市通过扩展自身空间满足人口密度提升带来的用地需求,从而协调好人口城镇化与土地城镇化两者的关系。同时为满足人们对美好生活的向往,保障生活质量,道路与交通设施用地、商业服务业用地、绿地广场用地等需求及利用强度也将不断增加。公共财政支出是地区发展的重要保障,对城市建设、城市发展投入越大,越有利于促进城市空间规模扩展。公共财政支出能反映济南市对开发区建设、大学城建设及有关重点项目的支持程度,公共财政支出对济南城市空间扩展影响强度逐年提升,通过提高一般公共服务支出、教育支出、交通运输支出、社会保障和就业支出、城乡建设支出等,有利于提高城市管理水平,促使城市空间有序扩展。

4 结论与讨论

4.1 结论

1) 快速城市化时期济南城市空间扩展具有明显的阶段性特征。从扩展强度与速度来看,济南城市空间扩展经历了“中强低速”“高强中速”“低强高速”3个扩展阶段,扩展速度始终呈上升趋势。从扩展形态来看,分形维数阶段性特征较为明显,分形维数在不同阶段变化幅度较大,但近年来呈下降趋势,城市形态趋于稳定状态;紧凑度整体变化幅度较小,从紧凑度变化趋势来看,城市形态趋于紧凑,但从紧凑度指标的具体数值来看,济南城市形状紧凑度较差,这与济南的东西向狭长空间扩展形态有关。

2) 从扩展过程来看,不同阶段的扩展方向不一,1992—2000年以S、NNE为主要扩展方向,2001—2010年以NEE、E为主要扩展方向,2011—2018年主要扩展方向为NE、SSW,城市空间重心东移态势显著,整体来看,济南向E向扩展面积最大,NEE向扩展强度最大,SSE向扩展面积、强度最小,这也符合济南“东拓、西进、南控、北跨、中优”的城市空间发展战略,同时也分析了不同阶段扩展方向的成因。

3) 从驱动因素来看, 济南城市空间扩展受多因子影响, 主要二级驱动因子为邻域因子、人口因子、经济因子, 具体为距城市建成区距离、距主要公路距离、地区生产总值、城镇化率、人口密度, 深入分析了各驱动因子的驱动机制。未来济南城市空间扩展需注重人口城镇化率与土地城镇化率相协调, 合理控制增量, 优化存量, 有序推进城市空间扩展。

4.2 讨论

总体来看, 城市空间扩展是城市化进程及城市外部形态、空间结构变化的外在映射, 研究城市空间扩展, 尤其是快速城市化阶段的大城市空间扩展有助于揭示城市空间演化特征、规律及驱动机制, 为城市规划建设提供理论依据。由于自然地理条件及社会经济发展水平不同, 不同城市空间扩展规律也不尽相同。相较于其他省会城市, 济南城市空间扩展过程及驱动力既有一定的相似性, 也表现出其特殊性。同时期广州、南京、武汉、厦门等城市以多中心团状扩展为主, 城市扩展规模大, 西安、长春、昆明等城市呈现单中心团块式扩展^[25], 而济南受南部山区、北部黄河等生态保护区的限制, 以东西向条带状扩展为主, 扩展规模较小, 尚未形成多中心城市空间结构, 东部城区、西部城区中心性不明显, 中心城区承载压力较大, “北跨”效果并不显著。但随着济南新旧动能转换先行区的发展, 以北部先行区为先导, 未来应处理好“北跨”与城市空间结构调整的关系, 实现跨河发展, 在现有条带状空间扩展形态的基础上, 打造“组团布局、多中心支撑”的城市空间结构。快速城市化时期大城市空间扩展驱动力多体现在经济发展对用地需求、城市化水平提升对用地需求、地形限制、交通牵引、政策引导、行政区划调整等多方面, 多以“市场力、行政力”共同驱动为主^[26,27]。济南空间扩展现以“市场力”驱动为主, 随着近年来济南行政区划调整, 未来“行政力”将进一步影响济南城市空间扩展。本文主要从宏观层面出发研究城市空间整体演变过程, 未来需进一步整理有关城市内部不同功能用地资料, 力争从城市内部探索不同城市功能用地空间布局对城市空间扩展的影响, 丰富城市空间结构研究; 在驱动因子探索上, 需将区域政策、城市规划纳入评价指标体系, 系统揭示城市空间扩展驱动机理, 这也将是本文进一步关注的方向。

参考文献(References):

- [1] 吴一凡, 刘彦随, 李裕瑞. 中国人口与土地城镇化时空耦合特征及驱动机制[J]. 地理学报, 2018, 73(10): 1865-1879. [Wu Yifan, Liu Yansui, Li Yurui. Spatio-temporal coupling of demographic-landscape urbanization and its driving forces in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(10): 1865-1879.]
- [2] 张鹏, 张栩嘉, 刘勇, 等. 基于土地开发强度的长春市城市空间效率分异研究[J]. 地理科学, 2018, 38(6): 895-902. [Zhang Peng, Zhang Xujia, Liu Yong et al. Diversity of urban spatial efficiency based on the land development intensity in Changchun City. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(6): 895-902.]
- [3] Hoyt H. One hundred ears of land values in Chicago[M]. New York: Arno Press, 1970.
- [4] Anastasios Polydoros, Constantinos Cartalis. Assessing the impact of urban expansion to the state of thermal environment of peri-urban areas using indices[J]. *Urban Climate*, 2015, 14(12): 166-175.
- [5] Alice Colsaet, Yann Laurans, Harold Levrel. What drives land take and urban land expansion? A systematic review[J]. *Land Use Policy*, 2018, 79(12): 339-349.
- [6] 高金龙, 陈江龙, 苏曦. 中国城市扩张态势与驱动机理研究学派综述[J]. 地理科学进展, 2013, 32(5): 743-754. [Gao Jinlong, Chen Jianglong, Su Xi. Urban expansion and its driving mechanism in China: From three main schools' perspectives. *Progress in Geography*, 2013, 32(5): 743-754.]
- [7] 詹庆明, 岳亚飞, 肖映辉. 武汉市建成区扩展演变与规划实施验证[J]. 城市规划, 2018, 42(3): 63-71. [Zhan Qingming, Yue Yafei, Xiao Yinghui. Evolution of built-up and area expansion and verification of planning implementation in Wuhan. *City Planning Review*, 2018, 42(3): 63-71.]
- [8] 邓羽, 司月芳. 北京市城区扩展的空间格局与影响因素[J]. 地理研究, 2015, 34(12): 2247-2256. [Deng Yu, Si Yuefang. The spatial pattern and influence factors of urban expansion: A case study of Beijing. *Geographical Research*, 2015, 34(12): 2247-2256.]
- [9] 刘稼丰, 焦利民, 董婷, 等. 一种新的城市景观扩张过程测度方法: 多阶邻接度指数[J]. 地理科学, 2018, 38(11): 1741-1749. [Liu Jiafeng, Jiao Limin, Dong Ting et al. A novel measure approach of expansion process of urban landscape: Multi-order adjacency index. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(11): 1741-1749.]
- [10] 焦利民, 杨璐迪, 刘稼丰, 等. 顾及城市空间结构信息的元胞自动机模型构建及其应用[J]. 地理科学, 2019, 39(8): 1276-1283. [Jiao Limin, Yang Ludi, Liu Jiafeng et al. Construction and application of cellular automata model based on urban spatial structure information. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(8): 1276-1283.]
- [11] 徐焕, 付碧宏, 郭强, 等. 西咸一体化过程与城市扩展研究[J]. 遥感学报, 2018, 22(2): 347-359. [Xu Huan, Fu Bihong, Guo

- Qiang et al. Temporal-spatial growth pattern and driving forces of urban expansion in Xi'an over past 30 years. *Journal of Remote Sensing*, 2018, 22(2): 347-359.]
- [12] 王成新. 结构解读与发展转型[M]. 北京: 人民出版社, 2017. [Wang Chengxin. Structural interpretation and development transformation. Beijing: People's Publishing House, 2017.]
- [13] 张童, 姚士谋, 胡伟平, 等. 基于交通可达性的广佛都市区城市扩展的模拟与分析[J]. *地理科学*, 2018, 38(5): 737-746. [Zhang Tong, Yao Shimou, Hu Weiping et al. Simulation of urban expansion in Guangzhou-Foshan metropolitan area under the influence of accessibility. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(5): 737-746.]
- [14] 济南市统计局. 济南统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2018. [Jinan Statistics Bureau. Jinan statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2001-2018]
- [15] 凌晓春, 祝明然, 郑伟安, 等. 基于地理国情数据的济南城市空间扩展研究[J]. *地理空间信息*, 2018, 16(6): 27-31+7. [Ling Xiaochun, Zhu Mingran, Zheng Weian et al. Research on urban spatial expansion of Jinan City based on geographical conditions data. *Geospatial Information*, 2018, 16(6): 27-31+7.]
- [16] 张凤, 陈彦光, 李晓松. 京津冀城市生长和形态的径向维数分析[J]. *地理科学进展*, 2019, 38(1): 65-76. [Zhang Feng, Chen Yanguang, Li Xiaosong. Radial dimension analysis of growth and form of cities in the Beijing-Tianjin-Hebei region. *Progress in Geography*, 2019, 38(1): 65-76.]
- [17] 谭雪兰, 欧阳巧玲, 江喆, 等. 基于RS/GIS的长沙市城市空间扩展及影响因素[J]. *经济地理*, 2017, 37(3): 81-85. [Tan Xuelan, Ouyang Qiaoling, Jiang Zhe et al. Urban spatial expansion and its influence factors based on RS/GIS: A case study in Changsha. *Economic Geography*, 2017, 37(3): 81-85.]
- [18] 吴巍, 周生路, 魏也华, 等. 城乡结合部土地资源城镇化的空间驱动模式分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(16): 220-228. [Wu Wei, Zhou Shenglu, Wei Yehua et al. Modeling spatial determinants of land urbanization in urban fringe. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(16): 220-228.]
- [19] Felix Ndidi Nkeki, Monday Ohi Asikhia. Geographically weighted logistic regression approach to explore the spatial variability in travel behaviour and built environment interactions: Accounting simultaneously for demographic and socioeconomic characteristics[J]. *Applied Geography*, 2019, 108(5): 47-63.
- [20] Abolghasem Azhdari, Mohammad Ali Sasani, Ali Soltani. Exploring the relationship between spatial driving forces of urban expansion and socioeconomic segregation: The case of Shiraz[J]. *Habitat International*, 2018, 81(9): 33-44.
- [21] 陆张维, 徐丽华, 吴次芳, 等. 基于凸壳原理的杭州城市扩展形态演化分析[J]. *地理科学*, 2015, 35(12): 1533-1541. [Lu Zhangwei, Xu Lihua, Wu Cifang et al. The evolution of urban expansion morphology in Hangzhou based on principle of convex hull. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(12): 1533-1541.]
- [22] 李进涛, 刘彦随, 杨园园, 等. 1985-2015年京津冀地区城市建设用地时空演变特征及驱动因素研究[J]. *地理研究*, 2018, 37(1): 37-52. [Li Jintao, Liu Yansui, Yang Yuanyuan et al. Spatial-temporal characteristics and driving factors of urban construction land in Beijing-Tianjin-Hebei region during 1985-2015. *Geographical Research*, 2018, 37(1): 37-52.]
- [23] 李春林, 刘淼, 胡远满, 等. 基于增强回归树和Logistic回归的城市扩展驱动力分析[J]. *生态学报*, 2014, 34(3): 727-737. [Li Chunlin, Liu Miao, Hu Yuanman et al. Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(3): 727-737.]
- [24] 冯浩城, 杨青山. 基于遥感数据的建三江垦区城镇化用地扩张时空特征及驱动力分析[J]. *地理科学*, 2017, 37(8): 1178-1185. [Feng Haocheng, Yang Qingshan. Spatio-temporal characteristics of urban expansion and its driving forces based remote sensing data in Jiansanjiang reclamation area. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(8): 1178-1185.]
- [25] 周春山, 叶昌东. 中国特大城市空间增长特征及其原因分析[J]. *地理学报*, 2013, 68(6): 728-738. [Zhou Chunshan, Ye Changdong. Features and causes of urban spatial growth in Chinese metropolises. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(6): 728-738.]
- [26] 王绍博, 罗小龙, 顾宗倪, 等. 精明增长背景下上海城市空间扩展演变特征与驱动机制[J]. *经济地理*, 2019, 39(6): 58-65. [Wang Shaobo, Luo Xiaolong, Gu Zongni et al. Urban space expansion characteristics and driving mechanism evolution of Shanghai under the background of smart growth. *Economic Geography*, 2019, 39(6): 58-65.]
- [27] 陈好凡, 王开泳. 撤县(市)设区对城市空间扩展的影响机理——以杭州市为例[J]. *地理研究*, 2019, 38(2): 221-234. [Chen Yufan Wang Kaiyong. Influence and mechanism of 'Turning Counties (Cities) into Districts' on urban space expansion: Taking Hangzhou as a case study. *Geographical Research*, 2019, 38(2): 221-234.]

Spatial Expansion and Driving Force of Jinan City in the Stage of Rapid Urbanization

Wang Chengxin, Dou Wangsheng, Cheng Yu, Liu Kai

(College of Geography and Environment, Collaborative Innovation Center of Human-Nature and Green Development in Universities of Shandong, Shandong Normal University, Jinan 250358, Shandong, China)

Abstract: Urban spatial expansion is the external mapping of urbanization process, urban external form and spatial structure change. The study of urban spatial expansion, especially the urban spatial expansion in the rapid urbanization stage, can help reveal the characteristics, rules and driving mechanism of urban spatial evolution, and provide theoretical basis for urban planning and construction. Based on Landsat remote sensing image data of Jinan in 1992, 2000, 2010 and 2018, ArcGIS and ENVI image analysis tools were used in this paper. This paper by extracts the built-up area of Jinan city, explores the spatiotemporal change process and characteristics of the spatial expansion of Jinan city from the aspects of expansion speed, intensity, fractal dimension, compactness, and center of gravity transfer. From the aspects of natural location and social economy, factors that may affect urban space expansion are selected, The study analyzes the driving force of the spatial expansion of Jinan by using the geographic weighted logistic regression. The results show that: 1) The urban space expansion in Jinan experienced three stages: ‘medium-strength and low-speed’, ‘high-strength and medium-speed’, and ‘low-strength and high-speed’, The external shape of the city tends to be stable, and the urban shape presents a strip pattern of east-west distribution with poor compactness. 2) Jinan urban space expanded most significantly towards E, NEE and NE in 1992 to 2018. The expansion mode was dominated by extension expansion and internal filling, and the center of gravity of urban spatial distribution shifted significantly to the east. 3) The spatial expansion of Jinan is affected by multiple driving factors, the main driving factors are distance from the built-up area of the city, distance from the main highway, Gross Domestic Product, urbanization rate, population density. The driving mechanism of each main driving factor is different. The closer the area is to the urban built-up area, the higher the radiation degree of urban social and economic activities will be, and the urban space expansion will be more likely to occur. The construction of transportation infrastructure is conducive to increasing the intensity of land development along the routes, accelerating the process of urbanization, accelerating the expansion of urban space, improving the efficiency of resource allocation and driving the development of surrounding areas. To some extent, the economic development of Jinan depends on the input of urban land resources, which have higher land use value and actual output capacity. The agglomeration of population increases the bearing pressure of urban space in Jinan, and urges the city to expand its own space to meet the land demand brought by the increase of population density. 4) Compared with other provincial capitals, Jinan has a relatively small scale of urban space expansion and has not yet formed a multi-center urban space structure. The centrality of the eastern and western urban areas is not obvious, and the central urban area bears great pressure, the effect of ‘northern span’ is not significant. In the future, Jinan needs to build an urban spatial structure of ‘group layout and multi-center support’ on the basis of the existing strip spatial expansion.

Key words: urban space; extended features; driving factor; Jinan City