

高度城市化地区建设用地扩展及其驱动力分析 ——以深圳市为例

王宏亮^{1,2,3,4} 高艺宁^{2,5} 吴健生^{1,2,6,†} 王娜^{1,3} 赵宇豪^{1,6} 彭子凤³ 王仰麟⁶

1. 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055;
2. 自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室, 深圳 518040; 3. 深圳市规划国土房产信息中心,
深圳 518044; 4. 内蒙古大学公共管理学院, 呼和浩特 010070; 5. 内蒙古师范大学科技处, 呼和浩特
010022; 6. 北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871;

† 通信作者, E-mail: wujs@pku.edu.cn

摘要 基于年度土地利用变更调查数据, 通过分析城市建设用地的时空变化、扩展强度和景观格局, 探究深圳市1996—2016年城市建设用地扩展过程及其特征, 揭示高度城市化地区城市建设用地扩展的空间分异, 并采用回归分析模型, 探讨社会经济因素对建设用地扩展的驱动机制, 得到如下结果: 1) 深圳市建设用地扩展呈持续增长趋势, 新增建设用地扩展模式差异显著, 福田区和罗湖区以内部填充为主, 南山区和宝安区以外扩展为主; 2) 不同区域的建设用地扩展强度与景观格局指数的差异变化表明, 建设用地空间扩展正从无序、同质化、低效蔓延, 逐步向有序、异质化、高效利用转变; 3) 社会经济因素与建设用地扩展均显著正相关, 常住人口的回归系数最大(0.578), 固定资产投资额的回归系数最小(0.000), 皮尔森相关性排序为常住人口>产业结构>GDP>固定资产投资额, 说明人口对于建设用地扩展起决定性作用, 固定资产投资体现为连接功能。

关键词 建设用地扩展; 景观格局; 驱动力; 高度城市化; 深圳市

Construction Land Expansion and Its Driving Force in Highly Urbanization Areas: A Case Study of Shenzhen City

WANG Hongliang^{1,2,3,4}, GAO Yining^{2,5}, WU Jiansheng^{1,2,6,†}, WANG Na^{1,3}, ZHAO Yuhao^{1,6},
PENG Zifeng³, WANG Yanglin⁶

1. Key Laboratory for Urban Habitat Environmental Science and Technology, School of Urban Planning and Design, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055; 2. Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Natural Resources, Shenzhen 518040; 3. Shenzhen Municipal Planning and Land Real Estate Information Center, Shenzhen 518044; 4. School of Public Administration, Inner Mongolia University, Hohhot 010070; 5. Science and Technology Management Office, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022; 6. Key Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871;

† Corresponding author, E-mail: wujs@pku.edu.cn

Abstract Based on the survey data of land use change, this paper studies the process and characteristics of urban construction land expansion in Shenzhen from 1996 to 2016 by analyzing the spatial and temporal changes, expansion intensity and landscape pattern of urban construction land, and reveals the spatial differentiation of urban construction land expansion in highly urbanized areas. Regression analysis model is used to explore the driving mechanism of social and economic factors on the expansion of construction land. The results show that the

expansion of construction land in Shenzhen presents a continuous growth trend, and the expansion mode of new construction land is significantly different. Futian District and Luohu District are mainly expanded by interior filling, while Nanshan District and Baoan District are mainly expanded by external expansion. The difference between construction land extension intensity in different regions and the index of landscape pattern indicates that the spatial expansion of construction land is gradually changing from disorder, homogeneity, inefficient spread to orderly, heterogeneous and efficient utilization. Social and economic factors have a significant positive correlation with construction land expansion. The regression coefficient of resident population is the largest (0.578), and that of fixed assets investment is the smallest (0.000). Pearson correlation ranking is Resident population > Industrial structure > GDP > Fixed asset investment, indicating that population plays a decisive role in the expansion of construction land, and fixed asset investment is embodied in the function of connection.

Key words construction land expansion; landscape pattern; driving force; high urbanization; Shenzhen city

建设用地扩展是全世界城市发展的主题,经济和人口的迅速增长加剧了建设用地扩展的规模^[1-2]。作为土地利用变化的核心内容之一,城市建设用地变化过程是人类利用土地的策略、模式及意志在城市建设中的体现。由于社会经济、地域文化以及意识形态的差异,不同城市的建设用地扩展过程差距较大^[3-4]。科学地认识城市建设用地扩展变化的特征规律、利用模式以及驱动机制,对制定城市发展策略并落实用地管控措施意义重大^[5]。随着我国城镇化进程的快速推进,城市建设用地扩展引发一系列资源环境问题^[6],如耕地侵占^[7]、植被破坏^[8]和土壤侵蚀^[9]等对生态环境造成压力,交通拥堵^[10]、城市内涝^[11]和黑臭水体^[12]等对城市治理带来阻碍,疾病传播^[13]、大气污染^[14]和贸易冲突^[15]等对城市健康构成威胁。这些问题不仅降低城市管理的服务水平,还影响人居环境的改善和区域福祉的提升^[16]。因此,研究建设用地扩展的过程、格局和机制,对提高城市空间治理能力和促进城市高质量发展具有一定的参考价值。

目前,有关建设用地扩展及其驱动力的研究较为丰富,可以概括为基于不同扩展模式^[17-19]、不同发展阶段^[20-22]、不同研究尺度^[23-24]以及不同技术方法^[25-27]的建设用地扩展研究。总体而言,建设用地扩展及其驱动力研究不仅丰富了城市地理学、土地管理学等学科领域的理论成果,也促进了国土空间治理由理论探索向实践应用的转变,但仍存在两方面的不足。一是值得借鉴的经验城市并不多见。针对我国最具城市活力的建设用地扩展研究,尤其是应对资源和人口双重压力下的建设用地扩展模式研究,深圳市具有一定的借鉴意义。二是受数据获取的限制,连续地反映城市建设用地扩展变化的研究较少。类似深圳这种土地面积仅有 1997 km² 的高密度人口城市,采用遥感影像解译或夜间灯光等传

统方式进行数据测算,可能导致小尺度研究结果存有偏差,不利于城市建设用地扩展过程和分异规律的解读。本研究采用连续年份的土地利用变更调查数据,准确地识别和统计研究区的建设用地空间分布和用地规模。

改革开放 40 年,深圳市经历了快速工业化和城镇化阶段,城市发展和人居环境位居我国前列,成为具有世界级影响力的创新城市。相对于其他城市用地的无序蔓延或低密度开发,深圳市建设用地扩展采用的是立体化、高密度和紧凑式的土地利用模式。这种有利于城市可持续发展的用地模式,对城市生态建设和高质量发展有重要意义。定量地描述深圳市建设用地的扩展过程,厘清建设用地扩展的驱动机理,是本研究的创新价值所在。本文采用年度土地利用变更调查数据,对深圳市 1996—2016 年城市建设用地扩展的时空变化、扩展强度和景观格局进行分析,揭示建设用地扩展的动态过程和分布特征。采用线性回归模型探讨社会经济因素对建设用地扩展的影响,以期加深对高度城市化地区建设用地变化规律的认知。

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

深圳市(22°27'—22°52'N, 113°46'—114°37'E)位于我国广东省南部,东临大亚湾,西连珠江口,北依莲花山脉西部余脉,南接九龙半岛,属于亚热带季风气候,年均降雨量为 1933.3 mm。截至 2019 年底,深圳市总面积约为 1997 km²,全市下辖 10 个行政区,地区生产总值为 26927.09 亿元,全市年末常住人口为 1343.88 万。

改革开放 40 年来,深圳市从一个小渔村发展成国际大都市,从传统农业区转变为全域城市化区,创造了“深圳速度”的城市化奇迹。随着社会主义先

行示范区的设立,深圳市的城市建设正向“深圳质量”的城市化目标迈进。

1.2 数据来源及处理

深圳市土地利用现状数据来源于深圳市土地利用变更调查资料,社会经济数据来源于1997—2017年《深圳市统计年鉴》。土地利用现状数据包括1996—2016年各年度的土地利用变更调查成果以及2009年第二次调查成果。2009年以后,深圳市实行土地利用和城市用地统一调查制度,同步收集年度土地利用现状数据和城市用地分类现状数据。由于不同时期的数据在行政边界、坐标投影和土地分类等方面存有差异,因此本文以2016年深圳市行政区界线为标准,统一行政边界,并采用ArcGIS10.2软件对不同时期数据进行投影变换和分类转换,得到如图1所示的土地利用分类图。本研究的建设用地是依据国家标准《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017),将商服用地、工矿仓储用地、住宅用地、公共管理与公共服务用地、特殊用地、部分交通运输用地、部分水域及水利设施用地,以及城镇、村、工矿内部的空闲地归并至建设用地及其他用地类型。

2 研究方法

2.1 空间扩展分析

城市建设用地扩展是城市化过程在空间结构上的反映。建设用地扩展强度指数(EII)是反映建设用

地空间扩展强弱或快慢的指标,其实质是对研究区建设用地的年均扩展程度进行标准化处理,使不同时期建设用地的扩展程度具有可比性^[28],计算公式如下:

$$EII = \frac{U_b - U_a}{U} \times \frac{1}{T} \times 100\%, \quad (1)$$

式中, U 表示所研究的空间单元的面积, U_a 和 U_b 分别代表前后两个时期同一空间单元内的建设用地面积, T 表示两个时期的间隔时间。扩展强度指数的取值范围为 $-1 \sim 1$,对非相邻年份进行分析计算时,取值范围还会进一步缩小。本文按照高速扩展(扩展强度 $>25\%$)、中速扩展($10\% < \text{扩展强度} \leq 25\%$)和低速扩展(扩展强度 $\leq 10\%$)3个类别,对建设用地的扩展强度进行分类。

2.2 景观格局指数

景观格局指数通常用于表达景观的空间结构,既是景观异质性的体现,又是包括干扰在内的各种生态过程在不同尺度上作用的结果^[29-30]。本研究采用景观破碎度和景观紧凑度来分析建设用地斑块景观格局特征。其中,景观破碎度用于表征景观被分割的破碎程度,反映景观空间结构的复杂性变化,可以在一定程度上说明人类对于景观的干扰程度^[31];景观紧凑度(BCI)是Batty^[32]提出的用于反映斑块分布形态的指标,是目前城市形态研究中使用最为广泛的指标之一,在本研究中用于反映城

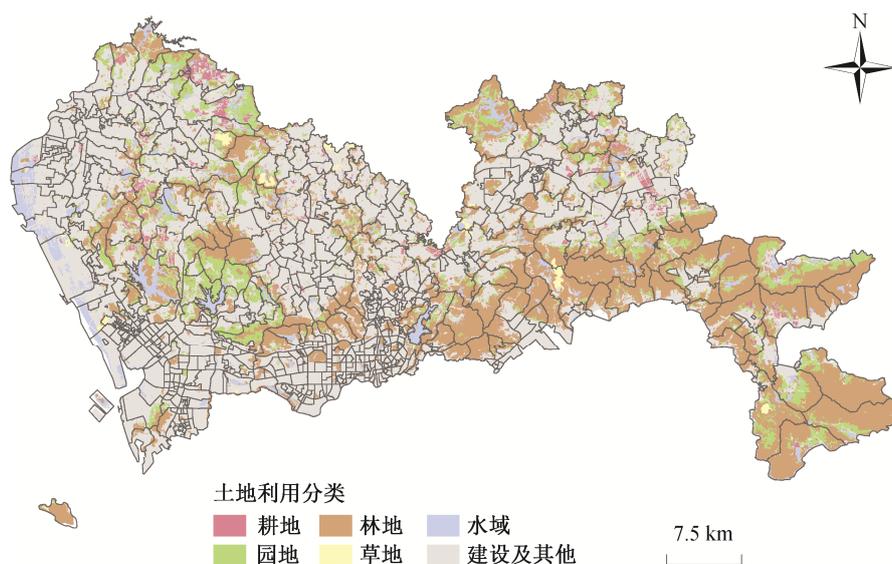


图1 深圳市2016年土地利用分类

Fig. 1 Classification map of land use in Shenzhen in 2016

市建设用地空间格局的聚散性变化^[28]。景观破碎度 C_i 和景观紧凑度的计算公式分别如式(2)和(3)所示。

$$C_i = \frac{N_i}{A_i}, \quad (2)$$

式中, N_i 为景观的斑块数, A_i 为景观的总面积。在建设用地总面积不变的前提下, 随着斑块数的增加, 建设用地景观破碎度也增加, 反映研究区内建设用地斑块由单一化向复杂化转变的趋势。

$$BCI = \frac{2\sqrt{\pi U}}{P}, \quad (3)$$

式中, U 为斑块总面积, P 为斑块总周长。紧凑度与斑块的面积大小或距离长度无关, 只与斑块的几何形状有关。景观紧凑度的取值范围为 0~1, 当 BCI 趋近于 1 时, 表示某种斑块类型分布越集中; 当 BCI 趋近于 0 时, 表示该种斑块类型分布越松散。

2.3 驱动力分析

驱动力分析是建设用地扩展研究的核心内容, 不仅能揭示建设用地扩展的因果关系, 还能预估未来建设用地扩展的趋势, 对制定建设用地管控措施具有重要作用^[33-34]。建设用地扩展模式主要受自然因素、社会因素、区位因素和政策因素影响。本研究着重讨论建设用地扩展与社会经济因素之间的关系, 将经济发展、人口数量、产业结构和固定资产投资等指标与建设用地面积进行线性回归分析,

构建的回归模型如下:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \mu_i, \quad (4)$$

式中, y_i 为因变量, x_i 为自变量, μ_i 为随机误差项, β_0 为常数项, β_1 为回归系数。

3 结果与分析

3.1 建设用地扩展的时空变化分析

如图 2 所示, 深圳市建设用地扩展呈持续增长趋势, 从 1996 年的 546.54 km² 增长到 2016 年的 985.82 km², 增幅约为 80.37%。在建设用地面积扩展中, 宝安区增量最大, 光明区增幅最大。另外, 深圳市建设用地扩展具有明显的阶段性, 可划分为快速发展(1996—2008 年)和稳步增长(2008—2016 年)两个阶段。快速发展阶段, 深圳市建设用地面积增加约 384.98 km², 增幅约为 70.44%; 稳步增长阶段, 建设用地面积增加约 54.3 km², 增幅约为 5.83%。稳步增长阶段的建设用地扩展速度明显放缓, 且城市建成水平显著提升。这是由于福田、罗湖、南山和盐田等特区关内的区域发展逐步成熟, 可供开发的土地面积有限, 建设用地利用方式正从外延扩展向存量发展转变。

深圳市新增建设用地扩展模式具有明显的区域差异。其中, 福田区和罗湖区以内部填充为主, 南山区和宝安区以外扩展为主。尤其是稳步增长阶段, 受行政范围和政策管控影响, 福田区和罗湖区

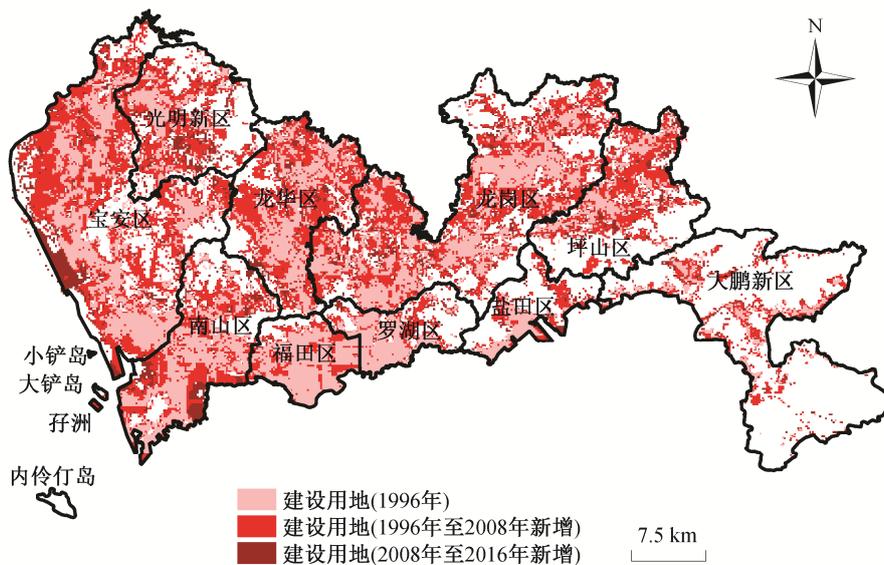


图 2 1996—2016 年建设用地分布变化
Fig. 2 Distribution change of construction land from 1996 to 2016

的建设用地扩展模式主要采用内部挖潜作为技术手段,如福田区中心公园的连片建设,即采用孔洞填充模式;与此相对,南山区主要采用填海开发的外部扩展模式,集中分布在前海和深圳湾周边;宝安区则以土地扩张为代表,主要分布在北部工业区和宝安机场建设区。

3.2 建设用地扩展的空间强度分析

本文采用 ArcGIS 10.2 软件的 Fishnet 功能,生成 1000 m×1000 m 的标准网格单元。考虑到空间数据的可用性,建设用地变化量选择 2002—2008 年和

2008—2016 年两个阶段,分别计算两个阶段对应单元格内的建设用地面积。结合式(1)计算出扩展强度,分级结果如图 3 所示。

从图 3 可以看出,不同区域的建设用地扩展强度存在差异。宝安、光明、龙华、龙岗和坪山等北部地区的中、高速扩展单元占比普遍在 30%~40% 之间;福田、罗湖、盐田、大鹏和南山等南部地区的中、高速扩展单元占比不及北部地区的一半,说明北部地区的建设用地扩展强度明显超过南部。2002—2008 年建设用地扩展强度的低速扩展型、中

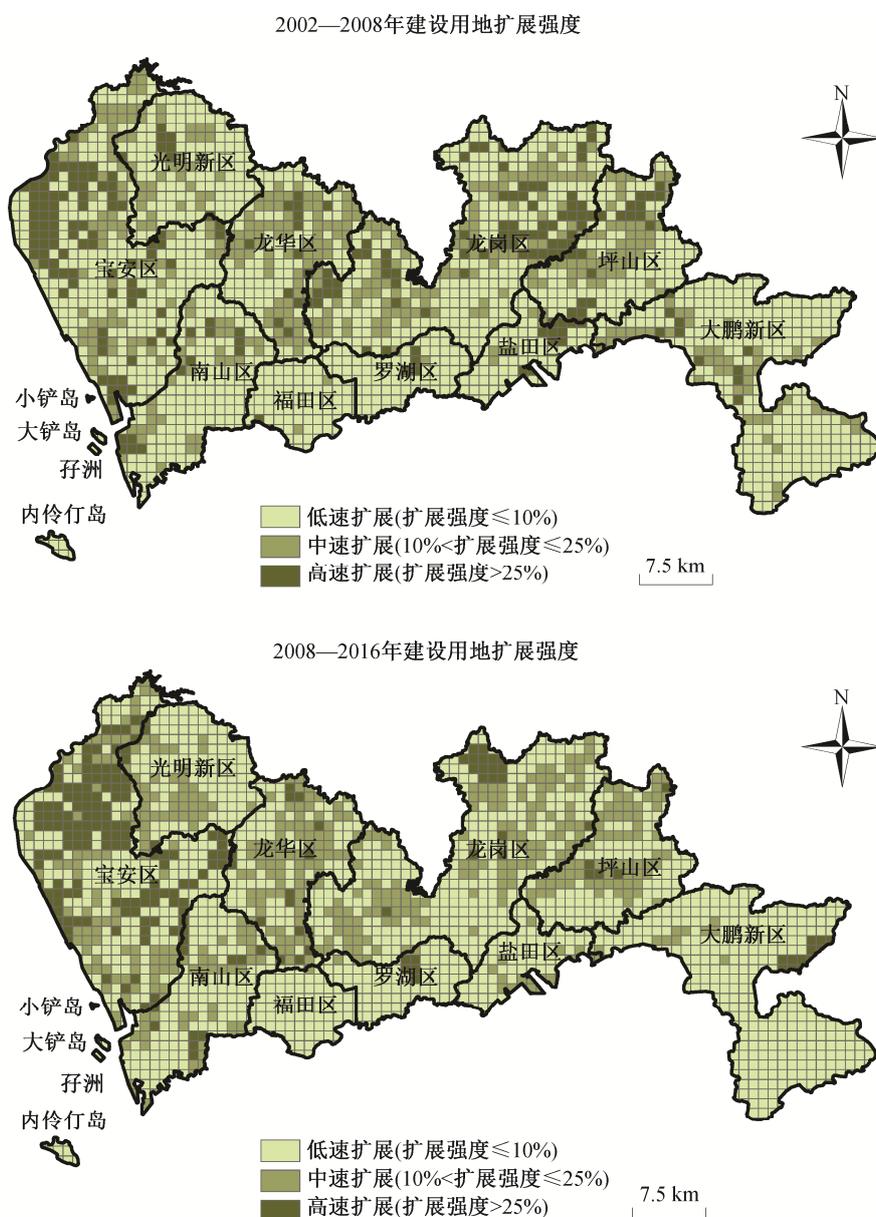


图 3 不同阶段深圳市建设用地扩展强度分布

Fig. 3 Distribution of construction land extension at different stage in Shenzhen

速扩展型和高速扩展型的比例大致为 3.4:1:0.5。其中,福田、罗湖、南山和盐田等区域的扩展强度较弱,宝安、光明、龙华、龙岗和坪山等区域扩展强度较强。需要说明的是,在行政区所辖范围内的自然保护区(如羊台山、塘朗山、梧桐山和大鹏半岛山区等),建设用地扩展强度较弱,表明 2005 年以来实施的基本生态控制线对建设用地开发利用具有管控作用。2008—2016 年建设用地扩展强度的低速扩展型、中速扩展型和高速扩展型的比例约为 3.1:1:0.4,与快速发展阶段相比,稳步增长阶段的深圳市建设用地扩展强度有所降低,但该阶段的高速扩展型分布变化明显,主要分布于西部沿海区域、光明区、龙华区和坪山区,扩展原因既有工业园区的开发建设,又有沿海地带的填海造陆。

3.3 建设用地扩展的景观格局分析

结合建设用地扩展的强度变化,本研究中景观格局分析将继续沿用 2002 年以后数据,从景观破碎度和景观紧凑度两个方面展开,结果如图 4 所示。

由图 4 可知,研究区建设用地扩展的景观破碎度呈增长趋势,从 2002 年的 22 增加到 2016 年的 108,说明深圳市建设用地细碎化程度加剧,建设用地空间格局趋于复杂。可能的原因如下: 1) 建设开发占用农用地和生态用地,使得建设用地扩展的零星斑块数量增长显著; 2) 2002 年以后,特区内、外城区建成度较高,建设用地扩展多以内部用地功能细化为主,大块建设用地被切割成细碎图斑,导致建设用地扩展的景观破碎度逐步增大。

由图 4 可知,研究区建设用地扩展的景观紧凑度逐步降低,说明建设用地的分布形态趋于复杂化。研究时段内,研究区建设用地景观紧凑度的最大值和最小值分别为 0.015 和 0.011。这种分布形态

的不规则变化与用地规划、地形地貌和发展模式密不可分。尽管在城市规划的影响下,深圳市建设用地布局具有组团式的集聚特征,但复杂多变的地形地貌和零星开发的用地模式使得建设用地扩展的景观紧凑度不断降低。

综合空间扩展强度与景观格局指数可以看出:快速发展阶段(1996—2008 年)的深圳市建设用地扩展特征呈现遍地开花、均衡发展的空间格局,稳步增长阶段(2008—2016 年)则体现为局部扩展、突出节点的格局变化。尤其是宝安大空港、南山前海、光明中心城、龙华北站以及北部观澜观湖等发展节点的用地扩展,反映深圳市建设用地扩展模式正由无序外延式扩展逐步向存量内涵式挖潜转变。

3.4 建设用地扩展的驱动力分析

相对于自然环境的影响,深圳市建设用地扩展与人类活动的相互关系更为紧密。因此,本研究将从社会经济因素方面进行驱动力分析,结果如表 1 所示。

1) 人口对建设用地扩展的影响。对常住人口和建设用地面积进行拟合,得到回归系数为 0.578, R^2 为 0.913,说明常住人口与建设用地扩展具有显著的正相关性。对高度城市化地区而言,人口对建设用地扩展的影响极其显著。一方面,建设用地的增加不仅为经济活动提供生产空间,还为地区人口留驻提供生活条件,从而吸引更多的物资资源与人力资本;另一方面,快速增长的城市人口又带来生活与生产上的空间诉求,进一步施压政府对建设用地扩展的举措。

2) GDP 对建设用地扩展的影响。从 GDP 和建设用地面积的分析结果看,回归系数为 0.022, R^2 为 0.699,通过 1% 水平下的显著性检验,说明地区生

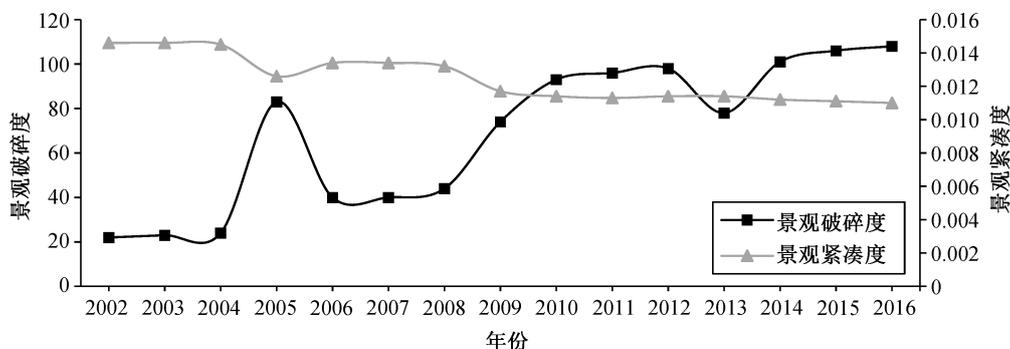


图 4 深圳市建设用地扩展的景观格局变化

Fig. 4 Construction land extension map of landscape pattern change in Shenzhen

表 1 不同影响因素与建设用地扩展的回归分析结果
Table 1 Results of regression analysis between different influencing factors and construction land extension

变量	常数项	回归系数	标准差	T	P	R ²	Pearson 相关系数	影响力排名
GDP	654.056	0.022	0.003	6.63	(0, 0.001)	0.699	0.836	3
常住人口	335.317	0.578	0.041	14.09	(0, 0.001)	0.913	0.908	1
第二产业增加值	622.552	0.058	0.007	8.28	(0, 0.001)	0.783	0.885	2
第三产业增加值	672.775	0.036	0.006	5.84	(0, 0.001)	0.642	0.801	5
固定资产投资额	619.156	0.000	0.000	6.39	(0, 0.001)	0.683	0.826	4

产总值与建设用地面积之间存在正相关性,但其影响程度不及人口因素。一方面,建设用地面积的增加为经济活动提供有效的支撑,集聚经济促使地区生产总值不断提高;另一方面,日趋频繁的经济活动加大对建设用地的需求程度,城市建设用地扩展潜能不断被挖掘,形成经济高质量发展与建设用地高效利用的耦合模式。

3) 产业结构对建设用地扩展的影响。从第二、第三产业增加值与建设用地面积的回归结果看,回归系数分别为 0.058 和 0.036,说明第二、第三产业对建设用地扩展具有推动作用。在研究时段内,深圳市产业结构变化明显,三大产业结构的比例由 1996 年的 1.70%:48.30%:49.00% 调整为 2016 年的 0.04%:39.91%:60.05%,这种第一、第二产业比重下降,第三产业比重上升的结构变化,归因于深圳市政府围绕建设用地不足所采用的盘活存量模式。通过开展土地整备和城市更新工作,各级政府制定了一系列用于盘活建设用地的配套措施,并对老旧工业厂房进行改造,有效地推动了地区产业结构由传统工业向现代服务业的转换,逐步形成以商务中心、金融中心和研发中心为主体的创新产业园,有效地促进建设用地扩展不断向内涵式挖潜转变。

4) 固定资产投资对建设用地扩展的影响。通过相关性分析发现,固定资产投资额与建设用地面积的回归系数为 0.000,表明固定资产投资额对建设用地扩展的影响不明显,仅具有连接性。一般而言,作为固定资产投资的重要组成部分,基础建设投资和房地产开发投资与建设用地关系紧密,能够促使货币、劳动力和新技术等生产要素以资本注入的形式,通过建设空间来塑造和凸显城市功能,为产业集聚以及规模化发展创造条件。但是,由于深圳市可用于扩展的建设用地面积有限,大量的资本

投入所开展的立体化空间利用模式,使得固定资产投资额与建设用地扩展之间的相互关系仅呈现连接功能。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文以深圳市土地利用变更调查数据为基础,通过对城市建设用地扩展的时空变化、扩展强度和景观格局进行分析,研究深圳市 1996—2016 年城市建设用地扩展的过程及特征,采用线性回归模型来分析城市建设用地扩展与社会经济因素的相关性,得到以下结论。

1) 时间变化方面,深圳市建设用地扩展呈持续增长趋势,且具有阶段性特征。从 1996 年的 546.54 km² 到 2016 年的 985.82 km²,增幅约为 80.37%。深圳市新增建设用地扩展模式区域差异显著。其中,福田区和罗湖区以内部填充为主,南山区和宝安区以外部扩展为主。

2) 空间扩展方面,不同区域的建设用地扩展强度存在差异,北部地区明显高于南部地区;同时,深圳市建设用地的景观破碎度不断上升、景观紧凑度逐步下降。深圳市建设用地空间的扩展正从无序、同质化、低效蔓延,逐渐向有序、异质化、高效利用转变,反映深圳城市建设正由快速扩展的“深圳效率”逐步向结构优化的“深圳质量”迈进。

3) 社会经济因素与建设用地扩展均呈显著正相关关系,常住人口的回归系数最大(0.578),固定资产投资额的回归系数最小(0.000)。皮尔森相关排序为常住人口>产业结构>GDP>固定资产投资额,说明常住人口对建设用地扩展具有决定性作用,产业结构调整具有推动作用,而 GDP 与建设用地扩展之间为相互促进关系,固定资产投资更体现桥梁连接功能。

4.2 讨论

建设用地扩展是城市化发展的重要表现形式。尽管国内外研究都进行了相关问题的探讨,但针对高度城市化地区的建设用地扩展研究较为缺乏。与国内外现有的建设用地扩展研究相比,本研究的主要创新点如下:一是在研究区域的选择上,本研究选择中国特色社会主义先行示范区的深圳市作为案例区,不仅是因为深圳在城市化水平上位居我国前列,是国际化高度融合的大都市,还在于深圳在推动民生福祉提升和宜居城市建设等方面的突出表现;二是采用连续年份的土地利用变更调查数据,调查数据的精细化和有效性不仅为研究工作提供准确的数据服务,也为深入认识高度城市化区域的建设用地扩展规律提供依据,进而为管理部门在城市规划编制与用地决策等方面提供支持。

本研究存在以下不足:一是时间序列数据仍显不足,仅依靠 20 年的变更调查数据来探究深圳市建设用地扩展的整体情况和变化特征存在一定的局限性,有待前置或后推若干年份的时序数据,尤其是将第三次国土调查数据纳入研究体系,更有利于建设用地扩展的特征研究与规律发现;二是建设用地分类主观性较大,本研究用地类型的划分依据是 2017 年的《土地利用现状分类》(GB/T21010—2017),划分方法是经验判读法,但由于历年土地调查在对应时期分类标准不同,且深圳市土地利用分类体系具有衔接城市规划等应用层面的详细分类细则,因此本研究的分析结果与管理部门之间存有一定的差距。

致谢 研究工作得到深圳市规划国土房产信息中心孙薇主任、彭子凤副主任的帮助,在此表示衷心感谢。

参考文献

- [1] Amin T, Phillips C P, Amir H T. Predicting the expansion of an urban boundary using spatial logistic regression and hybrid raster-vector routines with remote sensing and GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 2014, 28(4): 639–659
- [2] 欧阳晓,朱翔. 中国城市群城市用地扩张时空动态特征. *地理学报*, 2020, 75(3): 571–588
- [3] 王宏亮,郝晋珉,管青春,等. 内蒙古自治区城镇土地经济密度的区域差异及其收敛性分析. *中国农业大学学报*, 2018, 23(2): 139–146
- [4] 王宏亮,郝晋珉,管青春,等. 内蒙古城镇用地扩展的区域特征及影响因素分析. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 53(6): 735–741
- [5] 李怡,刘正佳,李裕瑞. 边境贫困县建设用地变化特征与驱动因素——以广西龙州为例. *自然资源学报*, 2018, 33(8): 1291–1303
- [6] 王婧,方创琳. 城市建设用地增长研究进展与展望. *地理科学进展*, 2011, 30(11): 1440–1448
- [7] 刘涛,史秋洁,王雨,等. 中国城乡建设占用耕地的时空格局及形成机制. *地理研究*, 2018, 37(8): 1609–1623
- [8] 王翠翠,蒋卫国,冯刚,等. 2000—2010 年武汉城市圈建设用地扩张对植被净初级生产力的影响. *农业现代化研究*, 2015, 36(4): 674–679
- [9] 乌玲瑛,严力蛟. 基于 GIS 和 RUSLE 模型道路对土壤侵蚀格局的影响研究——以浙江省杭金衢高速诸暨段为例. *生态学报*, 2014, 34(19): 5659–5669
- [10] 沈洁,张可云. 中国大城市病典型症状诱发因素的实证分析. *地理科学进展*, 2020, 39(1): 1–12
- [11] 吴健生,张朴华. 城市景观格局对城市内涝的影响研究——以深圳市为例. *地理学报*, 2017, 72(3): 444–456
- [12] 陈国磊,田玲玲,罗静,等. 长江经济带城市黑臭水体空间分布格局及影响因子. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(5): 1003–1014
- [13] Ng T C, Wen T H. Spatially adjusted time-varying reproductive numbers: Understanding the geographical expansion of urban dengue outbreaks. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 19172
- [14] Wu J S, Zhu J, Li W F, et al. Estimation of the PM_{2.5} health effects in China during 2000–2011. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24(11): 10695–10707
- [15] 李秋萍,陆汝成,李冠,等. 边境土地利用变化及其与贸易发展互动关系研究进展. *中国土地科学*, 2015, 29(8): 16–23
- [16] 王宏亮,高艺宁,王振宇,等. 基于生态系统服务的城市生态管理分区——以深圳市为例. *生态学报*, 2020, 40(23): 8504–8515
- [17] 王媛,姜博,初楠臣,等. 基于建设用地变化的城市边缘区提取方法与扩张模式研究——以哈尔滨市为例. *经济地理*, 2016, 36(5): 26–32
- [18] 李凯,刘涛,曹广忠. 中国典型城市群空间范围的动态识别与空间扩展模式探讨——以长三角城市群、武汉城市群和成渝城市群为例. *城市发展研究*,

- 2015, 22(11): 72-79
- [19] 于溪, 李强, 肖逸雄, 等. 基于GlobeLand30的中国城市扩张模式及其对生态用地的影响. 地理与地理信息科学, 2018, 34(3): 5-12
- [20] 冀青青, 乔伟峰, 卢诚, 等. 1980年以来南京市建设用地扩张阶段性特征. 长江流域资源与环境, 2018, 27(9): 1928-1936
- [21] 张苏文, 杨青山. 哈长城市群核心-外围结构及发展阶段判断研究. 地理科学, 2018, 38(10): 1699-1706
- [22] 单葆国, 邵玺, 余姗, 等. 中国城市蔓延阶段特征及驱动因素分析. 地球信息科学学报, 2018, 20(3): 302-310
- [23] 崔王平, 李阳兵, 郭辉, 等. 重庆市不同空间尺度建设用地演进特征与景观格局分析. 长江流域资源与环境, 2017, 26(1): 35-46
- [24] 吴殿鸣, 邵大伟. 基于最佳尺度的城市扩张特征研究: 以苏州中心城区为例. 长江流域资源与环境, 2018, 27(9): 1937-1946
- [25] 陈宝芬, 张耀民, 江东. 基于CA-ABM模型的福州城市用地扩张研究. 地理科学进展, 2017, 36(5): 626-634
- [26] 王海军, 张彬, 刘耀林, 等. 基于重心-GTWR模型的京津冀城市群城镇扩展格局与驱动力多维解析. 地理学报, 2018, 73(6): 1076-1092
- [27] 张亦汉, 刘小平, 陈广亮, 等. 基于最大熵的CA模型及其城市扩张模拟. 中国科学: 地球科学, 2020, 50(3): 339-352
- [28] 曹银贵, 袁春, 周伟, 等. 三峡库区耕地城镇化及城镇扩展测度. 农业工程学报, 2009, 25(6): 254-260
- [29] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2007
- [30] 孙才志, 闫晓露. 基于GIS-Logistic耦合模型的下辽河平原景观格局变化驱动机制分析. 生态学报, 2014, 34(24): 7280-7292
- [31] 罗志军, 赵越, 赵杰, 等. 基于景观格局与空间自相关的永久基本农田划定研究. 农业机械学报, 2018, 49(10): 195-204
- [32] Batty M. Cities as fractals: simulating growth and form // Crilly A J, Earnshaw R A, Jones H. Fractals and chaos. New York: Springer-Verlag, 1991: 43-69
- [33] 李波. 基于多源遥感数据的城市建设用地空间扩展动态监测及其动力学模拟研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012
- [34] 楼梦醒, 冯长春. 京津冀地区城市建设用地变化及差异化驱动力研究. 城市发展研究, 2018, 25(9): 23-28