

基于 BRT 模型的南昌市城市扩展 时空特征及驱动因素研究

陈蕾^{1, 2} 郭熙^{1, 2} 韩逸^{1, 2} 朱青^{1, 21}

(1. 江西农业大学 国土资源与环境学院, 江西 南昌 330045;

2. 江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 江西 南昌 330045)

【摘要】: 分析城市扩展的时空特征以及其驱动因素, 有助了解城镇化规律, 为制定具有区域化特色的城市空间规划提供方案。研究以南昌市为例, 基于多期 Landsat 遥感影像(2000、2008、2017 年)获取南昌市城镇用地变化的时空信息, 采用扩展强度指数、景观扩展指数、重心指数等方法分析了该地区城市扩展的时空特征, 进而应用增强回归树模型(Boosted Regression Tree, BRT)探究影响城市扩展的驱动因素。结果表明: (1)2000~2017 年, 南昌市城镇用地面积增加了 252.81km², 第一阶段(2000~2008 年)增长的强度和速度大于第二阶段(2008~2017 年); (2)两阶段南昌市城镇用地扩展模式均以边缘式扩展为主, 以填充式及飞地式为辅, 扩展方式缺乏集约性, 存在“摊大饼”式问题; (3)从整个研究期来看, 南昌城市发展重心总体上往西南方迁移了 2.19km, 第一阶段南昌市城市扩展重心向西迁移了 1.50km, 第二阶段又继续向西南方迁移了 1.35km; (4)南昌市城市扩展的 16 个方向中, 以 SW 及 SWW 方向上较大, 而在 NW、N、NNE、SE、SSE 方向上因受到梅岭山脉以及军山湖泊的阻隔导致扩展强度较小; (5)利用 BRT 分析邻域因素(距 2000 年城区距离, 距河流距离, 距路网距离), 社会因素(土地利用类型, GDP, 城镇人口), 自然因素(高程, 坡度, 海拔)可知, 南昌市城市扩展主要受邻域因素的影响, 社会因素中仅土地利用类型对城市扩展影响较大, 而自然因素的影响相对较小。

【关键词】: 城市扩展 增强回归树 驱动因素 南昌市

【中图分类号】: F291.1 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2020)02-0322-12

在全球经济一体化的形势下, 我国经济水平高速增长^[1], 城镇化水平不断提升, 城镇建设用地快速扩展, 城市建成区面积逐年增大。然而当前的城市扩展存在过于追求速度, 忽视城镇化质量与可持续发展的问题。一方面部分地区的城市扩展占用大量优质耕地和生态源地, 使得耕地生产能力下降, 威胁区域粮食安全, 造成城市周边生态系统循环失衡^[2~4]; 另一方面城市内部的空间利用效率低下, 用地方式混乱使得城市发展呈现出无序的状态, 不利于发挥城市功能区划的集聚与规模效应, 更不利于进一步城镇化建设工作的有序推进^[5, 6]。因此研究城市扩展并了解其扩展模式是明确当前城市扩展所存在问题的关键, 而探究其驱动因素则是揭示城镇化规律从而制定针对性的城镇空间规划和调控政策的重要环节^[7]。

近年来, 城市扩展的相关问题得到了学者们的广泛关注。纵观现有的研究成果, 内容主要涉及城市扩展的形态特征^[8~11]、城市

作者简介: 陈蕾(1995-), 女, 硕士研究生, 主要从事土地资源评价与规划研究. E-mail: ajdy.deo@foxmail.com; 郭熙 E-mail: guoxi@jxau.edu.cn.

基金项目: 江西省赣鄱英才“555”领军人才项目(201295)。

扩展的模拟和预测^[12,13]、城市扩展模式及驱动力^[14~16]等方面。从研究尺度上来看,现有的研究多集中在大中尺度下的城市群^[17~21],单个的城市研究也以一线城市为主^[22~25],对刚进入快速发展期并极具发展潜力的二、三线城市的关注度不足;在选取城市扩展的驱动因素时也多以来源于统计年鉴的GDP、城镇人口等社会经济因素为主^[26~28],因素类型较为单一,忽视了自然环境以及区位条件对于城镇扩展的影响;从驱动因素的分析方法上来看,大部分采用常规性的统计学分析,受到数据类型以及数量关系的限制较大,且最后只能在全局上描述各驱动因素对城镇扩展的影响程度,忽略了驱动因素在不同阈值区间影响作用的差异^[29]。基于机器学习原理的增强回归树模型(Boosted Regression Tree, BRT)具备同时处理不同数据类型、数量关系以及数据缺失等情况的优势,直观显示在不同阈值内各驱动因素对城市扩展的影响程度^[29],打破了传统统计学方法的不足,能够更加直观形象地展示驱动力作用的机制。

南昌市作为长江经济带以及长江中下游城市群中不可或缺的一员,其发展对于地区发展战略同样也起着至关重要的作用。而近年来随着经济迅速发展,南昌市城镇化的进程加快,随之带来的是一系列有关城市扩展的问题,这些问题可能导致资源短缺、交通拥挤以及环境恶化^[30]。因此,本文以南昌市为研究区,分析其2000~2017年城镇用地扩展的时空特征,选取不同类型的驱动因素,应用增强回归树模型探究各驱动因素对城市扩展的影响程度,以期准确直观地探究南昌市城市发展的内在规律,从而为解决南昌市城市扩展存在的问题及其城市发展建设提供参考依据。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

南昌市是江西省的省会城市,地处江西中部偏北,赣江下游,鄱阳湖的西南岸,位于115°27'E~116°35'E、28°10'N~29°11'N之间,占地面积7402.36km²。全境山、丘、平原相间,地形主要以平原为主,占全域面积的35.8%,南昌市自古以来就被誉为“襟三江而带五湖,控蛮荆而引瓯越”之地,是长江中游城市群的三大中心城市之一,是连接三大重要经济圈(长江三角洲、珠江三角洲、海峡西岸经济区)的省际交通廊道,有较好的经济地理区位优势。2017年南昌市总人口数达524.66万人,城镇人口达到289.78万人,城镇化率高达73.32%,地区生产总值4819.76亿元,人均地区生产总值达88967元。随着红谷滩新区开发、昌九一体化建设、九龙湖新区开发、赣江新区开发等一系列政策的落实,南昌市经济水平稳步提升,城镇化的步伐加快,同时对建设用地的需求也不断增强。

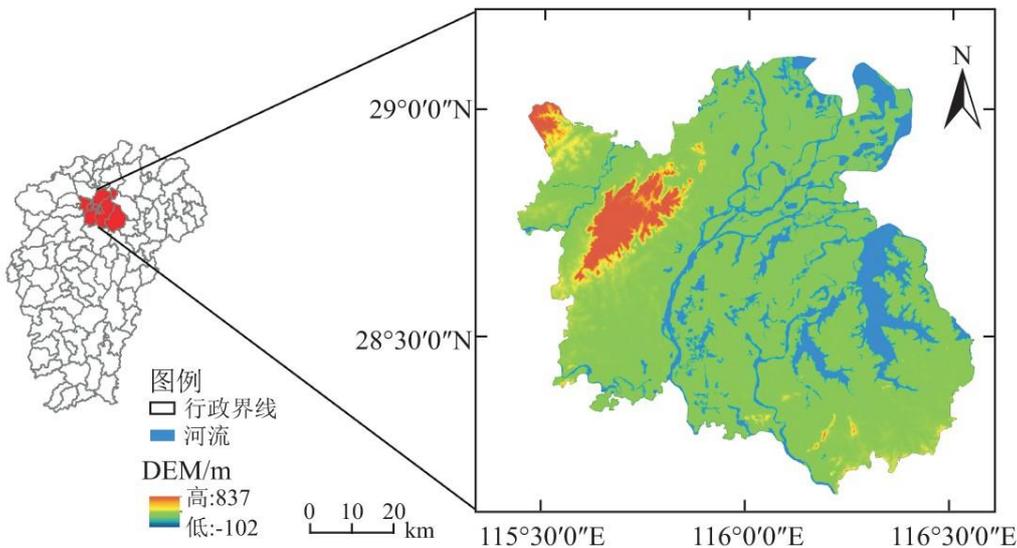


图1 研究区示意图

1.2 数据源与预处理

本文选取的遥感数据主要是从地理空间数据云网站 (<http://www.gscloud.cn/>) 获取的 3 期 6 景 Landsat TM/OLI 遥感影像, 获取数据的日期分别为:2000、2008、2017 年, 具体情况可见表 1。根据解译需要, 先后在 ENVI5.5 软件对获取的遥感影像进行了辐射定标、大气校正、图像镶嵌等预处理工作, 解译结果通过分类误差及 Kappa 系数检验, 总体精度均达到 82%以上, 达到研究所需数据精度要求。用于进行驱动因素分析的数据如人口、GDP 来源于同期的《江西统计年鉴》及《南昌市统计年鉴》, 土地利用类型、南昌市道路数据以及河流数据来源于江西省土地利用年度变更调查数据库, 坡度高程等地形因子提取自数字高程模型 (DEM), 空间分辨率为 30m。

表 1 遥感影像数据来源

数据源	时间		
	2000-11-02	2008-12-10	2017-12-19
	2000-10-08	2008-12-17	2017-12-10
传感器	TM	TM	OLI
分辨率 (m)	30	30	30
云覆盖度 (%)	<1	<1	<1

2 研究方法

2.1 扩展速率和扩展强度指数

描述城镇用地时空变化常用的指标有扩展速率和扩展强度指数^[31], 扩展速率指数 V 是指研究时段内空间单元发展的速度, 能反映城市发展的快慢程度; 扩展强度指数 E 是指空间单元在研究时段内面积增长量占该区域研究初期面积的比例, 其实质是用研究区的面积对其年均扩展速度进行标准化处理, 使得在不同研究时期内的数据结果具有可比性^[32]。计算公式分别如下:

$$V = \frac{U_b - U_a}{\Delta T} \quad (1)$$

$$E = \frac{U_{ab}}{ULA_{ab} \cdot \Delta T} \quad (2)$$

式中: U_a 、 U_b 分别表示研究初期和研究期城镇用地的面积; ΔT 表示研究初期到期末的时间间隔; U_{ab} 表示研究时间间隔内城镇用地面积变化量; ULA_{ab} 表示研究初期城镇用地面积。

2.2 景观扩展指数

景观扩展指数 (Landscape Expansion Index, LEI) 是刘小平等^[33]提出的用来定量描述某一景观动态扩展过程的类型及各景观

扩展类型在空间上的格局分布的方法。与传统的景观指数相比,LEI 能涵盖景观格局的过程信息,因此可以用来分析多时段景观斑块的扩展模式,探讨其分布的空间信息,目前被广泛应用于识别城镇用地扩展的模式分析^[34~36]。应用 LEI 指数可以很好地识别出城镇用地的扩展模式,进而将其分为飞地式、填充式、边缘式三种,计算公式如下:

$$LEI = 100 \times \frac{A_o}{A_E - A_P} \quad (3)$$

式中:LEI 为斑块的景观扩张指数; A_E 为斑块的最小包围盒面积; A_P 为新增斑块本身的面积; A_o 为最小包围盒里原有景观的面积。

2.3 重心指数

重心指数往往是描述城镇用地空间分布的一个重要指标^[10],重心的迁移情况能够反映城镇用地时空演变的过程与规律,有助于研究城市空间格局的变化。计算公式如下:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^m (Q_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^m Q_i} \quad (4)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^m (Q_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^m Q_i} \quad (5)$$

式中: X 、 Y 分别表示对应年份经度以及纬度坐标; m 表示构成研究区域的矢量图斑个数; Q_i 表示第 i 块矢量图斑的面积; X_i 、 Y_i 分别表示第 i 块矢量图斑的经度以及纬度坐标。

2.4 增强回归树

增强回归树是 Elith 编写的一种基于分类回归树算法(CART)的自学习方法^[37],该方法结合了回归树模型(Regression tree)以及增强模型(Boosting)的特征。在运算过程中先多次随机抽取一定量的随机数据,分析自变量对因变量的影响程度,再将剩余的数据用来对拟合效果进行检验,最后对生成的多重回归取平均值并输出结果。BRT 的优点是在处理不同数据格式时有很大的灵活性,能较好地提高模型的稳定性以及预测性,提高模型的精度,且输出自变量对于因变量的贡献度和反应曲线比较直观,可反映在不同阈值区间内自变量对于因变量的贡献程度^[29, 38, 39]。

研究参考相关论文^[40~42]并结合南昌市的实际情况选择了邻域因素(距 2000 年城区的距离,距河流的距离,距铁路和高速公路的距离)、自然因素(海拔,坡度,坡向)、社会因素(土地利用类型,城镇人口,GDP)3 类因素作为自变量(图 2),2000~2017 年南昌市城镇用地变化情况为因变量,利用 BRT 对南昌市城市扩展的驱动因进行分析。

首先将南昌市 2000 年城镇用地与 2017 年城镇用地叠加,得到 2000~2017 年南昌市城镇用地变化情况,然后将变化情况进行二值化处理(0 表示 2000~2017 年均为非城镇用地区域,1 表示由 2000 年的非城镇用地变成 2017 年城镇用地区域),再利用 ArcGIS 按研究区创建 100m×100m 的渔网,获取各类驱动因素(自变量)以及城市变化(因变量)的数值,接着为了避免数据的空间自相关性^[43],在区域内随机创建 10000 个点进行采样,最后将采样点的数据表处理后导入 R 软件利用 BRT 进行分析。经过多次调试后,设置参数决策树(tc)复杂程度为 5,学习速率(lr)为 0.005,分割比率为 0.5,每次抽取 50%的数据进行分析,50%用于训练,进行 5 次交

又验证,以构建合理的城镇扩展因素模型。

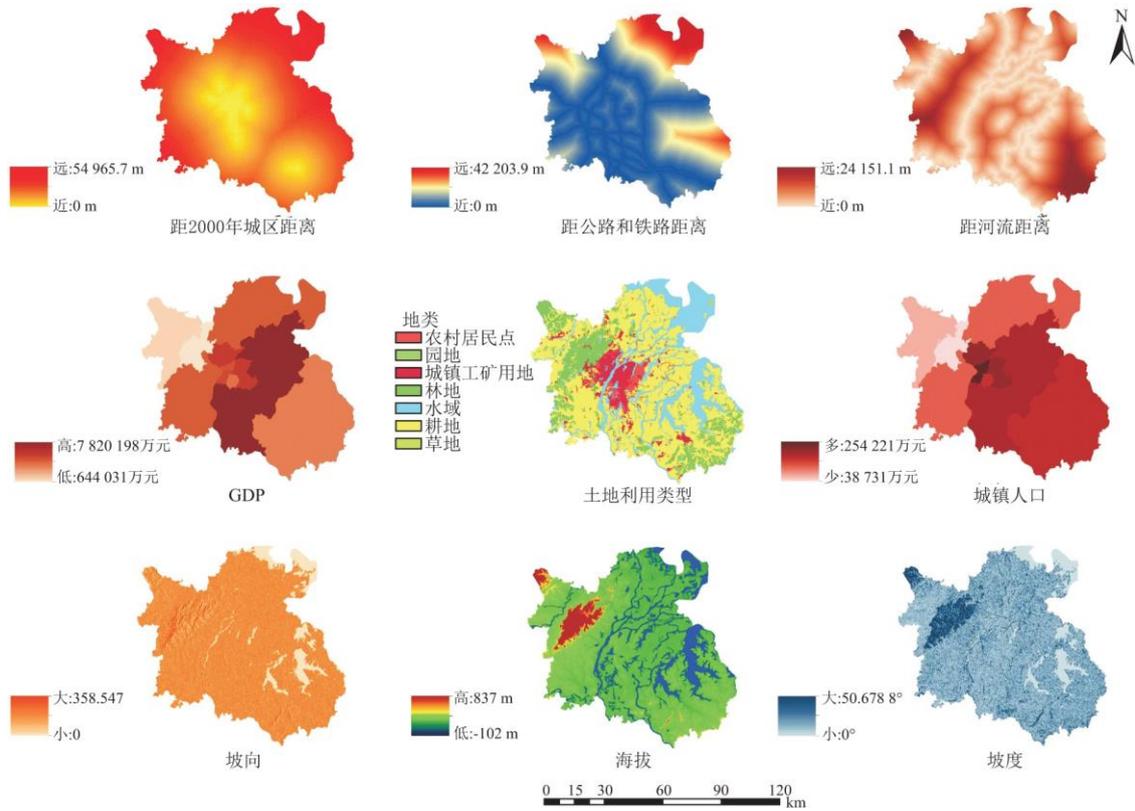


图 2 南昌市城市扩展影响因素空间分析图

3 结果分析

3.1 扩展速率和强度分析

城镇扩展的基本情况如表 2 所示,2000~2017 年间南昌市城镇用地面积增加了 252.81km²。整体来说,2000~2017 年南昌市城镇用地面积逐年扩展,但两阶段扩展的速率以及强度指数有一定的差异。第一阶段(2000~2008 年)城镇用地面积增加迅速,城镇扩展强度指数为 0.23,城镇扩展速率也达到研究阶段的最大值。第二阶段(2008~2017 年)扩展速率开始趋于平稳状态,扩展强度指数为 0.02,处于缓慢增长的阶段。总的来说,2000~2017 年南昌市城镇用地面积处于不断扩展的趋势,先是经历了一段时间的快速扩展后开始趋于慢速扩展,但城市仍在不断地扩展中。

表 2 2000~2017 年南昌市城镇用地扩展情况

类别	年份		
	2000~2008	2008~2017	2000~2017
面积增长量/km ²	203.86	48.95	252.81
面积增长率/%	1.81	0.15	2.24

扩展速率/($\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$)	25.48	5.44	14.87
扩展强度指数	0.23	0.02	0.13

3.2 扩展模式分析

借助 ArcGIS10.5, 依据景观扩张指数(公式 3)统计 2000~2017 年南昌市城镇用地扩展模式情况。根据文献参考^[33,34], 当 $LEI \in [50, 100)$ 时, 扩展方式为填充式扩展; $LEI \in (0, 50)$ 扩展方式为边缘式扩展; $LEI=0$ 时扩展方式为飞地式扩展。根据 LEI 的值将南昌市城镇用地扩展的模式划分为飞地式扩展、填充式扩展以及边缘式扩展 3 种模式。分别统计不同 LEI 的值进行汇总, 结果见表 3。

结合表 3 以及图 3(a) 分析可知, 2000~2008 年南昌市城镇扩展方式以边缘式扩展为主, 边缘式扩展占总面积的 86.38%, 扩展面积达到 176.09km^2 。扩展方向主要是西北方以及西南方向, 扩展区域主要集中在南昌县以及青山湖区, 这些区域靠近南昌中心城区, 受其辐射圈的影响较大, 因此城镇用地扩展也较为剧烈; 飞地式扩展面积为 20.95km^2 , 占新增用地的 10.28%, 整体上来看呈现出“大集中, 小分散”的扩展状况, 分布区域主要集中在安义县、南昌县以及进贤县等区域; 填充式发展区域面积较小, 面积为 6.82km^2 , 仅占新增面积的 3.34%, 主要集中在原始中心城区内部。

表 3 2000~2017 年城镇用地不同扩展模式扩展情况

类别	2000~2008 年		2008~2017 年	
	面积 (km^2)	占比 (%)	面积 (km^2)	占比 (%)
飞地式扩展	20.95	10.28	1.16	2.37
填充式扩展	6.82	3.34	0.86	1.76
边缘式扩展	176.09	86.38	46.93	95.86
扩展总面积	203.86	100.00	48.95	100.00

根据图 3(b) 及表 3, 2008~2017 年南昌市城镇用地面积增加了 48.95km^2 , 扩展的速度相比 2000~2008 年减缓了许多, 但仍处于增长阶段。该阶段边缘式扩展面积达到 46.93km^2 , 占新增城镇用地的 95.86%, 即南昌城镇用地在 2008~2017 年间的扩展方式主要以边缘式扩展为主, 扩展主要集中在新建县、湾里区以及南昌县, 城市发展的空间形态呈现出沿赣江两岸向西南方向扩展的趋势; 飞地式扩展以及填充式扩展面积较小, 共占比 4.13%, 主要集中在青云谱区、进贤县、安义县等地区。

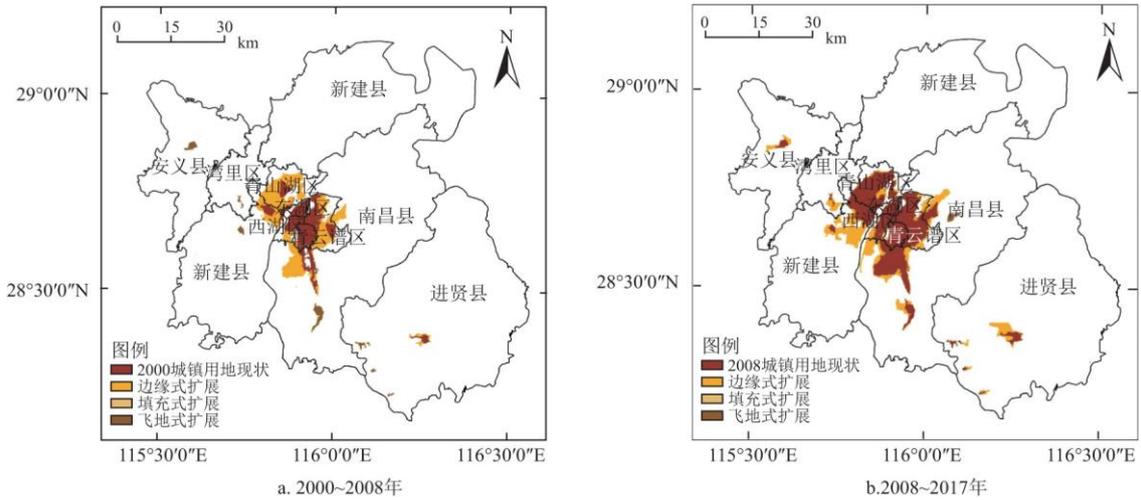


图3 两阶段城镇用地扩展空间分布图

3.3 城市重心坐标迁移分析

分析不同时期城市空间重心的情况,得到2000~2017年南昌市城市重心迁移情况如图4所示。从2000~2008年,沿江两岸城镇用地快速发展,城市发展重心向西迁移了1.5km;从2008~2017年,随着南部大量独立城镇用地的的发展,城市发展重心往西南方向继续迁移了1.35km。从整体上来看,2000~2017年,南昌市城市空间整体向西南方向迁移,总距离为2.19km。

3.4 扩展各项差异性分析

为了较为直观地体现南昌市城市扩展的形态变化以及强度,利用ArcGIS10.5,选择合适的城市中心为原点,采用等扇形分析法以一定的半径将其分为16个方向(N, NNE, NE, NEE, E, SEE, SE, SSE, S, SSW, SW, SWW, W, NWW, NW, NNW),通过叠加分析功能将扇形与研究区域各个时期的城镇用地图层叠加,得到南昌市在16个不同方向上的各时期建设用地的扩展面积以及扩展强度,由此分析不同时期南昌市城镇用地在不同方向上扩展强度的差异性,由图5可知研究期间南昌市城镇用地在16个方向上的扩展强度指数,从2000~2017年整体上来看,南昌市城镇用地的扩展强度在SW以及SWW方向上较大,而在NW、N、NNE、SE、SSE等方向上扩展强度较小,较大一部分原因是城镇扩展在此方向上受到梅岭山脉及军山湖的影响。

根据阶段性分析,第一阶段(2000~2008年)城镇用地在各方向上扩展强度较大且差异明显,其中以SSW及SW方向上的扩展强度较为突出;第二个阶段(2008~2017年)扩展强度较小,在各个方向上扩展也较为均匀,无明显差异,扩展主要集中在SW以及SWW方向,总体上看两阶段扩展方向基本与整体保持一致。

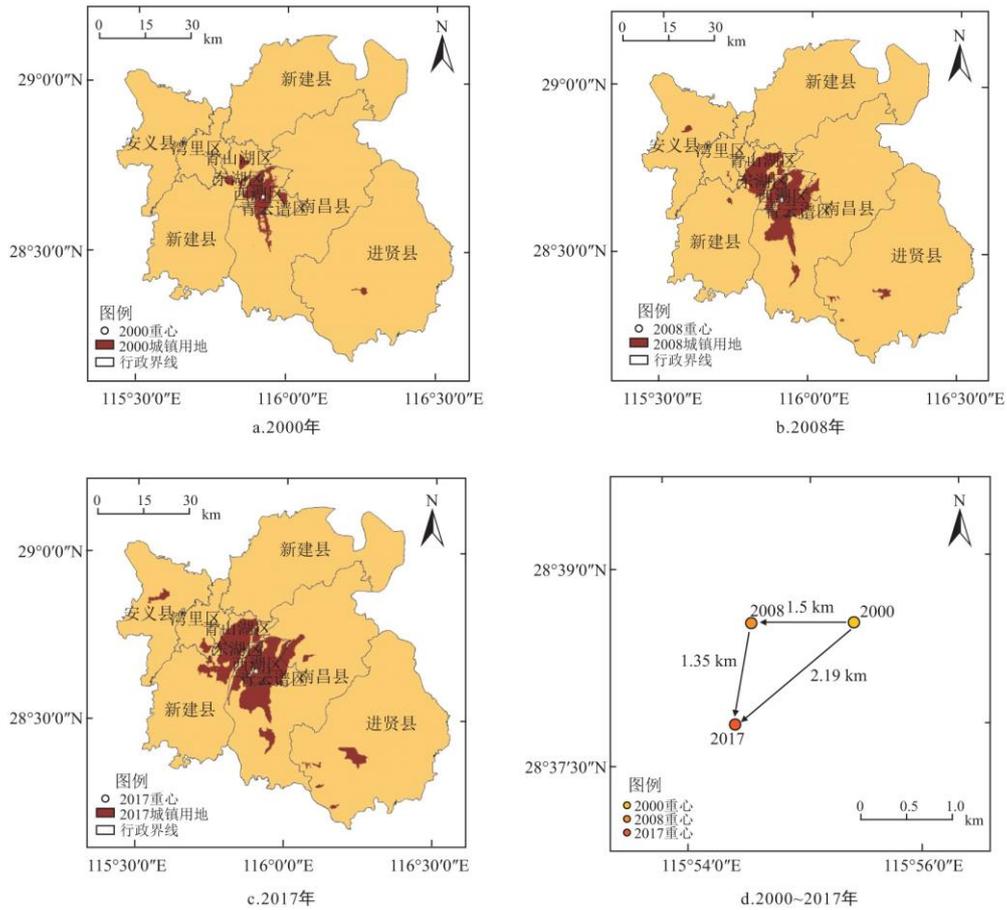


图 4 城市重心坐标迁移情况

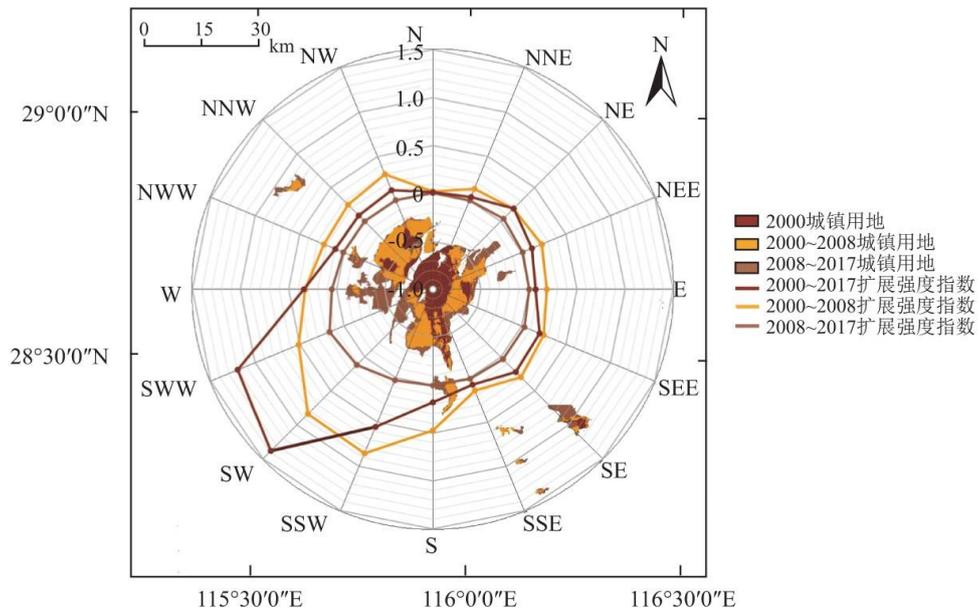


图 5 2000~2017 年南昌市城镇用地在不同方位的扩展强度指数图

3.5 城镇扩展驱动因素分析

通过 BRT 分析得出各因素对南昌市城市扩展的贡献率(图 6), 邻域因素(距 2000 年城区的距离, 距河流的距离, 距铁路和高速公路的距离)总影响达到 63. 93%, 其中距 2000 年城区的距离影响占 46. 15%, 这与前文关于城镇用地扩展模式中边缘式扩展占大部分的结果在一定程度上相印证。社会因素(土地利用类型, 城镇人口, GDP)总影响达到 21. 09%, 其中土地利用类型影响占比较高, 达到 13. 39%, 自然因素(海拔、坡度、坡向)总体影响不大, 只占到了 14. 99%。

图 7 选取了影响城市扩展的 7 种主要驱动因素, 分别是距 2000 年城区距离、土地利用类型、距河流距离、距路网距离(距高速公路以及铁路距离)、高程、坡度、GDP。纵坐标为该因素对城镇扩展的影响程度, 横坐标为其值域区间。其中数值等于零表示驱动因素与城镇扩展不相关, 小于零表示呈负相关, 大于零则表示为正相关。

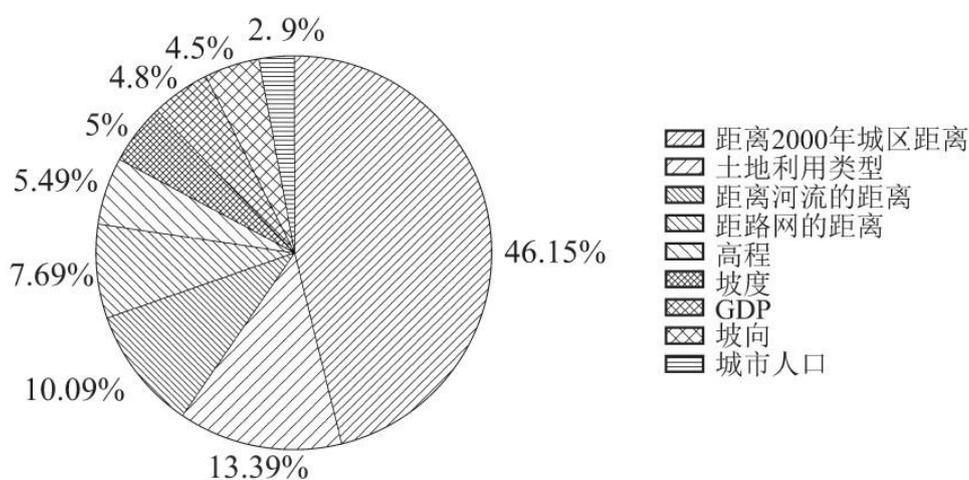


图 6 各驱动因素对城市扩展的贡献率

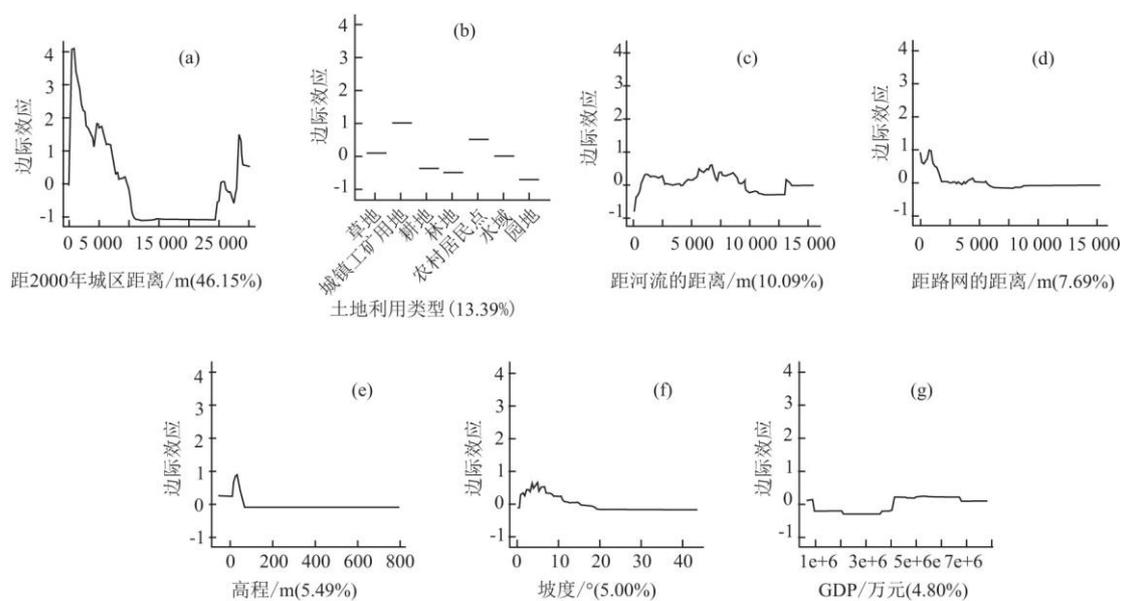


图 7 主要驱动因素对城镇扩展的相对影响

根据 Christaller 的中心地理论^[44],中心地与其周围区域存在这相互依赖、相互服务的密切关系,因此距城区的距离反映了地理区位的重要性^[43]。2000 年的南昌市城区作为初期经济发展的核心区域,为周围区域提供所需要的货物以及服务,而随着距离的增大,这种影响也在逐渐减弱。根据图 7(a)距 2000 年城区距离的相对影响图可知,当距离小于 9km 时,距城区距离与城镇用地扩展之间呈正相关关系,距城区越近影响力越大。在 9~24km 时,相对影响逐渐变为负值,后趋于平稳,即此时随着距离的增大,城镇扩展受到抑制作用。但是在大于 24km 之后,相对影响程度逐渐变为 0 值后继续上升达到正值,限制作用随着距离的增大而减弱后逐渐产生正向作用。这是因为中心城区的辐射效应随着距离的变大逐渐超出影响范围,此时城区的距离对城市扩展几乎没有影响,而在距离中心城区较远的区域,开始发展其他较小的独立城建区,导致城市扩展呈现出促进的状态。

城镇扩展在一定程度上受到土地利用类型的影响^[45],不同土地利用类型对于城市扩展的影响程度不同。根据图 7(b),对于草地、城镇工矿用地、耕地、林地、农村居民点、水域以及园地 7 种土地利用类型来说,农村居民点和城镇工矿用地与城市扩展呈正相关关系,主要是因为人类在这两种地类上参与的经济活动密切,易促进城市的扩展,因此较其他 5 种地类来说更易转化为城市用地;耕地、林地、园地这 3 类地类与城市扩展呈负相关关系,为了保障粮食安全与生态效益,国家一般对此地类采取相关的政策保护,因此城市发展在此类地类上受到明显的限制;草地以及水域上较少涉及人类活动,因此这两种地类对于城市扩展的影响几乎为零。

河流作为城市发展重要的水源供应以及水运通道,对于城市的发展起着重要的作用。根据图 7(c),在距河流 0~0.5km 时,土层质地与厚度等条件不利于城区建设,因此在该范围内扩展影响为负值;而在 0.5~10km 范围内时,距离对于城镇的扩展影响为正值,虽总体的波动较小,但可知在此范围内,河流能为城市发展提供有利条件,促进城市扩展。在 10~13km 范围内,河流对于城镇发展的促进作用逐渐减弱后变为负值,此范围内距离河流越远,越不利于城市扩展。当大于 13km 后,河流对城镇用地的扩展逐渐趋近于 0 值,此时河流的辐射效应逐渐减弱,最后对城市扩展几乎没有影响。

高速公路和铁路作为现代城市的主要交通方式,承载着人流以及物流的运输,对于城镇的扩展具有一定程度的促进作用^[41]。由图 7(d)可知,在距离路网 2km 之内,距离对城镇扩展相对影响值为正值,即此时距路网越近越能带动城市经济的发展,促进城市发生扩展。大于 2km 时,距离对城市扩展的相对影响值虽存在着小幅度的波动,但几乎接近于 0,即超出 2km 后路网辐射效应减弱,对城镇扩展几乎没有影响。

自然因素是城镇空间扩展的基础条件,其直接影响着城镇扩展的宏观格局和发展变化^[46]。由高程的相对影响图 7(e)可知,海拔小于 60m 时对于城镇的扩展具有促进作用。当海拔超过 60m 时,对于城镇扩展的影响作用变为 0 值,这主要是因为研究区域高程 92% 小于 100m,大于 100m 的样点很少,导致 100m 后相对影响几乎为 0 值。从图 7(f)坡度对城市扩展的相对影响图来看,坡度为 0°~18° 时,有利于城镇的扩展,因为坡度较为平缓处有利于城市建设,促进城镇扩展。

地区 GDP 是指某区域经济中所生产出的全部最终产品和劳务的价值,是区域经济状况的定量数值反映。一个城市的经济增长,包括社会产品以及生产能力增长两种内涵,因此地区 GDP 值从一定程度上来说也代表着城市的生产能力,推动着城市经济发展且带动着城市的扩展。根据图 7(g)GDP 对城市扩展的影响图可知,GDP 值小与 4×10^6 万元时,对于城镇的扩展有着抑制作用。当 GDP 大于 4×10^6 万元后,相对影响值增大,对于城镇扩展起到了一定的促进作用。

4 结论与讨论

本研究运用 RS 结合 GIS 技术,采用扩展速率以及扩展强度指数、景观扩展指数、重心指数等对 2000~2017 年南昌市城镇用地扩展形态及其时空特征进行分析,并利用 BRT 模型从邻域、自然、社会经济方面进行驱动力分析。

(1) 南昌市不同时期的城镇用地扩展的速率和扩展强度存在明显的差异,第一阶段发展较为迅速,城镇用地迅速增长了 203.86km^2 ,而第二阶段发展趋于平缓,但仍处于一个增长阶段,城镇用地面规模逐步扩大,面积增长了 48.95km^2 ;两个阶段的扩展

模式均以边缘式为主,飞地式及填充式为辅,但扩展的方式存在“摊大饼”“块状式”等特征,扩展方式不合理,在第一阶段表现尤为明显。

(2)从总体上看,研究期间南昌市城市发展重心向西南方迁移了 2.19km,城市遵循向西南方向扩展的趋势。在第一阶段城市重心向西方向迁移了 1.50km,主要是因为南昌市“一江两岸”政策的提出导致赣江两岸城镇用地迅速发展带动重心发生较大偏移;在第二阶段城市重心继续向西南方迁移了 1.35km,城市整体上仍遵循往西部发展的趋势。但与此同时,由于南部远离中心城区的独立城镇用地开始发展,带动了重心在向西扩展的同时又向南产生较大偏移。

(3)整个研究期间,城镇用地在 16 个方向上的扩展以 SW 及 SWW 最强,而 NW 以及 SSE 方向上整体较弱,这是因为城镇用地在此方向上的扩展受到梅岭山脉以及军山湖泊一定程度上的阻碍,影响了城市空间格局扩展的连续性,因此导致该方向上扩展强度指数较小。第一阶段扩展强度指数较大,主要因为此阶段是南昌发展的新世纪,江西省委、省政府为全力支持南昌经济发展,提出做好“两篇文章”的战略举措,南昌市新区、高校园区、工业区的建设步伐开始加快,城镇用地快速扩展;而第二阶段南昌市城镇用地的扩展开始逐渐趋于一个发展的平稳期,导致城镇用地扩展的强度以及速度整体偏低,但总体来看城镇用地仍处于不断扩展的状态。

(4)通过利用 BRT 分析得到影响 2000~2017 年南昌市城镇用地扩展的驱动因素依次是距 2000 年城区的距离、土地利用类型、距河流的距离、距路网的距离、高程、坡度、GDP、坡向、城镇人口。根据 BRT 结果可知,在上述有关社会因素、自然因素以及邻域因素的 9 种因素中,邻域因素的总影响达到 63.93%,即邻域因素决定了研究区中非城镇用地转化为城镇用地 63.93%的可能性,其中距 2000 年城区的距离影响占 46.15%,起到了主导性的作用;社会因素对于城镇用地扩展的影响占 21.09%,其中土地利用类型所占比例较大,达到了 13.39%,说明城市扩展在一定程度上受到土地利用类型的影响;三类因素中,自然因素的影响最弱,只占 14.99%,分析得知主要是因为较短的研究时段下,自然因素对于城市的扩展影响不突出。总的来说,邻域因素是城市扩展的主导因素,良好的区位条件为城市扩展提供了有利条件;土地利用类型为城市扩展提供了空间导向,在人类活动越密集的地类上越易发生城市扩展;GDP、城镇人口等社会经济因素代表了城市的总体经济水平,决定了城市扩展的速度及强度;DEM、坡度等自然因素影响着城市扩展的整体形态,影响了城市扩展空间连续性。

本研究在选取影响城镇扩展相关的社会经济因素、自然因素以及邻域因素分析时发现,自然因素和邻域因素在空间化时较为简单,输出结果合理。而对于社会因素来说,本文仅是按照行政区进行赋值,在一定程度上影响了数据的准确性,因此如何将面状的经济、人口数据进行合理网格化是今后研究的方向。同时对于城市扩展来说,还有一个很重要的驱动因素是区域政策,但是区域政策无法进行空间量化,因此在驱动因素的定量分析过程中难以将政策因素量化,在今后的研究中有待进一步的补充和完善。

参考文献:

- [1]陆大道,姚士谋,李国平,等.基于我国国情的城镇化过程综合分析[J].经济地理,2007(6):883-887.
- [2]高延雷,张正岩,魏素豪,等.城镇化对中国粮食安全的影响——基于省区面板数据的实证分析[J].资源科学,2019,41(8):1462-1474.
- [3]王成军,何秀荣,费喜敏.工业化城市化对耕地变化作用研究——基于国际视角的实证分析[J].农业技术经济,2012(11):49-56.
- [4]宁爱凤,刘友兆.城市化进程中农业生产效率研究[J].资源科学,2013,35(6):1174-1183.
- [5]雷花.基于 BP 神经网络和 SVM 模型的西安市高陵区 UGB 划定研究[D].陕西:长安大学,2017.

-
- [6]李琳. “紧凑”与“集约”的并置比较——再探中国城市土地可持续利用研究的新思路[J]. 城市规划, 2006(10):19-24.
- [7]曾永年,何丽丽,靳文凭,等. 长株潭城市群核心区城镇景观空间扩张过程定量分析[J]. 地理科学, 2012, 32(5):544-549.
- [8]凌赛广,焦伟利,龙腾飞,等. 2000~2014年武汉市城市扩展时空特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(7):1034-1042.
- [9]郝丽莎,王晓歌,乔文怡,等. 1936年以来南京城市空间扩展特征研究[J]. 地理研究, 2019, 38(4):911-925.
- [10]张永彬,汲姣,郭力娜,等. 1978~2014年唐山市中心建设用地扩展时空分析[J]. 测绘科学, 2019(7):1-10.
- [11]王海军,王惠霞,邓羽,等. 武汉城市圈城镇用地扩展的时空格局与规模等级模式分异研究[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(2):272-285.
- [12]姜博,王媛,魏超,等. 城市土地利用扩展的驱动因素与空间扩展模式研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7):1-6.
- [13]李静,陈云波,刘小茜,等. 面向城市建成区扩展模拟的CA-Markov模型改进[J]. 测绘通报, 2018(3):60-65.
- [14]胡瀚文,魏本胜,沈兴华,等. 上海市中心城区城市用地扩展的时空特征[J]. 应用生态学报, 2013, 24(12):3439-3445.
- [15]董新宇,李家国,陈瀚阅,等. 东南亚地区城市扩张及驱动力分析[J]. 测绘科学, 1-13.
- [16]关兴良,胡仕林,蔺雪芹,等. 武汉城市群城镇用地扩展的动态模式及其驱动机制[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(11):1493-1501.
- [17]田光进. 基于遥感与GIS的中国城镇用地扩展特征[J]. 地球科学进展, 2003(4):504-508.
- [18]吴巍,陈敏,王楠,等. 中国城镇用地扩展时空异质性研究进展[J]. 地理与地理信息科学, 2017, 33(6):57-63.
- [19]高啸峰,刘慧平,张洋华,等. 1990~2010年长三角城市群城市扩展时空规律分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2016, 52(5):645-650.
- [20]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[J]. 地理学报, 2018, 73(6):1076-1092.
- [21]徐启恒,黄滢冰. 珠三角典型地区城市扩张测度及驱动机制分析[J]. 测绘科学, 2018, 43(1):45-53.
- [22]戴德艺,饶映雪,刘殿锋,等. 1989~2015年武汉市城市格局时空演变分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(10):1545-1554.
- [23]张志赞,刘辉,杨义伟. 资源枯竭型城市空间扩展进程研究——以淮北市为例[J]. 地理研究, 2018, 37(1):183-198.
- [24]吴晓青,胡远满,贺红士,等. 沈阳市城镇扩展时空格局及其驱动力[J]. 应用生态报, 2007, 18(10):2282-2288.

-
- [25] 关兴良, 胡仕林, 蔺雪芹, 等. 武汉城市群城镇用地扩展的动态模式及其驱动机制[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(11): 1493-1501.
- [26] 汪韬阳, 张过, 李沛然, 等. 基于 DMSP/OLS 夜光遥感影像的城市扩张政策驱动因素分析[J]. 测绘学报, 2018, 47(11): 1466-1473.
- [27] 张亚利, 唐菲菲. 基于稳健主成分估计的建城区面积变化驱动力分析——以重庆市为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(2): 107-113.
- [28] 曹飞. 省域城市建设用地驱动因素的空间面板分析[J]. 华东经济管理, 2016, 30(7): 75-80.
- [29] HASTIE T, TIBSHIRANI R, FRIEDMAN J. The Elements of Statistical Learning[M]. New York: Springer, 2009.
- [30] 胡丽. 南昌市城市空间扩展特征及影响因素的研究[D]. 江西师范大学, 2013.
- [31] 施利锋, 张增祥, 刘芳, 等. 1973~2013 年经济特区城市空间扩展遥感监测[J]. 遥感学报, 2015, 19(6): 1030-1039.
- [32] 刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式[J]. 地理学报, 2000(4): 407-416.
- [33] 刘小平, 黎夏, 陈逸敏, 等. 景观扩张指数及其在城市扩展分析中的应用[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1430-1438.
- [34] 吴巍, 黄翠萍, 赵晓杰, 等. 不同模式下城区用地空间扩展特征及机理——以赣州为例[J]. 城市发展研究, 2018, 25(12): 141-146.
- [35] 吴大放, 刘艳艳. 基于 RS/GIS 的珠海市城市空间扩展[J]. 热带地理, 2013, 33(4): 473-479.
- [36] 钱敏, 濮励杰, 张晶. 基于改进景观扩张指数苏锡常地区城镇扩展空间形态变化[J]. 地理科学, 2015, 35(3): 314-321.
- [37] ELITH J, LEATHEICK J R, HASTIE T. A working guide to boosted regression trees[J]. Journal of Animal Ecology, 2008, 77(4): 802-813.
- [38] PRASAD A M, IVERSON L R, LIAW A. Newer Classification and Regression Tree Techniques: Bagging and Random Forests for Ecological Prediction[J]. Ecosystems, 2006, 9(2): 181-199.
- [39] GLENN D. Boosted trees for ecological modeling and prediction[J]. Ecology, 2007, 88(1): 243-251.
- [40] 徐秋蓉, 郑新奇. 一种基于地理探测器的城镇扩展影响机理分析法[J]. 测绘学报, 2015, 44(S1): 96-101.
- [41] 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.
- [42] 李晓燕, 李慧颖, 满卫东, 等. 哈长城市群城镇用地扩展进程及其驱动因素研究[J]. 地理科学, 2018, 38(8): 1273-1282.
- [43] 谢花林, 李波. 基于 logistic 回归模型的农牧交错区土地利用变化驱动力分析——以内蒙古翁牛特旗为例[J]. 地理研

究, 2008 (2) :294-304.

[44] 沃尔特·克里斯塔勒. 德国南部中心地原理. 常正文, 王兴中, 等译. 北京: 商务印书馆, 2010.

[45] 梁健雄, 侯的平, 裘钢. 番禺城镇空间扩展与土地利用问题探讨[J]. 热带地理, 2003 (4) :362-365.

[46] 沈非, 袁甲, 黄薇薇, 等. 基于地学信息图谱的合肥市城市扩展时空特征及驱动力分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24 (2) :202-211.