
基于 RS/GIS 的长沙市城市空间扩展及影响因素^{*1}

谭雪兰^{1, 2} 欧阳巧玲¹ 江喆² 刘卓³ 谭洁¹ 周国华^{*2}

(1. 湖南农业大学资源环境学院, 中国湖南 长沙 410128;

2. 湖南师范大学资源与环境学院, 中国湖南 长沙 410081;

3. 湖南省勘测设计院, 中国湖南 长沙 410014)

【摘要】 基于 1989、1999、2009 和 2015 年的遥感影像, 利用 GIS 分析技术、等扇分析法和多元回归分析法, 分析了长沙市 1989 年以来的城市空间扩展的动态变化过程、特征及影响因素。结果表明: ①在扩展方式上, 长沙市城市空间扩展总体上以“团状+星状”扩展为主, 但不同时期具有不同的扩展特点; ②在扩展方向上, 总体经历了“东南东方向—东南方向—东南、西和东方向”空间转变过程, 其城市重心转移距离为 1 725.23m; ③应用多元回归模型构建长沙市城市空间扩展的驱动力指标评价体系, 认为其主要影响因素包括工业化的快速推进、社会经济的快速发展、交通区位条件的引导、国家的政策制度、规划调控、行政区划的调整。

【关键词】 城市扩张; 空间扩展; 城市形态重心; 扩展特征; 长沙市

【中图分类号】 F293.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000 - 8462 (2017) 03 - 0081 - 05

DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2017.03.011

1990 年代以来, 随着中国工业化与城市化进程的快速推进, 城市空间扩展迅速, 城市规模达到人类有史以来的最大规模, 并有持续扩张的趋势^[1-3]。当前, 城市空间扩展的过程与格局^[4-11]、模式与机制^[12-19]、优化与调控^[20-22]、模拟与预测^[23-24]等成为国内外学者研究的热点与焦点。近年来, 一些学者开始尝试对长沙市城市空间扩展进行研究, 如陈晓霞、朱顺娟、高亚琼等利用长沙市城市建成区的统计数据, 对城市扩展规模、速度、强度、模式等进行时空演变特征分析, 对影响因素、未来发展趋势的预测等进行了研究与探讨^[25-27]。总体来看, 学者们对长沙市城市空间扩展进行了大量的研究, 并取得了较为丰硕的成果, 但对城市空间扩展研究过多依赖于人口普查数据及统计年鉴数据, 而借助于 RS 和 GIS 技术对城市空间在各方向的扩展速度、强度等方面的研究较为缺乏, 对城市空间扩展的影响因素及影响机制研究以定性分析为主, 定量分析不足, 这在一定程度上制约了

¹ 收稿时间: 2016 - 08 - 09; 修回时间: 2016 - 10 - 11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41571168、41201175); 湖南省自然科学基金项目 (2016JJ3075); 湖南省哲学社会科学基金项目 (14YBA209); 湖南省科技厅软科学研究计划项目 (2012ZK3147)

作者简介: 谭雪兰 (1978—), 女, 湖南茶陵人, 博士, 博士后, 副教授。主要研究方向为城乡规划、乡村地理。
E-mail: txl780120@163.com。

***通讯作者:** 周国华 (1965—), 男, 湖南娄底人, 教授, 博士生导师。主要研究方向为城乡规划及乡村地理等。
E-mail: uuy828@163.com。

对城市空间扩展规律的认识，也阻碍了对不同地域环境背景下城市空间优化调控及技术规范的探索。

长沙市是中国长江以南地区重要的中心城市，综合实力排在中西部前列，2011年在中国最具竞争力城市中排名第七，其城市空间扩展具有一定的典型性和代表性。因此，本研究采用计量方法及3S技术手段，对长沙市城市空间扩展的速度、方向、方式及特征进行深入研究，并在此基础上，采用定性与定量分析相结合的方法，分析城市空间扩展的影响因素与作用机制，揭示长沙市城市空间扩展的一般规律，为长沙市及中西部其他同类区域城市空间有序调控提供依据。

1 研究区域概况

长沙市是中国中西部地区最具竞争力城市、长江以南重要的特大中心城市之一，是国家两型社会试验区。全市总面积11819.5 km²，下辖芙蓉、天心、雨花、岳麓、开福、望城六区。改革开放后，长沙市各方面的发展都领先于湖南省其他各县市，尤其是城市建设，城市空间进入了前所未有的快速扩张期，城市空间结构发生了显著变化。2015年，长沙市总人口737.17万人，城镇人口548.31万人，城市建成区面积为336.25 km²，GDP总量为8510.13亿元，人均GDP达115443元。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究所需数据主要包括长沙市城市空间扩展的数据及驱动力方面的数据。其中，城市空间数据选取长沙市1989年4月、1999年4月、2009年9月及2015年9月的四期TM影像数据，在MapGIS6.7软件的支持下，以长沙市1:5万的地形图为准进行遥感图像的预处理，采用控制点校正的方法，完成1989年图像的几何精校正，并以此为基准对1999、2009及2015年的影像进行几何配准。根据研究区域土地利用的特征对四期的遥感影像分别进行矢量化，解译出四期长沙市城市用地的范围并提取城市形态重心。

长沙市城市空间扩展的驱动力研究的数据主要来源于1999—2015年长沙市国民经济与社会发展统计公报^[28]、2000—2015年湖南统计年鉴^[29]以及2015年长沙统计年鉴。以建成区面积(Y)为因变量，以X₁(地区生产总值)、X₂(第三产业增加值/第二产业增加值)、X₃(全社会固定资产投资总额)、X₄(社会消费品零售总额)、X₅(人均可支配年收入)、X₆(年末实有道路长度)、X₇(全年旅客运输总量)、X₈(邮电业务总量)、X₉(高新技术产品总产值)、X₁₀(非农业人口高度)、X₁₁(粮食总产量)为自变量进行回归分析，定量揭示城市空间扩展的驱动力。

2.2 研究方法

2.2.1 等扇形法

扇形分析是指以研究区的中心为圆心，选取适当半径将研究区划分成若干相等的扇形区域，与各时期用地图层进行GIS叠加，通过计算不同方位的扩展指数描述用地类型的空间分异。在ArcGIS9.3中，本研究以长沙市火车站为中心(坐标为：x=28°11'50"，y=113°00'34")，以适当长度为半径，从北偏东11.25°为起点，画出16个夹角相等的扇形，转换成面文件后，调用ArcGIS9.3软件中的Analysis Tools/Overlay/Intersect工具，将主城区划分为16个扇形区域，据此分析不同时段各个扇区的扩展强度和方向。

2.2.2 紧凑度

紧凑度是反映城市空间布局形态的一个重要指标，通常采用Batty提出的计算公式：

$$BCI = 2\sqrt{\pi A} / P \quad (1)$$

式中：BCI 为城市用地的紧凑度指数；A 为城市建成区面积；P 为城市轮廓周长。BCI 的值一般在 0~1 之间，其值越大，形状越具有紧凑性，越接近于 1，形态越接近于圆形；反之，形态的紧凑性越差。

2.2.3 扩展强度指数

扩展强度指数用于分析和描述城市空间扩展的状态^[30]。计算公式为：

$$M = \frac{\Delta U_{ij}}{\Delta t_{ij} \times ULA_{ij}} \times 100\% \quad (2)$$

式中： ΔU_{ij} 为 i 到 j 时刻城市建成区面积的变化数量； Δt_{ij} 为 i 到 j 的时间跨度； ULA_{ij} 为 i 时刻的建成区面积。

2.2.4 重心迁移定量模型

城市空间分布重心变化可以反映城市空间扩展的时空演变过程和规律。计算方法如下：

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (3)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (4)$$

式中：X、Y 分别表示城市空间布局的重心经度值和纬度值； C_i 表示第 i 个城市斑的面积； X_i 、 Y_i 分别表示第 i 个城市斑的重心坐标。

3 结果与分析

3.1 城市空间扩展的特征分析

3.1.1 城市空间扩展方式

利用城市形态紧凑度和城市形态扩展强度计算公式分别计算出 1989、1999、2009 及 2015 年相应的数据（表 1），结合提取的长沙市城市形态（图 1），可以看出，1989—2015 年间紧凑度呈现持续下降状态，城市空间总体扩展方式是以“团状+星状”扩展为主，但各个阶段扩展具有不同的特点。1989—1999 年长沙市城市空间形态紧凑度最高，处于峰值，建成区面积扩展速度为 8.93km²/年，城市空间扩展以团状为主，星状扩展为辅，这主要是由于长沙市经济技术开发区、高新技术开发区的成立和快速发展；1999—2009 年长沙市紧凑度开始有所下降，但城市空间扩展速度达到峰值，为 11.61km²/年，这是由于国家“中部崛

起”战略的迅速实施、长株潭“两型社会”综合配套改革试验区的获批及长株潭城市群一体化进程的快速推进，使得长沙市城市空间扩展进入快速发展阶段，采取团状跳跃式扩展及星状内部填充相结合的方式进行扩展；2009—2015年长沙市紧凑度及扩展速度下降，表明此阶段城市空间以星状扩展为主，内部填充为辅，这个阶段的城市扩展主要是由于行政区划调整，将望城县调整为长沙市的第六个区，从而导致城市空间的扩展。

表1 长沙市城市空间扩展方式测度结果

Tab.1 The result of urban extends pattern of Changsha

年份	城市建成区面积(km ²)	周长(km)	紧凑度	扩展强度	扩展速度(km ² /年)
1989	103.87	82.68	0.44	-	-
1999	193.12	119.70	0.41	7.30	8.93
2009	309.21	182.05	0.34	12.72	11.61
2015	379.69	217.23	0.32	6.83	4.41

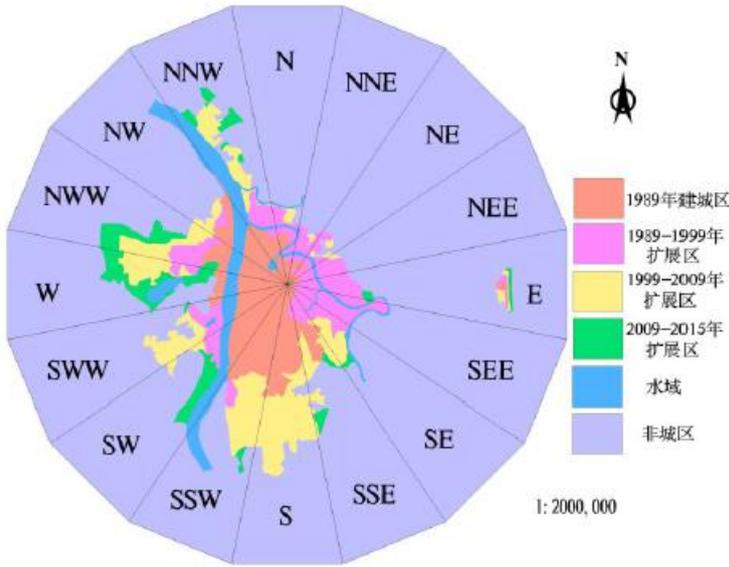


图1 1989—2015年长沙市城市形态等扇叠加分析
Fig.1 The analysis of superimposed fan change of urban form from 1989 to 2015

从表1可以看出，长沙市三个阶段城市空间扩展强度不同，总体经历了“高速扩展阶段—快速扩展阶段—低速扩展阶段”，即1989—1999年为城市空间高速扩展阶段；1999—2009年为城市空间快速扩展阶段；2009—2015年为城市空间低速扩展阶段，三个阶段的扩展强度分别为7.3、12.72和6.83。

3.1.2 城市空间扩展方向的各异性

由图2可知，1989—1999年城市空间扩展方向主要是东南东，其扩展强度指数超过了600，远远高于其它方位扩展强度指

数；1999—2009年城市空间扩展主要为东南，扩展强度指数超过了150，该方位属于高度扩展区域；2009—2015年城市空间扩展主要集中在东南、西和东三个方向。通过以上分析可以看出，长沙市城市用地在东南区域经过一段时间的重点发展之后，开始向东和西方向快速发展，城市空间格局长期集聚在东南区域发展的空间格局开始逐步得到优化与调整，扩展方向呈现出由单一向多样化转变的态势。

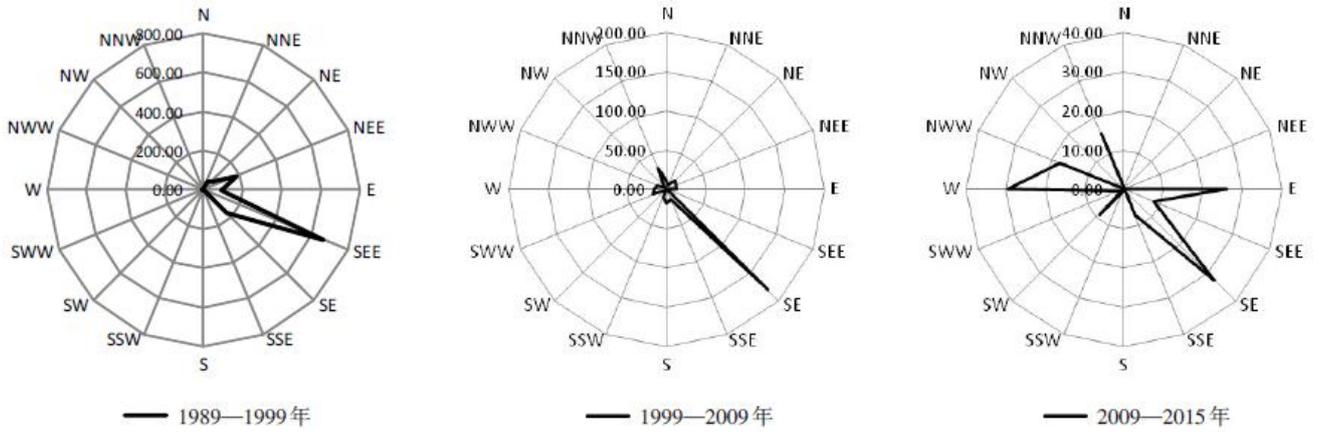


图2 1989—2015年长沙市城市空间各方位扩张强度雷达图
 Fig.2 The expand intensity of each direction of urban form in Changsha from 1989 to 2015

3.1.3 城市空间分布重心迁移

由图3可以看出，26年来长沙市城市空间扩展方向经历了向东—南—西扩展的动态变化轨迹。1989—2015年长沙市城市形态重心转移的距离为1725.23m，其中1989—1999年重心转移距离为1308.90m，1999—2009年重心转移距离为1766.78m，2009—2015年重心转移距离为1496.99m。重心的迁移规律与城市空间发展战略基本吻合，即1989—1999年的长沙市经济技术开发区落户东部，1999—2009年的长株潭城市群整合发展，使长沙市向南扩展趋势明显，2009—2015年的行政区划调整，长沙市西部的望城县划入长沙市的市区。

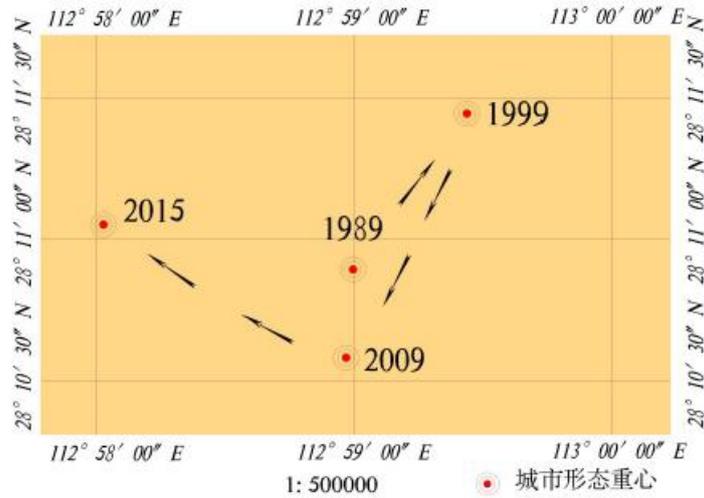


图3 1989—2015年长沙市城市形态重心迁移变化
 Fig.3 The offsetting of center gravity of urban form in Changsha from 1989 to 2015

3.2 城市空间扩展的影响因素识别及其影响机制

为进一步识别城市空间扩展的主要影响因素，本研究从经济发展、科技发展、政策制度与规划引导等方面选取了 11 个指标，运用 SPSS17.0 统计软件采取向后筛选策略进行指标的筛选和计算，结果显示，回归方程 $R^2=0.95$ ，通过了 1% 的显著性检验，模型中的各常数项系数都能通过 t 检验和 F 检验，因此模拟得出的回归方程是可行的。方程如下：

$$Y = 991.38 + 6.3X_1 - 8.31X_2 + 0.048X_5 + 0.24X_6 + 0.1X_7 + 0.497X_8 + 0.003X_9 + 2.594X_{10} - 0.345X_{11} \quad (5)$$

基于方程（5）可知：

首先，影响长沙市城市空间扩展的主导因素是第三产业增加值/第二产业增加值（ X_2 ），其影响系数达-8.31，是粮食总产量（ $X_{11}=-0.345$ ）的 24 倍，但 X_2 数值呈现下降趋势，从 1998 年的 1.01 减至 2015 年的 0.82，表明长沙市第二产业增加值的增长速度明显快于第三产业增加值，即长沙市的社会经济发展仍处于工业化快速发展阶段，工业仍是长沙市城市空间扩展的首要影响因素，这主要是由于长沙市的经济技术开发区、高新技术产业开发区、暮云工业园和隆平高科技园等各类园区的快速发展，工业用地的快速发展带动了城市空间的迅速扩张。

其次，地区生产总值（6.3）> 非农业人口（2.594）> 邮电业务总量（0.497）> 年末实有道路长度（0.24）> 全年旅客运输总量（0.1）> 人均可支配年收入（0.048）> 高新技术产品总产值（0.003），说明长沙市城市空间扩展的主要正相关推动力是区域经济发展水平，第二位是非农人口增加和交通导向，而高新技术产业对城市空间扩展的影响不够显著，表明长沙市城市空间扩展总体上呈现粗放外延式的扩展态势，其空间发展仍是依靠经济增长及人口数量的增加；交通条件对城市空间扩展具有引导作用，但作用强度不够明显；而长沙市高新技术产业发展较为缓慢，对城市空间扩展的作用强度微弱，表明未来时期内长沙市应大力推进高新技术产业发展，使高新技术产业成为城市发展的重要助推器。

再次，政府的政策引导、投资导向及城市规划在一定程度上引导、调控着城市的扩张。1990年代以来，随着国家中部崛起战略与长株潭城市群两型社会示范区战略的实施以及湖南省“一点一线”开发、长株潭经济一体化建设、望城撤县建区等区域开发战略的提出在宏观层面的调控以及长沙市开发区与大学城建设等城市开发模式的推行在微观层面的作用对长沙市城市扩张的影响是不可忽略的。“一点一线”开发使得长沙市的核心理地位更为突出，城市增长更为迅速，长株潭城市群区域规划提出营造长沙、株洲、湘潭三核相向发展的空间框架，为长沙市拓展重点的东移与南移创造了条件。

4 结论与讨论

第一，团状扩展、星状扩展及内部填充扩展是近30年来长沙市城市空间扩展的主要方式。总体上看，长沙市城市空间扩展遵循“团状扩展—星状扩展—内部填充扩展—团状扩展”模式，而这种扩展模式无疑加重了城市蔓延程度，刺激城市“摊大饼”式扩张。

第二，城市空间扩展动态变化过程分析对于引导城市空间的合理有序发展具有十分重要的意义。长沙市城市空间扩展方向经历了“东南东方向—东南方向—东南、西和东方向”空间转变过程，这种空间变化轨迹在一定程度上也是城市发展战略、城市规划及政府政策引导的结果。

第三，工业化的快速推进、社会经济的快速发展、交通区位条件的引导、国家的政策制度、规划调控、行政区划的调整等多种因素构成了长沙市城市空间扩展的主要影响因素，导致长沙市城市空间在行政主导的作用下，遵循交通区位原则，进行粗放式的外延扩展。

与国内同类研究的结论相比，本研究认为城市空间扩展的方式、形态对城市用地模式及效应均会产生重要影响，城市扩展方向与区域规划、政策具有密不可分的关系，特别是行政具有十分重要的主导作用。本研究利用长沙市多期的遥感数据提取城市建成区，从宏观层面来研究其城市空间整体扩展的演变过程，未能对不同时期城市内部不同用地类型的规模、空间布局、空间组合、空间类型比例等微观层面分析城市空间扩展，因此，研究结果对于长沙市城市空间结构的优化调控具有一定的局限性。未来将进一步收集与丰富相关资料，从城市内部用地结构来研究城市空间结构优化与调整问题。

参考文献：

- [1] 周春山, 叶昌东. 中国城市空间结构研究评述 [J]. 地理科学进展, 2013, 32(7): 1030 - 1038.
- [2] 刘沁萍, 杨永春, 付冬暇, 等. 基于 DMSP-OLS 灯光数据的 1992~2010 年中国城市空间扩张研究 [J]. 地理科学, 2014, 34(2): 129 - 136.
- [3] 施利锋, 张增祥, 刘芳, 等. 1973 年~2013 年经济特区城市空间扩展遥感监测 [J]. 遥感学报, 2015, 19(6): 1 030 -1039.
- [4] 王开泳, 戚伟, 邓羽. 2000 年以来中国城市空间扩张的时空平稳性 [J]. 地理研究, 2014, 33(7): 1 195 - 1 206.
- [5] 安乾, 李小建, 吕可文. 中国城市建成区扩张的空间格局及效率分析(1990—2009) [J]. 经济地理, 2012, 32(6): 37-45.
- [6] 潘竟虎, 韩文超. 近 20a 中国省会及以上城市空间形态演变 [J]. 自然资源学报, 2013, 28(3): 470 - 480.

-
- [7] 何劲, 宋茵, 胡伟平. 改革开放以来广佛都市区空间扩展分析 [J]. 人文地理, 2014(2): 101 - 107.
- [8] 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): 1 533 - 1 541.
- [9] 乔伟峰, 毛广雄, 王亚华, 等. 近 32 年来南京城市扩展与土地利用演变研究 [J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(2): 200 - 209.
- [10] Webster C. Pricing accessibility: Urban morphology, design and missing markets [J]. Progress in Planning, 2010, 73: 77 -111.
- [11] 王士君, 王若菊, 王永超. 基于 RS 与 GIS 的大庆市城市空间形态演化分析 [J]. 经济地理, 2012, 32(6): 67 - 73.
- [12] 刘盛和, 陈田, 张文忠. 沿海地区城市土地利用扩展的时空模式 [M]. 北京: 商务印书馆, 2008.
- [13] 杨晓娟, 杨永春, 张理茜, 等. 基于信息熵的兰州市用地结构动态演变及其驱动力 [J]. 干旱区地理, 2008, 31(2): 291 -297.
- [14] 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.
- [15] 杨显明, 焦华富, 许吉黎. 基于发生学视角的淮南城市空间生长过程、特征及影响因素研究 [J]. 地理科学, 2014, 33(5): 563 - 570.
- [16] 李俊峰, 高凌宇, 焦华富. 上海城市跨黄浦江扩展的空间组织过程及模式 [J]. 经济地理, 2015, 35(4): 54 - 61.
- [17] 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): 1 327 - 1 335.
- [18] 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): 1 493 - 1 501.
- [19] Poelmans L, Rompaey A V. Complexity and performance of urban expansion models [J]. Computers Environment and Urban Systems, 2010, 34(1): 17 - 27.
- [20] 李嘉佳, 熊理然, 王锦, 等. 新城市主义理念下大昆明城市空间扩展控制及其优化研究 [J]. 现代城市研究, 2014(2): 47 -52.
- [21] 戢晓峰, 张玲, 陈方. 物流一体化视角下城市群空间组织优化研究——以长江经济带城市群为例 [J]. 地域研究与开发, 2015, 34(5): 24 - 28, 41.
- [22] 卢有朋, 陈锦富, 朱小玉. 基于出行需求的大城市中观尺度空间布局优化策略——以武汉市关山口街区为研究案例 [J]. 城市发展研究, 2015, 22(9): 96 - 101, 124.
- [23] 吴巍, 周生路, 魏也华, 等. 空间异质模型在城市扩展模拟中的应用与评估 [J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2013,

40(12): 114 - 119.

[24] 崔福全, 徐新良, 孙希华. 上海城市空间扩展过程模拟预测的多模型对比 [J]. 生态学杂志, 2012, 31(10): 2 703 - 2 708.

[25] 陈晓霞. 长沙市城市空间扩展及驱动因素研究 [J]. 农村经济与科技, 2016, 27(11): 244 - 247.

[26] 朱顺娟, 陈群元, 游胜景. 城市空间扩展模型及对长沙市的模拟研究 [J]. 地域研究与开发, 2011, 30(1): 65 - 68.

[27] 高亚琼. 基于 SLEUTH 模型的长沙市城市扩展模拟与空间优化研究 [D]. 长沙: 湖南师范大学, 2015.

[28] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1999—2015.

[29] 湖南省统计局. 湖南统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000—2014.

[30] 乔伟峰, 刘彦随, 王亚华, 等. 21 世纪初期南京城市用地类型与用地强度演变关系 [J]. 地理学报, 2015, 70(11): 1800 -1810.