

衡阳市主城区空间扩张数据集 (2001–2017)

胡 最*, 王 慧, 赵 莎

衡阳师范学院城市与旅游学院, 衡阳 421002

摘 要: 衡阳市位于湖南省东南部, 为湖南省域副中心城市。作者以 2001–2017 年覆盖衡阳市的多个时期 LANDSET ETM+影像、SRTM 30-m 的 DEM 数据和城市规划数据等为数据源, 通过 ArcGIS 软件构建了多因素制约的城市空间扩张过程元胞自动机模拟模型 (Multi-factors Constrained Expanding Simulation CA, MCES-CA); 并以 2001 年由 LANDSAT ETM+影像解译的衡阳市主城区空间分布数据为基准, 运用 MCES-CA 模拟了 2002–2017 年衡阳市主城区的扩张, 得到衡阳市主城区城市扩张数据集 (2001–2017)。结果表明, MCES-CA 的模拟精度总体达 89.24%。衡阳主城区的空间扩张具有多方向、多阶段的特征, 受到城市的自然环境和发展规划等因素制约。该数据集包括: (1) 2001 年衡阳市主城区空间分布数据; (2) 2002–2017 年衡阳主城区模拟扩张数据; (3) MCES-CA 工具箱。该数据集存储为 .gdb 和 .tax 格式, 由 470 个数据文件组成, 数据量为 2 MB (压缩为 1 个文件, 177 KB)。

关键词: 城市化; 元胞自动机; 模拟; 衡阳主城区; 2001–2017

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2020.03.07>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:
<https://doi.org/10.3974/geodb.2020.04.10.V1>.

1 前言

目前, 中国正经历快速城镇化阶段^[1], 城市扩张是一个十分复杂的社会经济过程, 受到城市规划、地理环境、水系等诸多因素的影响。结合数量模型探索城市空间扩张规律成为城市科学领域的研究热点。其中, 系统动力学模型和过程耦合模型受到学者的广泛使用。元胞自动机 (Cellular Automata, CA) 是基于离散格网的动力学模型, 具有结构简单、自底向上且易于扩展等优点。因此, Tobler 等人较早将 CA 引入到城市扩展研究^[2]。此后, CA 作为一种重要的地理过程方法直接促成了地理自动机 (Geographic Automata Systems, GASs)^[3]的形成。现今, CA 主要应用于基于人工智能的城市扩张模拟等方面, 以帮助人们揭示更多的城市奥秘^[4–6]。如, 杨青生和黎夏^[7]运用多智能体和元胞自动机结合的方法对城市用地扩张进行模拟研究。此外, 也有学者针对元胞自动机模型中的尺度问题对城市生长和演化进行研究, 并以长沙市^[8]和上海市嘉定区^[9]为例进行了模拟。

收稿日期: 2020-06-18; 修订日期: 2020-09-18; 出版日期: 2020-09-25

基金项目: 国家自然科学基金 (41771188, 41701163); 基地项目 (HIST20K01)

*通讯作者: 胡最, 衡阳师范学院城市与旅游学院, fuyanghuzui@163.com

数据引用方式: [1] 胡最, 王慧, 赵莎. 衡阳市主城区空间扩张数据集 (2001–2017) [J]. 全球变化数据学报, 2020, 4(3): 265–271. <https://doi.org/10.3974/geodp.2020.03.07>.

[2] 胡最, 王慧, 赵莎. 衡阳市主城区空间扩张数据集 (2001–2017) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. <https://doi.org/10.3974/geodb.2020.04.10.V1>

衡阳市是湖南省副中心城市，拥有较大的人口体量、良好的交通区位和特殊的矿产资源，但其城市化水平却低于同时期的全国和湖南全省的平均水平，这也严重滞后了衡阳市的经济社会发展。因此，综合考虑城市规划、地形和地貌等因素，探究多因素影响下的 CA 城市扩张模拟，既可以为衡阳的城市发展和建设提供参考，也可以为全国其他类似的地级城市的相关研究提供案例。

衡阳市主城区空间扩张数据集的研发是基于遥感影像和规划因子等数据，采用地理元胞自动机（Geo-CA）模拟 2001–2017 年间的空间扩张过程模型^[10]，通过 ArcGIS 平台构建并实现了 MCES-CA 模型模拟。经检验，该模型模拟的精度达 89.24%。本数据集主要包含在 ArcGIS 中搭建的 MCES-CA 模型模拟数据，及以 2001 年的遥感影像提取的主城区城市形态为基础模拟的 2002–2017 年衡阳市主城区空间扩张的结果数据。

2 数据集元数据简介

《衡阳市主城区空间扩张数据集（2001–2017）》^[11]的名称、作者、地理区域数据年代、时间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息详见表 1。

表 1 《衡阳市主城区空间扩张数据集（2001–2017）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	衡阳市主城区空间扩张数据集（2001–2017）
数据集短名	ExpansionHengyang_2001-2017
作者信息	胡最，衡阳师范学院城市与旅游学院，fuyanghuzui@163.com 王慧，衡阳师范学院城市与旅游学院，1220976895@qq.com 赵莎，衡阳师范学院城市与旅游学院，1271733734@qq.com
地理区域	湖南省衡阳主城区
数据年代	2002–2017
数据格式	.gdb, .tax
数据集组成	由一个文件数据库和一个 ArcGIS 建模工具组成
基金项目	国家自然科学基金（41771188，41701163）；基地项目（HIST20K01）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增 值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则，即从本数据集中摘取的数据记 录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[12]
数据和论文检索系统	DOI, DCI, CSCD, WDS/ISC, GEOSS, China GEOSS, Crossref

3 数据来源与研究区域

3.1 数据来源

本项模拟研究的基础数据是在遥感影像（自 2001–2017 年间的 Landsat ETM+影像数据）^[13]基础上进行几何校正等预处理得到。这些数据以 2001 年的遥感影像为基准，提取

衡阳市主城区的城市空间形态数据作为模拟的基准数据。在实验过程中，数据提取其他年份主城区的城市空间形态数据作为相应年份的模拟结果进行检验。

3.2 研究区概况

衡阳市是湖南省域副中心城市，位于湖南省中南部，湘江中游，衡山之南。衡阳城区地处衡阳盆地腹心，位于湘江与耒水、蒸水交汇处，呈典型的“三道水口锁大江”格局^[14]，以良好的区位成为湘中南地区的工业重镇与交通枢纽。截至 2017 年末，衡阳市城镇化率达 52.46%^[14]，总体而言，城市化水平低于湖南省平均水平。衡阳城区包括主城区的雁峰、石鼓、珠晖和蒸湘四区以及远郊的南岳区。因南岳区距离主城区有 50 km 的空间距离，故本数据集仅考虑位居主城的四区。

3.3 技术路线

为了使模拟衡阳主城区的空间扩张更接近实际，在数据研发过程中还添加了 SRTM 30-m 空间分辨率的 DEM 数据、各年份的城市用地规划和城区的河流水系作为限制因子，来进行元胞的数据模拟空间状态转换。结合面向对象的分析方法，本数据集构造多元因子约束的城市空间扩展模拟 CA 模型（Multi-factors Constrained Expansion Simulation CA，MCES-CA），并在 ArcGIS 中设计了具体的模型构建与运行流程，如图 1 所示。

作者将衡阳主城区 2001 年土地利用数据作为初始元胞输入，然后将相应的邻域因子、坡度因子、规划因子和水体作为状态转换的约束条件输入。为了提高模拟精度，在模拟过程中，在计算邻域因子时，将 Moore 邻域扩展为 5×5 窗口范围内的邻域元胞的集合。本数据集将模型迭代的时间尺度设置为 1 年，初始转换阈值为初始元胞与限制因子叠置分析结果的三分之一。设定初始阈值之后，模型开始迭代运行。每一次迭代结束后，将模拟结果中小于转换阈值的元胞置为非城区，反之则置为城区，然后适当提高元胞的转换阈值以进入下一次迭代。当模型迭代结果逼近其相应年份遥感影像提取的城区时即终止，本项模拟研究将此时的元胞转换阈值确定为最佳转换阈值。

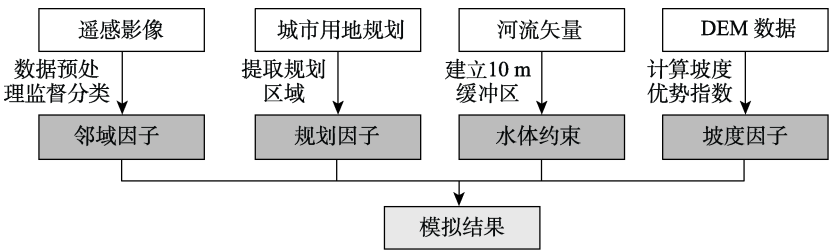


图 1 CA 处理技术路线图

4 数据结果与检验

4.1 数据集组成

《衡阳市主城区空间扩张数据集（2001–2017）》由栅格数据和 MCES-CA 的模型工具组成，其中 MN2002.tif、MN2003.tif、MN2004.tif 等代表研究区利用 MCES-CA 模型模拟得到的对应年份的城区空间扩张结果数据。

4.2 数据结果

从衡阳主城区空间扩张的模拟结果（图 2）可以看出通过 CA 模拟的元胞数量结果与实际

情况的相对误差较小,控制在 5%以内。其中,模拟与现实情况的元胞数量变化如图 3 所示。元胞数量呈现出城区逐年递增、非城区逐年递减的特征。从空间扩张过程图谱(图 4)可以明

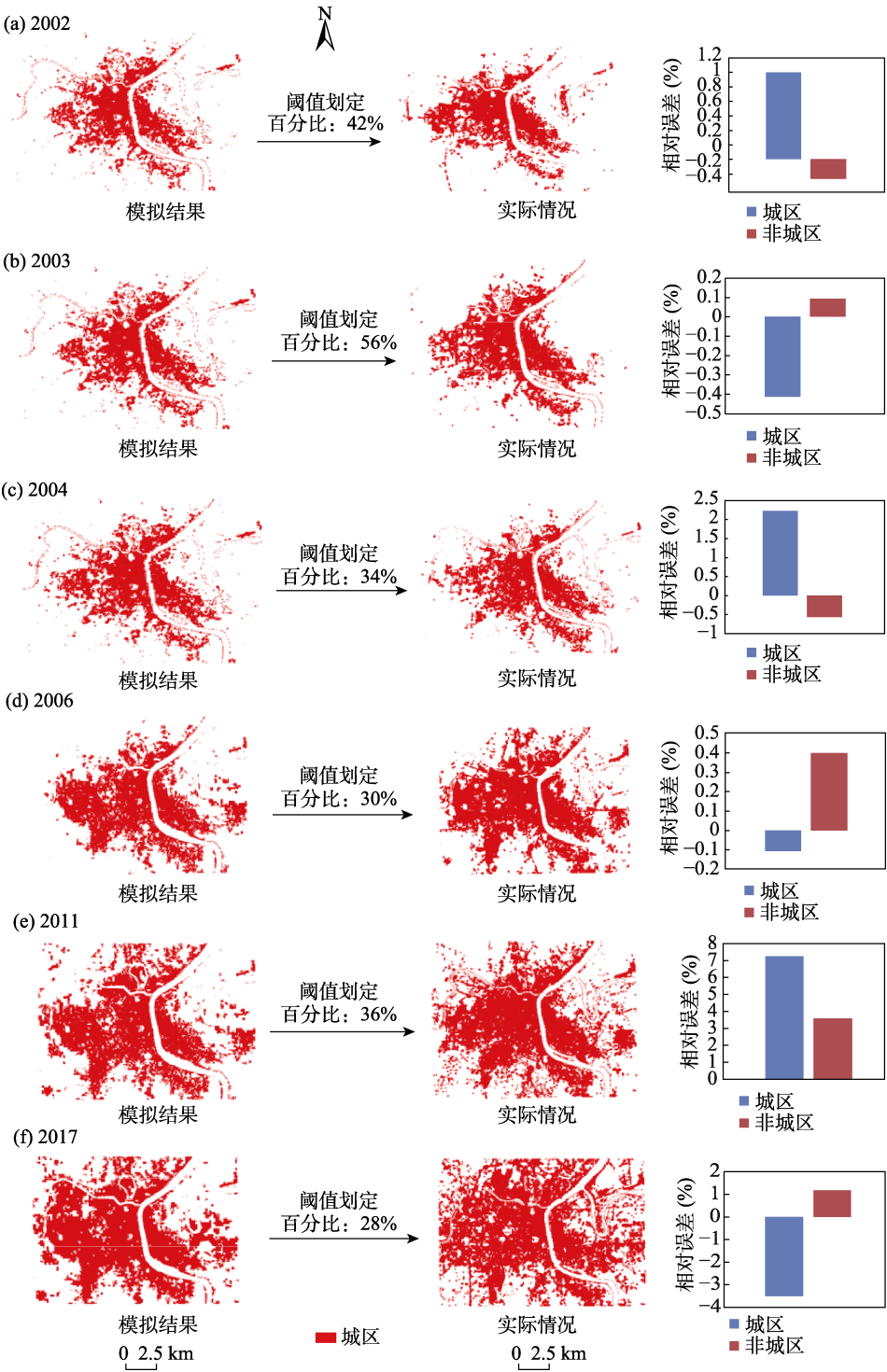


图 2 模拟结果及相应年份的对比

确：衡阳主城区自 2001–2017 年间的城市空间扩张具有方向性突出和阶段性明显的特征。

（1）衡阳城市空间扩张的方向性特征主要分为三个阶段。2001–2006 年间，衡阳主城区主要向西部扩张；2006–2011 年间，衡阳主城区主要向东部扩张；2011–2017 年间，衡阳主城区主要向北部扩张。

（2）衡阳城市空间扩张的程度具有明显的阶段性特征。第一阶段是 2001–2004 年间的缓慢扩张阶段。第二阶段是 2004–2017 年间的快速扩张阶段。其中，第二阶段以 2006 和 2011 年为界又具有速度不同的阶段性特征。2004–2006 年间，衡阳主城区急剧扩张，在此期间，城区几乎扩张了近 1 倍。2006–2011 年间，衡阳主城区空间扩张又趋于平缓。自 2011–2017 年间，衡阳主城区又恢复了快速的空间扩张态势。

根据 MCES-CA 模拟结果，本数据集以一年为时间单位，利用城镇扩张动态指数分析衡阳市主城区在整个研究时段内的扩张动态特征（图 5）。城镇扩张动态指数在年平均变化速率上引入了初始城市用地面积，其计算结果能够反映城市扩张的相对动态变化率。从扩张动态度（图 5）来看：在 2004–2005 年间，衡阳市城区空间扩张动态度最大，扩张面积最大，之后扩张动态度下降明显；在 2008–2009 年间，城市扩张速度又有所增加，之后的扩张动态度呈现缓慢下降与逐渐增加交替出现的特点。

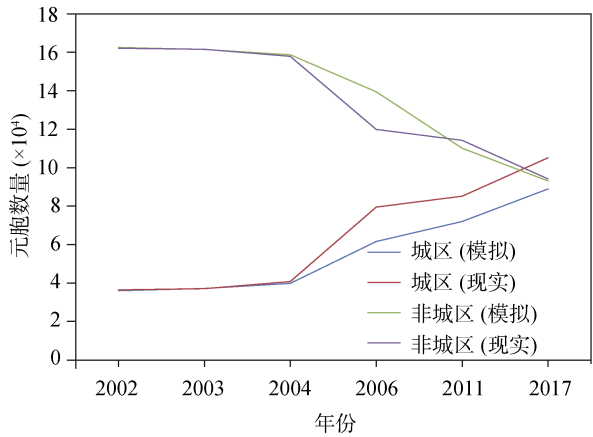


图 3 模拟与现实元胞数量对比

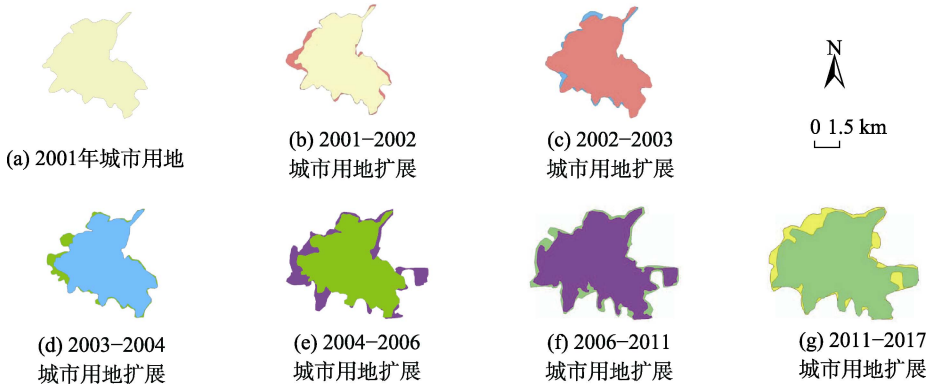


图 4 2001–2017 年衡阳主城区空间扩张过程图谱

综合 MCES-CA 运行结果数据来看，衡阳主城区空间扩张过程模拟中呈现的阶段性特征与实际的城市发展过程相吻合。一方面，城市的空间扩张受地形和水系等自然因素的制约；另一方面，城市的空间扩张过程也受到政策、规划和资金投入等社会经济因素影响。这说明，本项模拟研究考虑城市发展规划、用地情况等复杂社会因素对城市空间形态的影响有利于提高模拟结果的精度。此外，根据不同年份的城市建成区面积计算得到的衡阳主城区空间扩张强度与扩张速度的特征与本项研究的时段内城区空间扩张过程相符合。其一是本项模拟以年度为单位模拟衡阳城区空间扩张过程可以直观地衡量城市空间扩张变化的特征；其二是在统一时间基准的基础上，可以通过扩张强度反映不同年份城市空间扩张的增量，通过扩张速度反映城市空间扩张的快慢程度。

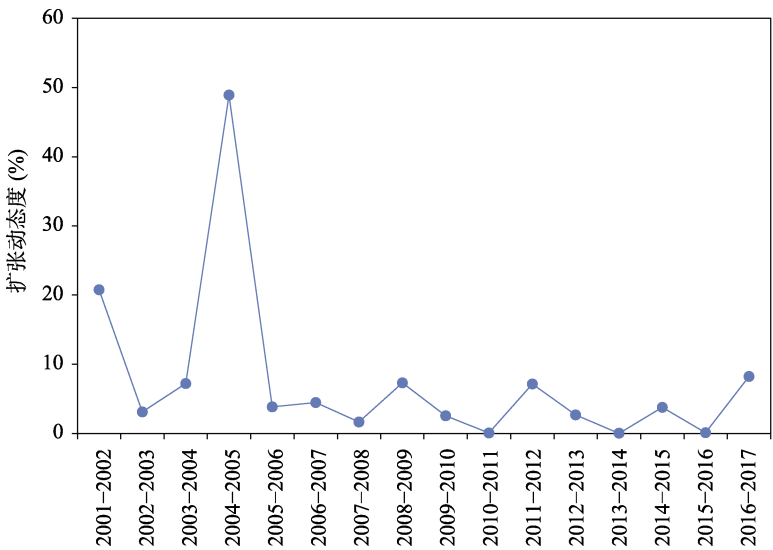


图 5 衡阳市主城区空间扩张动态度（2001–2017）

4.3 数据验证

作者通过模型模拟的城区扩张结果与对应年份遥感影像提取的实际城区用地情况的混淆矩阵来检验模型的精度。以 2002、2003 和 2004 三个年份的模拟结果为例，2002 年的模型总体精度为 89.24%，Kappa 系数为 0.64；2003 年的模型总体精度为 92.27%，Kappa 系数为 0.75；2004 年的模型总体精度为 89.87%，系数为 0.69。三个年份的 Kappa 系数均在 0.6–0.8 之间，可以判定 MCES-CA 的模拟精度较高。

5 讨论与结论

《衡阳市主城区空间扩张数据集（2001–2017）》是通过 2001–2017 年间遥感影像作为基本数据源，通过 ArcGIS 定义并实现了 MCES-CA 模型，并使用该模型模拟了该时间段衡阳市主城区扩张结果。CA 模拟的精度确实是一个需要持续深入的难题，但在本数据集的方法中，通过扩张邻域、对影响因子进行叠置和迭代确定最佳转换阈值等方法提高了模拟精度。数据集中模拟和现实情况相对误差控制在 5%以内，根据 Kappa 系数的计算，

MCES-CA 模型的总体精度也较高。

本数据集模拟的衡阳市主城区扩张结果对衡阳市今后的发展和城市建设规划有一定的帮助, 构建的 MCES-CA 模型也可以广泛应用到其他地区的模拟扩张研究中。

作者分工: 胡最对数据集进行整理和优化; 王慧搭建了 MCES-CA 模型, 模拟衡阳主城区的扩张数据; 赵莎分析数据并撰写了数据论文。

参考文献

- [1] 方创琳, 王振波, 马海涛. 中国城市群形成发育规律的理论认知与地理学贡献[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 651–665.
- [2] Tobler, W. R. Cellular Geography [M]. //Philosophy in Geography, Gale, S., Olsson, G. (eds.). Dordrecht: Theory and decision Library, 1979.
- [3] Paul, M. T., Itzhak, B. Geographic automata systems [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2005, 19(4): 385–412.
- [4] 崔学刚, 方创琳, 李君等. 城镇化与生态环境耦合动态模拟模型研究进展[J]. 地理科学进展, 2019, 38(1): 111–125.
- [5] Wu, N., Silva, E. A. Artificial intelligence solutions for urban land dynamics: a review [J]. *Journal of Planning Literature*, 2010, 24(3): 246–265.
- [6] Garcia, A. M., Sante, I., Boullon, M., et al. Calibration of an urban cellular automaton model by using statistical techniques and a genetic algorithm. Application to a small urban settlement of NW Spain [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2013, 27(8): 1593–1611.
- [7] 杨青生, 黎夏. 多智能体与元胞自动机结合及城市用地扩张模拟[J]. 地理科学, 2007(4): 542–548.
- [8] 尹长林, 张鸿辉, 游胜景等. 元胞自动机城市增长模型的空间尺度特征分析[J]. 测绘科学, 2008(5): 78–81.
- [9] 冯永玖, 刘妙龙, 韩震. 集成遥感和 GIS 的元胞自动机城市生长模拟——以上海市嘉定区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2011(1): 9–13.
- [10] 胡最, 王慧. 多因素约束的城市空间扩张元胞自动机构建及其应用研究[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(3): 616–627.
- [11] 胡最, 王慧, 赵莎. 衡阳市主城区空间扩张数据集(2001–2017)[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. <https://doi.org/10.3974/geodb.2020.04.10.V1>.
- [12] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [13] USGS Earth Explorer: download free Landsat imagery [EB/OL]. <https://gisgeography.com/usgs-earth-explorer-download-free-landsat-imagery/>.
- [14] 文化广电新闻出版局网. 人杰地灵 中国六大风水城市之四 三道水口锁大江——衡阳[OL]. <http://wgxj.ykdz.gov.cn/wenhuarenwu/renjiediling/2015-12-17/19438.html>.