

成渝城市群中心城市空间扩展特征及驱动机制^{*}

刘小波^{1,2}, 王海力¹, 刘颖³, 李益彬¹

(1. 内江师范学院 地理与资源科学学院, 四川 内江 641100;

2. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 山区发展研究中心, 成都 610041;

3. 西华师范大学 地理科学学院, 四川 南充 637002)

摘要:为探究成渝城市群中心城市空间演变时空过程、揭示其中驱动机制并基于成渝地区双城经济圈建设背景模拟未来城市空间扩展方向,采用城市空间特征测度方法、地理探测器、FLUS模型等方法进行了深入分析,研究结果如下:1) 1980—2020年成渝城市群中心城市空间扩展迅速,城市规模大幅增加,扩展强度均呈现上升趋势。中心城市的紧凑度指数一直呈下降趋势,而分形维数则几乎同步呈现先上升后下降的趋势,城市空间形态不规则化、离散化趋势明显。成都市城市空间扩展形成以同心圆圈层扩展为主的“圈层式、放射状”模式;重庆市城市空间扩展则形成“多中心、多组团”模式。2) GDP、人口、交通和开发区是成渝城市群中心城市空间扩展的主要驱动因素。经济的快速发展吸引人口大量集聚,成为城市空间扩展的根本动力,推动城市空间快速扩张;城市内外不断形成的高速公路网络格局与规划新建的开发区,则对城市空间扩展方向形成明显的牵引作用,是城市空间扩展过程中最直接的推动因素。3) 模拟结果显示未来成渝城市群中心城市仍将依托原有城市空间向外围扩展,同时政策规划要素对城市空间扩展的牵引作用进一步凸显,城市空间将逆向突破地形限制,相向扩展,形成新的城市空间格局。上述研究结果提示:成渝城市群中心城市空间扩展过程存在差异,主要驱动因素从自然因素主导向经济因素和社会因素主导转变,中心城市间相向吸引的互动作用逐渐凸显。建议未来充分发挥成渝地区双城经济圈战略的动能作用,优化城市空间结构,带动成渝地区中部中小城市发展,优化和完善成渝地区城市体系。

关键词:空间扩展;驱动机制;地理探测器;FLUS模型;成渝城市群

中图分类号:X22;F299.21

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2024)03-0121-12

城市是地表人地关系交互作用最强烈的地区,城市空间扩展是人类对城市土地利用过程和格局的综合反映^[1]。近几十年来,中国城市建设空前活跃,经历了世界上规模最大、速度最快的城镇化进程^[2]。随着中国第3次城镇化进程的开展,城市集聚与扩散效应得以充分发挥,尤其是区域中心城市的增长极效应有力地带动和加速了区域城镇化进程^[3]。然而如土地资源的无序开发、低效利用等一系列问题也随之而来,人地矛盾也因此加剧^[4],并由此引发了人们对城市空间扩展过程与机制的持续关注。

城市空间扩展是城市土地利用的直接结果,能清晰记录城市化推进过程;城市空间扩展的方位、速度、模式、机制等均会对城市的可持续发展产生深远影响^[5-6]。城市空间扩展特征及过程机制蕴含着城市形态的变化规律,能够窥测城市未来演变趋势,是城市发展政策规划制定的重要基础^[7]。1899年Otto发表的《城镇平面布局》是城市空间形态研究的开山之作^[8-9]。随着城市化进程的加速,关于城市空间的研究不再囿于形态特征而逐渐向空间扩展延伸,如精明增长^[10-11]、城市蔓延^[12]等,主要基于遥感影像数据并结合多元回归分析、聚类分析、主成分分析、因子分析等统计方法^[13-14],探索特定时期内城市扩展的空间特征。在中国,对于城市空间扩展的研究伴随着近些年城镇化的快速推进而逐渐丰富;GIS、RS等地理信息技术广泛应用,同时辅以系统动力学、空间句法、元胞自动机等数理模型^[15-16],使得定量刻画城市空间扩展的方位、规模以及重心迁移过程,揭示城市空间扩展过

^{*} 收稿日期:2022-10-24 修回日期:2023-03-13 网络出版时间:2023-10-07T14:52

资助项目:国家社会科学基金项目(No. 20XZS020);四川省社会科学重点研究基地沱江流域高质量发展研究中心课题(No. TJGZL2022-18, No. TJGZL2022-26);四川省社会科学重点研究基地四川县域经济发展研究中心课题(No. xy2022023);内江师范学院校级科研项目(No. 2021QN02)

第一作者简介:刘小波,男,副教授,博士,研究方向为城镇化与区域发展,E-mail: xbliu@imde.ac.cn;通信作者:王海力,男,讲师,E-mail: wanghaili@njtc.edu.cn

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20231006.1611.012

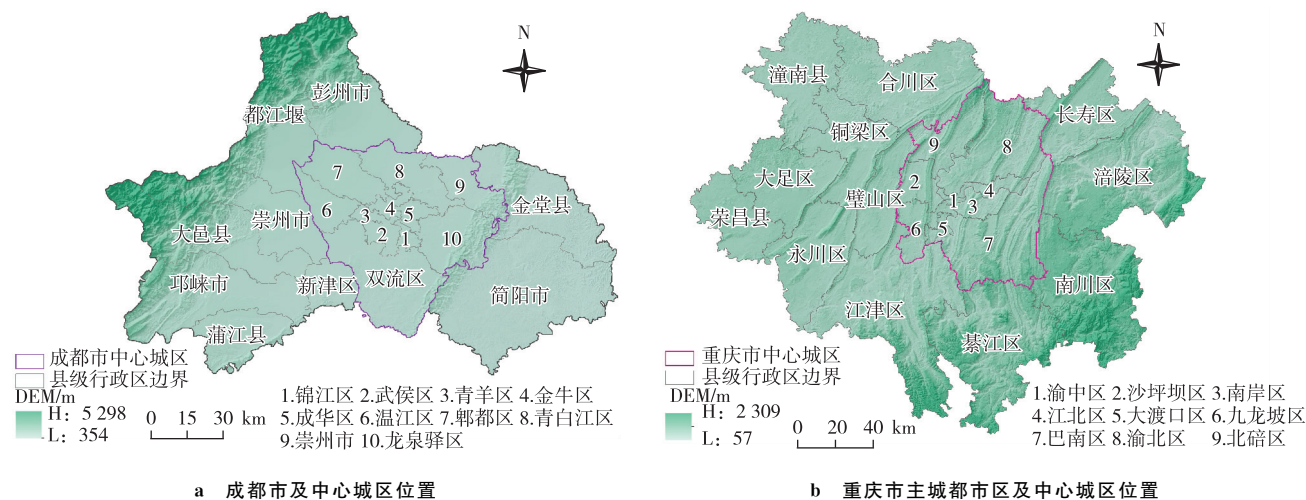
程、效应、模式及其中机理成为了研究主流^[17-18]。已有研究表明,受自然环境和社会经济条件的影响,城市空间形态扩展呈现出明显的差异性,塑造出带状、饼状、放射状、组团状等不同的布局形态^[19];交通区位条件、经济发展水平、人口密度、政府管理及政策因素成为城市空间扩展的主驱动因子^[1]。城市发展并非仅受城市自身或周边区域条件的驱动;尤其是在城市发展的高级阶段,城市群的形成和演变使得城市空间扩展的过程及机制往往受到其他城市或城市群整体的影响。中心城市对于城市群发展演变具有重要的引领作用,特别是在具有双中心城市或多中心城市的城市群,中心城市的相互作用对城市空间扩展也具有明显影响^[20-22]。目前已有的研究多侧重关注城市群单个城市的空间结构及演变机制^[23],将城市作为独立个体来刻画它的空间扩展过程并揭示其中机理,未能真实反映出城市群中心城市的差异特征及相互作用,城市群视角下的中心城市空间扩展特征及驱动机制仍不清晰;因此需要将中心城市置于城市群演变发展的整体格局,揭示中心城市空间扩展特征及驱动机制,从而为促进城市群高质量发展提供参考与借鉴。

成渝城市群是中国西部规模最大的城市群,也是典型的双核城市群^[24],拥有成都和重庆这 2 个国家中心城市。因发展过程中的分工协作与相互竞争,中心城市的空间扩展机制表现出明显的差异性。随着成渝地区双城经济圈建设战略的提出及该经济圈定位和目标的明确^[25],成渝城市群中心城市迎来了新的战略环境,必将形成新的扩展模式与分布格局^[26-27]。在这一背景下,本研究基于 RS 和 GIS 技术获取 1980—2020 年间 5 期土地利用基础数据,利用紧凑度、分形维数等城市空间测度方法对比分析了成渝城市群中心城市演变过程及分异特征,通过地理探测器揭示它们的空间扩展驱动机制,从城市群整体视角模拟中心城市未来空间扩展方向,以期为推动中心城市调整城市空间结构、优化城市群空间布局及促进成渝新型城镇化建设提供理论依据和参考资料。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

成渝城市群位于长江上游,地跨四川省和重庆市,在空间上涵盖了四川省和重庆市的主要城市,城市常住人口和经济总量在全国人口和经济总量中的占比均在 7% 左右^[24]。成渝城市群是中国西部发展水平最高、潜力最大的城镇化区域,也是长江经济带和“一带一路”的重要联结点^[28]。在该城市群中,成都市和重庆市同属国务院批复确定的中心城市,是成渝城市群的“双核”。由于本研究旨在研究城市群中心城市的空间扩展的格局、机理及趋势,故将研究区范围设定为成都市和重庆市主城都市区(图 1)。为便于表述和比较,后文在进行城市空间扩展和驱动机制分析时提及的成都市中心城区仅指该区域所包含的除新津区以外其他 11 个县级行政区,而重庆市则仅指重庆市主城都市区(不含 2024 年 3 月新划入该区的垫江县)。



注:图 a 底图来源于四川省测绘地理信息局(<https://scsm.mnr.gov.cn/gongyixingdetu.htm>),审图号:川 S(2021)00059 号;图 b 底图来源于重庆市标准地图服务(<https://yuditu.com/bzdt/>),审图号:渝 S(2020)016 号;在本研究中,成都市中心城区不含新津区;下同。

图 1 成渝城市群中心城市空间位置示意图

Fig. 1 Topographic map of Chengdu-Chongqing urban agglomeration and spatial location of central city

1.2 数据来源与处理

本研究所用基础数据主要有以下3类:1) 土地利用数据。该数据用于提取城市空间范围,来自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),分别为1980、1990、2000、2010和2020年共5期Landsat TM/ETM遥感影像解译的土地利用数据,分类精度大于90%^[29],数据精度为30 m×30 m。2) 自然环境数据。该数据包括DEM和水系分布矢量数据,主要来源于国家基础地理信息中心(<http://www.ngcc.cn>),其中坡度和地形起伏度数据在GIS支持下通过DEM提取;高速铁路、等级公路等交通线路等矢量数据来源于资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn>);距各级道路距离、距中心城镇距离等数据通过GIS平台计算欧式距离得到。3) 社会经济数据。该数据包括GDP、人口、固定资产投资、产业结构等,分别来源于相应年份的《重庆市统计年鉴》和《成都市统计年鉴》,开发区数据来源于《中国开发区审核公告目录(2018年版)》,并借助GIS软件进行空间可视化处理。

2 研究方法

2.1 城市空间扩展特征测度方法

城市空间扩展包括内部填充与外延扩张。为反映城市空间的扩展快慢与利用效率,通常用扩展速度和扩展强度这2个指标来进行测度。此外,还需要刻画城市空间的几何形态与结构,从而对其中的空间关联与边界分割加以表征。因此参考已有研究成果^[1,30-31],本研究从扩展速度、扩展强度、紧凑度、分形维数等4个方面来测度城市空间演变特征。

1) 扩展速度与扩展强度。扩展速度与扩展强度分别用以表征特定时段内城市空间扩展的绝对量和相对量,一般采用扩展速度指数与扩展强度指数来对上述两者加以量化,具体计算公式为:

$$S = (\Delta A_i / (\Delta t \times A_i)) \times 100\%, I = (\Delta A_i / (\Delta t \times A)) \times 100\%,$$

其中: S 和 I 分别为城市扩展速度指数和扩展强度指数, ΔA_i 为某时段内城市建成区面积变化数值(单位 km^2), Δt 为某时段的时间跨度数值(单位 a), A_i 为某时段开始时的城市建成区面积数值(单位 km^2), A 为城市建成区土地总面积数值(单位 km^2)。

2) 紧凑度。紧凑度指城市空间形态的离散与集聚程度,它取决于城市的几何形态,并常用紧凑度指数来量化。紧凑度指数一般在0~1之间,且越接近1则说明紧凑度越高^[30],该指数的计算公式如下:

$$B = (2\sqrt{\pi A}) / P,$$

其中: B 为紧凑度指数, A 为城市建成区面积数值(单位 km^2), P 为城市建成区边界周长数值(单位 km)。

3) 分形维数。分形维数用以刻画城市形态在空间上的复杂程度,是反映城市空间生长的重要标度指数^[31],它的具体计算公式为:

$$D = (2\ln(p/4)) / \ln A,$$

其中: D 为分形维数,数值范围为1~2;当 $D=1.5$ 时,城市形态处于布朗随机运动状态;当 $D<1.5$ 时,城市形态趋于简单而稳定;当 $D>1.5$ 时,城市形态趋于复杂且此时 D 的数值越大稳定性越差。

2.2 地理探测器

地理探测器是一种探索某地理结果与解释因子之间关系的分析模型,被广泛地应用于自然及社会经济现象的影响因子探究^[32]。本研究利用地理探测器研究城市空间扩展过程中各驱动因子的大小。该模型的计算公式如下:

$$q = 1 - \sum_{h=1}^L (N_h \sigma_h^2) / (n \sigma^2),$$

其中: q 为城市空间扩展的驱动因素探测力指标, q 值范围为0~1, q 值越大表明所探测的因素对城市空间扩展的影响越大; $h=1,2,\dots,L$,且 L 为变量总数量; N_h 为次一级区域的样本单元数量; n 为区域样本单元数; σ^2 为区域变量方差; σ_h^2 为次一级区域的变量方差。

2.3 FLUS (future land-use simulation)模型

FLUS模型基于传统元胞自动机(CA)原理改进开发而来,它的原理是借助人工神经网络模型(ANN)计算基期土地利用数据与驱动因子数据,估算区域各土地利用类型转换概率,然后利用轮盘赌自适应惯性竞争机制

模拟未来土地利用情景。该模型因同时考虑宏观驱动和微观演变特征,在处理多种土地利用类型转换的复杂性和不确定性方面具有更高精度,它的运算规则与计算过程见文献[33]。

3 结果与分析

3.1 中心城市空间扩展特征

3.1.1 空间演变格局分析

分别以成都市天府广场和重庆市朝天门码头为原点,画出等扇形区域,具体如图 2 所示。1980—2020 年成都市中心城区城市空间以中心向四周扩展为主,但不同时期的扩展方向有所差异:1980—2000 年城市空间向四周扩展较为均匀,且扩展幅度不大,城市空间发展主要限于锦江区、成华区、金牛区、青羊区和武侯区;2000—2010 年城市空间扩展速度明显加快,并出现较为明显的空间分异,城市空间向双流区、龙泉驿区、青白江区、新都区等第二圈层区县组团扩展;2010—2020 年城市空间扩展速度进一步加快,扩展方向以东北、正南和西南为主。在同一研究时段,重庆市中心城区城市空间扩展与成都市中心城区存在明显差异:1980—2000 年城市空间扩展缓慢,且主要集中于渝中区并沿长江和嘉陵江向正西、西南和西南偏南等方向扩展;2000—2010 年城市空间扩展最为明显的特征是向北扩展,使得渝中区、江北区和渝北区连接成片;2010—2020 年城市空间扩展进一步加快,呈现沿北东向岭谷间的低平区域组团状扩展的趋势。

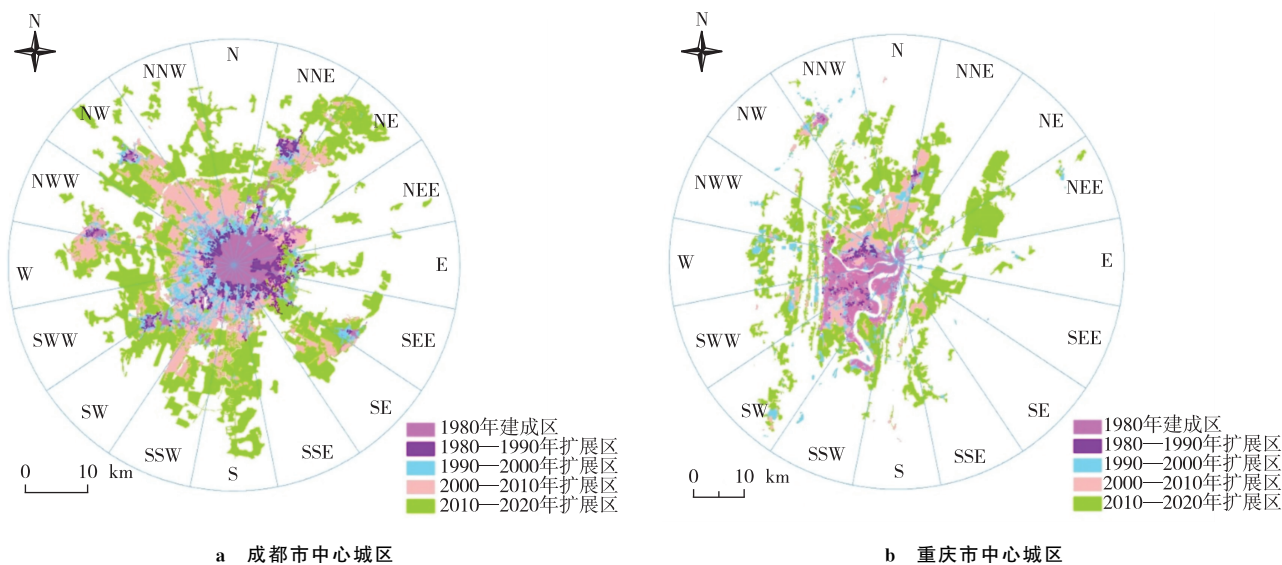


图 2 中心城市空间扩展等扇形分析

Fig. 2 Fan-shaped analysis diagram of spatial expansion of central city

3.1.2 城市扩展速度与强度分析

在 1980—2020 年,成都市中心城区城市建成区面积共增加 $1\,108.98\text{ km}^2$,且 2020 年城市建成区面积是 1980 年时的 12.08 倍,扩展速度指数为 $27.72\% \text{ a}^{-1}$,扩展强度指数为 22.37% ,城市空间整体上处于快速扩展状态。在同一时期,重庆市中心城区城市建成区面积共增加 884.96 km^2 ,2020 年城市建成区面积是 1980 年时的 7.66 倍,扩展速度指数为 $22.12\% \text{ a}^{-1}$,扩展强度指数为 16.17% 。为进一步研究城市空间扩展的演变特征,本研究通过制作各阶段的扩展强度雷达图来刻画城市扩展的空间过程与格局。由图 3 可知,成都市中心城区在整个研究时段中城市扩展的主要方向包括正南、正西、东南和西南,其中在正南和正西方向的扩展强度指数最高,分别为 262.02% 和 248.06% ,在西北和东北方向该指数也分别达到 214.65% 和 204.34% ;重庆市中心城区在同一时期中城市扩展的主要方向为东北偏东、东北、东南偏东和西北,其中在东北偏东和东北方向的扩展强度指数分别为 $1\,320.37\%$ 、 $1\,134.24\%$,而在东南偏东和西北方向该指数分别为 925.20% 、 589.07% 。

3.1.3 城市紧凑度与分形维数分析

成都市中心城区和重庆市中心城区城市的紧凑度及分形维数在各阶段变化趋势较为一致(图 4)。成都市中心城区紧凑度从 1980 年的 0.31 下降到 2020 年的 0.056,重庆市中心城区紧凑度在同一时期则从 0.40 下降到

0.056,两者在40余年的空间扩展过程中城市形态趋于松散,城市扩展以外部蔓延为主。此外,整体上成都市中心城区和重庆市中心城区的分形维数均有先上升后趋稳的态势,但后者的该指标变化幅度相对更大。在研究时段初期,两地中心城区的分形维数分别为1.46和1.33,均小于1.5的临界值。成都市中心城区的分形维数在1980—2010年均呈上升趋势,在2010年达到峰值即1.83;重庆市中心城区的分形维数则在2000年达到最大值即1.88。可见在整个研究时段内两者城市空间形态总体趋于复杂、松散,城市离散程度加大,城市空间随机分布状态明显。成都市中心城区在向外扩展过程中城市交通路线引导城市空间向四周呈放射状扩展,增加了非稳定水平,重庆市中心城区则更多受河流及山地地形条件的限制,城市沿山岭间的河谷扩展,使城市形状趋于不规则,紧凑度和稳定性降低。

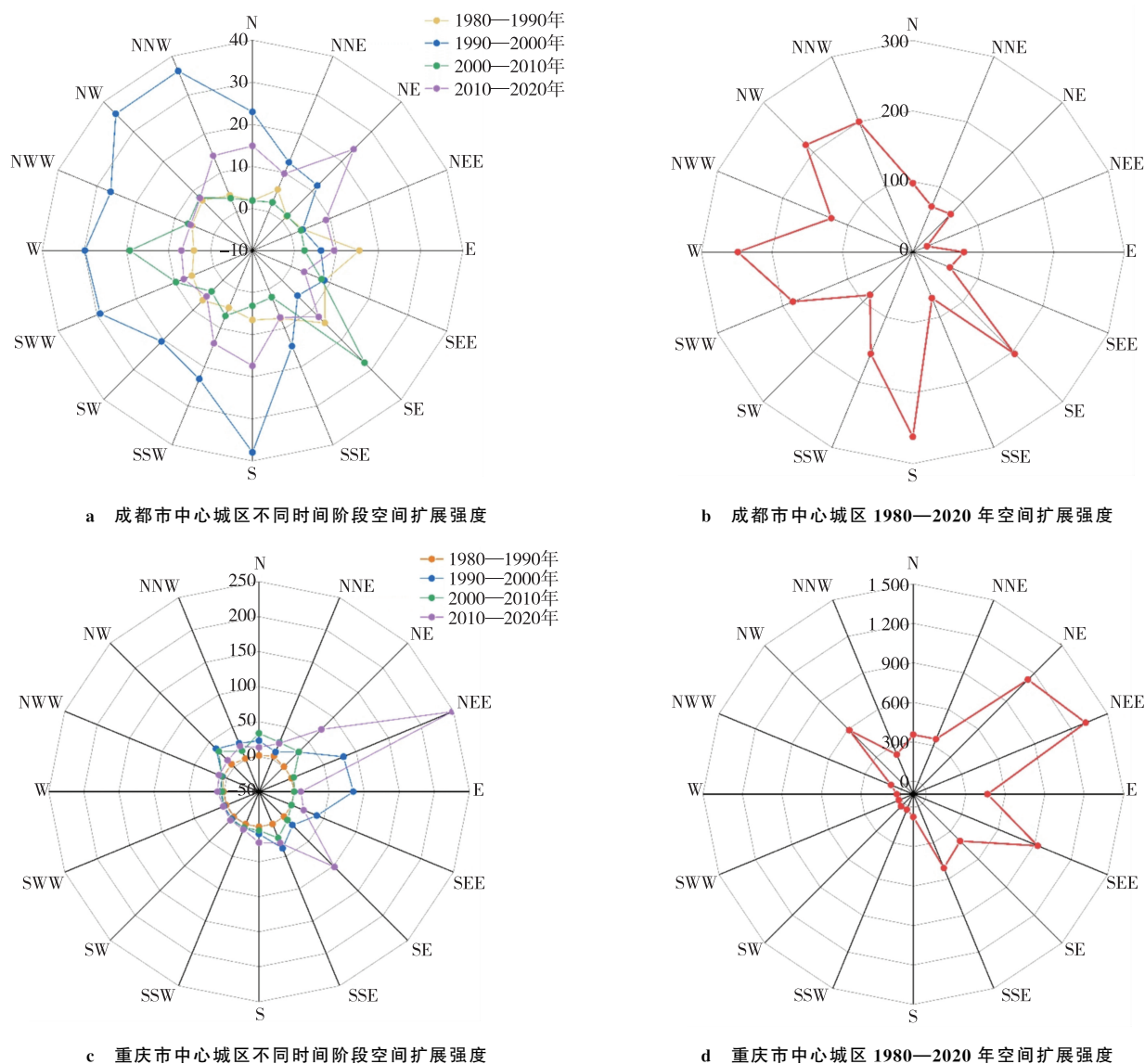


图3 1980—2020年中心城市空间扩展强度雷达图

Fig. 3 Radar map of spatial expansion intensity of central city from 1980 to 2020

3.2 中心城市空间扩展驱动机制

3.2.1 城市空间扩展影响因素的选取

城市空间扩展是受自然、政治、经济、社会、文化等多种因素共同作用的结果。自然地理环境是影响城市空间扩展的基础性因素,决定了城市开发建设的成本。在本研究中,选取三级河流长度和15 km平均坡度这2项指标表征影响城市空间扩展的自然因素。经济因素是驱动城市空间扩展的关键,不仅直接影响城市空间扩展过程,还通过投资的增加对城市空间扩展产生拉力。本研究选取GDP、固定资产投资、第二和第三产业比重等3项

指标表征城市空间扩展的经济因素。在社会因素中,常住人口、交通建设和政府政策是促进城市空间扩展的重要引力。自古代的官道驿站到近现代的公路、铁路经过的区域,都会对城市发展产生巨大影响,甚至形成新的城市^[19]。因此,本研究选择年末常住人口、高铁里程、高速公路里程、轨道交通里程、开发区面积等 5 项指标来反映城市空间扩展的社会因素。利用地理探测器探测城市空间扩展变化的主要影响因子,具体结果见表 1。

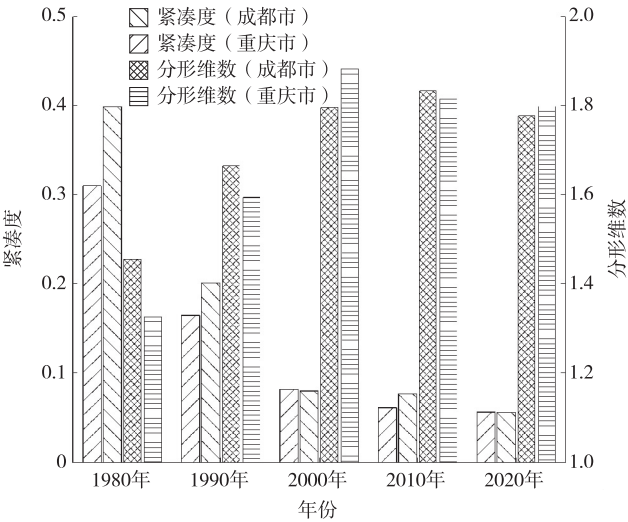


图 4 1980—2020 年中心城市空间紧凑度指数与分形维数

Fig. 4 Spatial compactness index and fractal dimension of central cities from 1980 to 2020

表 1 城市空间扩展驱动因子探测结果

Tab. 1 Driver detection results of urban spatial expansion

准则层	因子层	指标解释	q 值(成都)	q 值(重庆)
自然因素	三级河流长度	次级行政区内三级及以上河流长度(单位:km)	0.026	0.625**
	15 km 平均坡度	15 km 网格平均坡度(单位:°)	0.032	0.744
经济因素	GDP	GDP 总量(单位:亿元)	0.891***	0.839***
	固定资产投资	固定资产投资(单位:亿元)	0.684**	0.523
	第二和第三产业比重	第二和第三产业占 GDP 的百分比	0.482	0.231
社会因素	年末常住人口	各时间节点年末常住城镇人口(单位:万人)	0.756***	0.638
	高铁里程	行政区内的高速铁路里程数(单位:km)	0.363	0.263
	高速公路里程	行政区内的高速公里里程数(单位:km)	0.721	0.601
	轨道交通里程	行政区内的轨道交通里程数(单位:km)	0.506**	0.901***
	开发区面积	行政区内的开发区面积(单位:km ²)	0.799***	0.823**

注:“***”“**”“*”分别表示统计分析结果在 $p<0.01$ 、 $p<0.05$ 、 $p<0.1$ 水平上具有统计意义。

3.2.2 基于探测因子的驱动机制分析

基于表 1 中的结果,本研究从以下 3 方面对成渝两地中心城市空间扩展驱动机制进行进一步分析。

1) 自然因素。自然因素是城市空间扩展的基础条件,地形和水系条件不仅影响城市空间分布格局,也在一定程度上决定城市空间扩展的优先序。成都市中心城区三级河流长度和 15 km 平均坡度的 q 值分别为 0.026 和 0.032,但它们对城市空间扩展的影响并不明显。平坦的地形和密集的河流分布决定了成都市中心城区城市空间扩展呈同心圆放射状模式,最初以天府广场为中心,一环路至三环路以及绕城高速路的修建几乎没有受到地形条件的制约。然而重庆市中心城区城市空间扩展明显受到河流、地形等自然因素的影响,三级河流长度和 15 km 平均坡度 q 值分别为 0.625 和 0.744。重庆市中心城区地处四川盆地东部的平行岭谷区,城市建设最初沿嘉陵江、长江河谷及浅山地带布局,形成“多中心、组团式”的空间分布格局;城市空间自 20 世纪 90 年代开始向东扩展,但受中梁山的阻挡在进入 21 世纪后折向北快速延伸。近些年来,大量桥梁隧道的修建,使重庆市中

心城区城市扩展逐步突破中梁山、嘉陵江等山脉、河流的阻隔,形成更多如观音桥、弹子石、南坪等城市组团,而大学城、茶园等城市组团的建设更是地形因素在城市扩展过程中影响力逐渐式微的生动反映。

2) 经济因素。经济因素是城市空间扩展形成与演变的根本动力。GDP对成渝中心城市空间扩展均有明显影响,两者中心城区GDP的 q 值均大于0.80。GDP总量的大幅提升对城市空间扩展起着正向驱动作用,经济发展推动土地投入需求,尤其是对城市建设用地的需求快速增长,使GDP总量的增减与城市扩展速度的快慢步伐基本一致。例如成都市在2008年受全球金融危机和“5·12”汶川特大地震双重影响,当年GDP增速放缓,城市空间扩展规模也相应减小。成都市中心城区和重庆市中心城区固定资产投资的 q 值分别为0.684和0.523,表明在经济形势向好的背景下,企业在扩大再生产过程中的用地需求增加,对城市空间扩展具有促进作用。此外,成都市中心城区和重庆市中心城区第二和第三产业比重的 q 值分别为0.482和0.231,尽管均低于GDP和固定资产投资的 q 值,但依然与城市空间扩展有明显的相关性,反映了第二和第三产业对城市空间扩展的推动作用。

3) 社会因素。从社会因素方面看,人口集聚是促进城市空间扩展重要推动力,成都市中心城区和重庆市中心城区年末常住人口的 q 值分别为0.756和0.638,反映了两地的城市空间扩展和城镇人口增长存在较强的关联性。1980—2020年两地中心城区人口均有数倍的增长。随着经济的快速发展,两地作为成渝城市群的“双核”,吸引了大量人口集聚,城市用地需求也随之激增。人口集聚带来更多的工商业布局,政府在基础设施建设方面的投入大量增加,推动城市向外扩展。同时,城市人口的增加极大地扩大了住房需求,有力地助推了房地产及配套的休闲、商务、交通等用地需求的增加。此外,随着城市化进程的快速推进,城市中心出现了严重的住房拥挤、交通拥堵等社会问题;而随着生活水平的提升,城市居民为了寻找更加优越的生活环境,开始向郊区迁移,也促进城市空间不断向生活环境相对较好的郊区扩展。

城市发展对基础设施建设需求日益强烈,而不断完善的交通设施提高了城市内部区域之间的要素与功能的交流与扩散,不断牵引着城市空间的扩展方向。就交通因素而言,成都市中心城区和重庆市中心城区高速公路里程的 q 值分别为0.721和0.601,两者轨道交通里程的 q 值则稍低一些,两地高铁里程因数据时间序列较短而使得所对应的 q 值均不高,分别为0.363和0.263。高速公路在两地40余年的城市建设过程中发挥了明显作用:20世纪90年代,成渝高速、成温高速、川陕线等高速干线的通车推动着两地沿线城市空间的形成,这一时期成都市中心城区城市空间向西北、西南、东南方向纵深延展。随后,三环路、第一绕城高速等环状交通线路的通车,构建了成都市中心城区城市空间的圈层状扩展模式。重庆市中心城区城市空间快速扩展同样始于成渝高速的修建,而后2002年内环快速路的通车将沙坪坝、大渡口等区域串联在一起;2009年,重庆绕城高速通车,又将城市空间推向江北鱼嘴、北碚、南彭等区域。因此,在40余年的城市化过程中,城市内外不断形成的路网格局对2座中心城市的空间扩展具有非常明显的方向牵引作用,成为城市空间扩展过程中最直接的推动因素。轨道交通也是影响城市扩展中不可忽视的重要因素。例如成都市在2010年实现首条地铁通车,截至2020年成都市地铁里程达557.8 km,郫都区、双流区、龙泉驿区等区域已实现地铁通车;轨道交通的建设有力地促进了卫星城的不断扩张和地铁沿线区域的城市化进程,同时也增加了城市空间形态的破碎程度。

开发区不仅是中国改革开放的“试验场”,更是实施区域发展战略的重要手段,极大地推动了区域的城市化进程^[34]。成都市中心城区和重庆市中心城区开发区面积的 q 值分别为0.799和0.823,对于两地城市空间扩展有明显影响。根据《中国开发区审核公告目录(2018版)》,成都市现有各类开发区21个(其中2个为国家级开发区),重庆市共有15个各类开发区(其中4个为国家级开发区)——这些开发区的建设成为区域现代工业的集聚中心,也成为城市空间扩展的新方向。另外2个典型的案例则是成都市的天府新区和重庆市的两江新区,两者均为国家级开发区,其中:2010年重庆两江新区挂牌成立,规划可开发建设面积550 km²,并推动重庆市中心城区向东、北方向分别突破铜锣山和龙王洞山形成新的城市空间。成都市于2014年设立天府新区,并将该区域纳入《成都市第三次城市总体规划(2016—2035年)》,它的设立引导着成都市中心城区城市空间重心向东、南方向迁移。

3.3 基于FLUS模型的城市空间扩展模拟

3.3.1 影响因素的选取与参数设置

考虑未来城市空间扩展的可能,用于扩展模拟的空间范围应较现状城市空间的范围更大。为此,对成都市的模拟范围由中心城区扩展至全域行政边界,而对重庆市的模拟范围则由中心城区扩展为主城都市区。在前文

结果基础上,选取对城市空间扩展影响较大的 7 项因素,模拟 2 个城市在 2030 年土地利用变化情况。同时将高铁运营里程、距机场距离、距县级城镇中心距离等 3 项重要指标纳入驱动因素范畴,并将因子栅格图层归一化处理并迭代运行,从而确定土地利用的适宜性概率。运用 FLUS 模型进行迭代运算,获得模拟结果如图 5 所示。运用 Kappa 系数检验模拟结果,得到成都市和重庆市预测结果的 Kappa 系数分别为 0.88 和 0.82,总体精度较高,模拟效果较为理想。

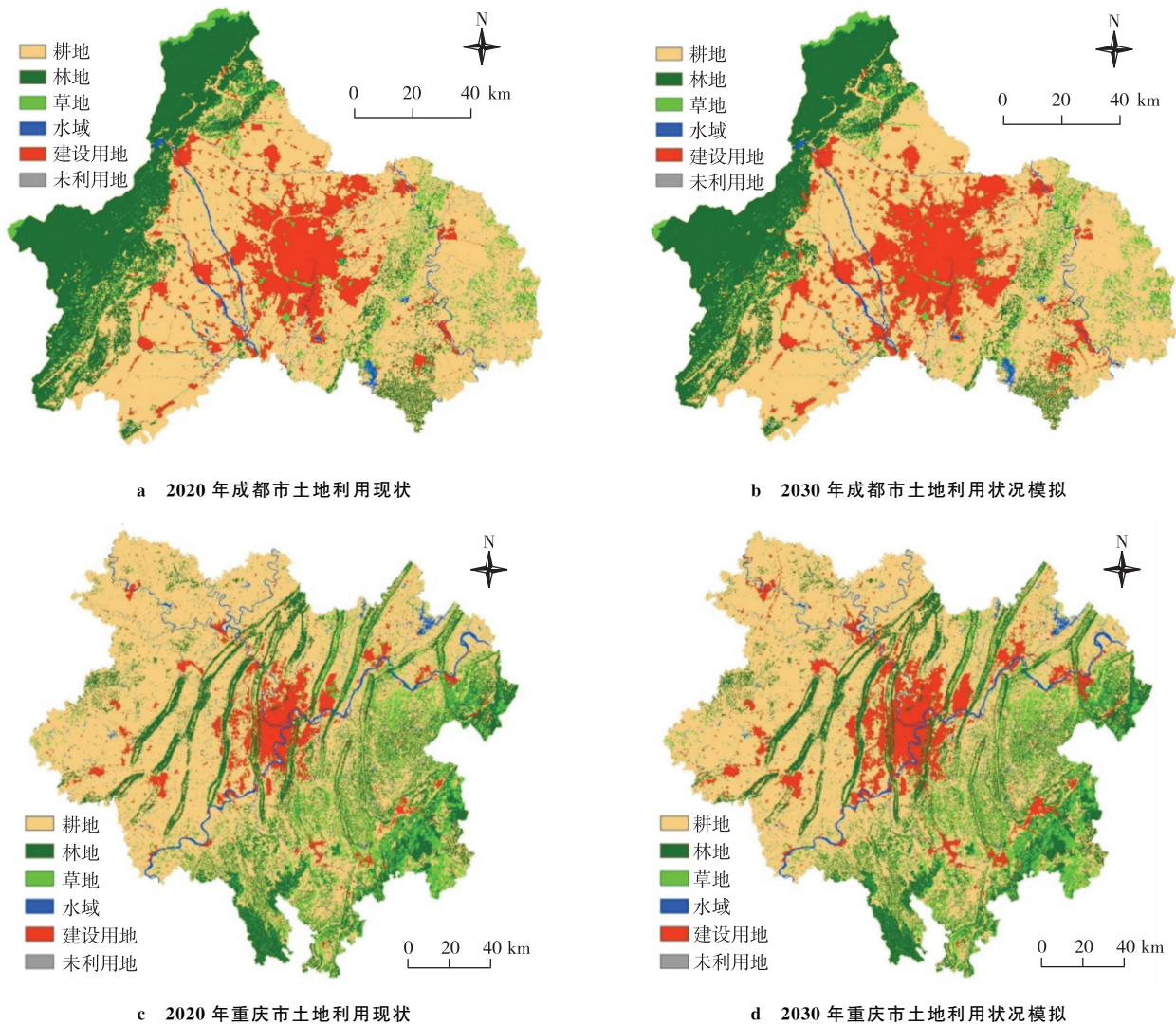


图 5 中心城市 2030 年空间扩展模拟结果

Fig. 5 Simulation results of spatial expansion of central city in 2030

3.3.2 未来城市空间扩展特征

从整体上看,2030 年土地利用模拟结果中成都市和重庆市的城市空间均有明显变化,它们的城市建成区面积分别为 2 090.86 和 1 850.31 km^2 ,较 2020 年时分别增长了 881.77 和 832.54 km^2 。同时,城市空间呈现出 2 个主要特征:1) 政策规划因素对城市空间扩展的牵引作用进一步凸显。未来成都市城市空间将在南和东南方向有明显扩展,其中在它南向的扩展面积为 193.43 km^2 ,在龙泉山东南方向扩展 206.06 km^2 ,二者占扩展总面积的 45.3%。这两大区域分别位于天府新区和成都东部新区,开发建设规划、配套政策及“一山连两翼”的城市发展战略将引导相关产业与人口快速集聚,形成新的城市空间。就重庆市而言,两江新区仍是当地未来一段时间内城市空间扩展的重要方向,同时高新区、出口加工区、保税区、大学城等受政策规划引导作用明显的区域也将成为未来城市空间扩展的重点。2) 中心城市之间相向扩展趋势明显。成都东南方向的龙泉驿区和简阳市境内 2030 年城市建成区面积较 2020 年时增加了 360.19 km^2 ,占扩展总面积的 40.85%。成都市原本圈层式的城市空间扩展格局被打破,它的东南方向(重庆方向)成为城市空间结构中新的组成部分。重庆市在中梁山以西扩

展的城市空间面积为 406.34 km²,占未来 10 年扩展总面积的 48.81%;中梁山与缙云山之间城市空间有明显扩展,尤其是北碚组团、西永综合保税区等区域发展迅速。在重庆市,跨越平行山岭向东塑造新的城市发展空间,不仅是成渝城市群中心城市相互吸引的作用过程,也是成渝之间成渝高铁、成遂渝高铁等城市化动脉联结牵引的结果。总体而言,在成渝地区双城经济圈建设的战略背景下,双核城市空间将逆向突破地形限制、相向拓展并形成新的空间格局。

4 结论与讨论

本研究以成渝城市群中心城市为研究区域,运用城市空间特征测度方法、地理探测器和 FLUS 模型,对比分析了研究区在 1980—2020 年的城市空间形态演变格局,初步揭示了其中驱动机制,模拟未来城市扩展方向,主要结果如下。

1) 1980—2020 年成渝城市群中心城市空间扩展迅速,城市规模大幅增加,扩展强度均呈现上升趋势。中心城市的紧凑度指数一直呈下降趋势,而分形维数则几乎同步呈现先上升后下降的趋势,城市空间形态不规则化、离散化趋势明显。成都市城市空间扩展形成以同心圆圈层扩展为主的“圈层式、放射状”模式;重庆市城市空间扩展则形成“多中心、多组团”模式。

2) GDP、人口、交通和开发区是成渝城市群中心城市空间扩展的主要驱动因素。经济的快速发展吸引人口大量集聚,成为城市空间扩展的根本动力,推动城市空间快速扩张;城市内外不断形成的高速公路网络格局与规划新建的开发区,则对城市空间扩展方向形成明显的牵引作用,是城市空间扩展过程中最直接的推动因素。

3) 模拟结果显示,未来成渝城市群中心城市仍将依托原有城市空间向外围扩展,同时政策规划要素对城市空间扩展的牵引作用进一步凸显,城市空间将逆向突破地形限制,相向扩展,形成新的城市空间格局。

未来城市空间模拟显示了成渝城市群中心城市相向扩展的主要趋势,在成渝地区双城经济圈建设的宏观背景下,中心城市间的相互作用得以强化。就影响未来城市空间扩展的主要影响因素而言,以政策规划、政府管理、交通条件等为核心的社会经济因素逐渐成为城市空间扩展的核心驱动因子,而地形、河流等自然条件的阻碍作用明显式微。长期以来,城市空间的扩展需要跨越自然障碍、距离障碍与行政障碍,而重庆市未来城市向东扩展则充分反映了以地形、河流为主的自然障碍已在现代科技建设力量的克服下逐渐弱化,政策和交通条件成为驱动城市空间扩展的主导作用。成都市未来城市空间的南向和东南向扩展趋势,即是在开发区建设、机场、高铁等社会经济要素共同牵引下的结果。成渝中心城市的相向扩展过程中,空间距离障碍被以高铁为代表的现代交通方式削弱,行政障碍则在成渝地区双城经济圈建设的战略背景下被进一步消除,在科技、交通、政策等综合因素驱动下,2 个中心城市间相向吸引的互动作用逐渐凸显,成为未来城市空间扩展的主驱动因子。

近几十年来,成渝城市群城市建成区面积以年均近 10% 的速度剧烈增长,其中成都市和重庆市这 2 座中心城市的扩展面积占整个成渝城市群扩展总面积的比例超过 50%^[35],成为首位度高的中心城市。根据“点-轴系统”理论,线性轴线是两点之间最为便捷的联结方式,城市空间沿联结轴线向外扩展时具有速度快、效率高等特征。然而,城市空间的集聚与扩散是双向进行的,尽管成渝中心城市之间的轴线网络体系丰富,但在“双核”之间沿轴线的非中心城市空间扩展效率却较为低下,城市化进程显得滞后,尤其在成渝城市群中部形成了城市发展的“塌陷区”。研究显示,以经济、交通、政策等为核心的社会经济因素已成为驱动成渝中心城市空间扩展的关键,未来应更加重视社会经济因素的引领作用:一方面应通过高速公路、轨道交通、开发区等建设项目来优化中心城市内部结构、提升城市用地效率、推动中心城市高质量发展;另一方面则应充分利用成渝地区双城经济圈战略为成渝城市群城市质量提升注入的新动能,继续加大基础设施投入,完善城市间交通路网,增强中心城市的辐射效应,正向利用中心城市的集聚与扩散作用,积极带动成渝地区中部中小城市发展,优化和完善成渝地区城市体系,促进成渝城市群新型城镇化建设。

参考文献:

- [1] 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 C X, DOU W S, CHENG Y, et al. Spatial expansion and driving force of Jinan City in the stage of rapid urbanization[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(9): 1513-1521.

- [2] 张潇,陆林,任以胜,等.中国城市蔓延的时空演变格局及其影响因素[J].经济地理,2021,41(3):77-85.
ZHANG X,LU L,REN Y S,et al. Spatiotemporal evolution pattern of urban sprawl in China and its influencing factors[J]. Economic Geography,2021,41(3):77-85.
- [3] 陆大道.《中国城镇化与农业农村发展论》评介[J].地理学报,2021,76(6):1314.
LU D D. Review and introduction of *the urbanization and agricultural-rural development in China* [J]. Acta Geographica Sinica,2021,76(6):1314.
- [4] 王滨.中国城镇化质量综合评价[J].城市问题,2019(5):11-20.
WANG B. Comprehensive evaluation on China's urbanization quality[J]. Urban Problems,2019(5):11-20.
- [5] 闫梅,黄金川.国内外城市空间扩展研究评析[J].地理科学进展,2013,32(7):1039-1050.
YAN M,HUANG J H. Review on the research of urban spatial expansion[J]. Progress in Geography,2013,32(7):1039-1050.
- [6] 方创琳,高倩,张小雷,等.城市群扩展的时空演化特征及对生态环境的影响:以天山北坡城市群为例[J].中国科学:地球科学,2019,49(9):1413-1424.
FANG C L,GAO Q,ZHANG X L,et al. Spatiotemporal characteristics of the expansion of an urban agglomeration and its effect on the eco-environment:case study on the northern slope of the Tianshan Mountains[J]. Scientia Sinica (Terrae),2019,49(9):1413-1424.
- [7] MENG L T,SUN Y,ZHAO S Q. Comparing the spatial and temporal dynamics of urban expansion in Guangzhou and Shenzhen from 1975 to 2015:a case study of pioneer cities in China's rapid urbanization[J]. Land Use Policy,2020,97:104753.
- [8] BOEING G. Spatial information and the legibility of urban form:big data in urban morphology[J]. International Journal of Information Management,2021,56:102013.
- [9] JHALDIYAL A,GUPTA K,GUPTA P K,et al. Urban morphology extractor:a spatial tool for characterizing urban morphology [J]. Urban Climate,2018,24:237-246.
- [10] DEILAMI K,KAMRUZZAMAN M. Modelling the urban heat island effect of smart growth policy scenarios in Brisbane[J]. Land Use Policy,2017,64:38-55.
- [11] 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 S B,LUO X L,GU Z N,et al. Urban space expansion characteristics and driving mechanism evolution of Shanghai under the background of smart growth[J]. Economic Geography,2019,39(6):58-65.
- [12] BINEY E,BOAKYE E. Urban sprawl and its impact on land use land cover dynamics of Sekondi-Takoradi metropolitan assembly,Ghana[J]. Environmental Challenges,2021,4:100168.
- [13] 朱佩娟,郎泽慧,贺清云,等.长沙城市空间破碎化的格局特征及其影响因素[J].地理研究,2020,39(8):1739-1754.
ZHU P J,LANG Z H,HE Q Y,et al. The pattern characteristics and influencing factors of urban space fragmentation in Changsha[J]. Geographical Research,2020,39(8):1739-1754.
- [14] KUKKONEN M O,MUHAMMAD M J,KÄYHKÖ N,et al. Urban expansion in Zanzibar City,Tanzania:analyzing quantity, spatial patterns and effects of alternative planning approaches[J]. Land Use Policy,2018,71:554-565.
- [15] 段非,王钧,蔡爱玲,等.重庆两江新区空间结构演变驱动机制分析与过程模拟[J].地球信息科学学报,2019,21(8):1254-1264.
DUAN F,WANG J,CAI A L,et al. Analyzing and modeling the driving mechanisms and processes of the spatial structure changes in Liangjiang New District,Chongqing[J]. Journal of Geo-Information Science,2019,21(8):1254-1264.
- [16] 周景波.基于元胞自动机与数据同化的城市扩展分析:以成都市中心城区为例[D].成都:成都理工大学,2019.
ZHOU J B. Urban expansion analysis based on cellular automata and data assimilation:taking the central urban area of Chengdu as an example[D]. Chengdu:Chengdu University of Technology,2019.
- [17] 胡盼盼,李锋,胡聃,等.1980—2015年珠三角城市群城市扩张的时空特征分析[J].生态学报,2021,41(17):1-11.
HU P P,LI F,HU D,et al. Spatial and temporal characteristics of urban expansion in Pearl River Delta urban agglomeration from 1980 to 2015[J]. Acta Ecologica Sinica,2021,41(17):1-11.
- [18] 刘荣增,陈浩然.基于ANN-CA的杭州城市空间拓展与增长边界研究[J].长江流域资源与环境,2021,30(6):1298-1307.
LIU R Z,CHEN H R. Simulation of urban spatial expansion and growth boundary in Hangzhou based on ANN-CA model[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2021,30(6):1298-1307.
- [19] 曹小曙,梁斐雯,陈慧灵.特大城市空间形态差异对交通网络效率的影响[J].地理科学,2019,39(1):41-51.
CAO X S,LIANG F W,CHEN H L. Influence of different spatial forms for metropolitans on transportation network efficiency [J]. Scientia Geographica Sinica,2019,39(1):41-51.

- [20] 黄琳珊,陈彦光,李双成. 京津冀城镇用地空间结构的多分维谱分析[J]. 地理科学进展,2019,38(1):50-64.
HUANG L S, CHEN Y G, LI S C. Multifractal spectral analysis of land use structure of the Beijing-Tianjin-Hebei urban system [J]. Progress in Geography, 2019, 38(1): 50-64.
- [21] SUN Y, ZHAO S Q. Spatiotemporal dynamics of urban expansion in 13 cities across the Jing-Jin-Ji urban agglomeration from 1978 to 2015[J]. Ecological Indicators, 2018, 87: 302-313.
- [22] 武前波,惠聪聪. 新时期我国中心城市人口城镇化特征及其空间格局[J]. 世界地理研究, 2020, 29(3): 523-535.
WU Q B, HUI C C. Urbanization characteristics and spatial pattern of population in central cities of China in the 21st century [J]. World Regional Studies, 2020, 29(3): 523-535.
- [23] 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 Y, SI Y F. The spatial pattern and influence factors of urban expansion: a case study of Beijing [J]. Geographical Research, 2015, 34(12): 2247-2256.
- [24] 涂建军,况人瑞,毛凯,等. 成渝城市群高质量发展水平评价[J]. 经济地理, 2021, 41(7): 50-60.
TU J J, KUANG R R, MAO K, et al. Evaluation on high-quality development of Chengdu-Chongqing urban agglomeration [J]. Economic Geography, 2021, 41(7): 50-60.
- [25] 钟海燕,冷玉婷. 基于知识图谱的成渝地区双城经济圈研究综述[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2020, 26(4): 13-26.
ZHONG H Y, LENG Y T. Knowledge graph analysis on Chengdu-Chongqing Economic Circle [J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2020, 26(4): 13-26.
- [26] 和秀娟,官冬杰. 成渝城市群城市空间扩展冷热点格局演化趋势模拟[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(2): 346-359.
HE X J, GUAN D J. Evolution of cold-hot spot pattern of urban expansion: a case study of Chengdu-Chongqing urban agglomeration [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(2): 346-359.
- [27] 郭欢欢,林坚,侯鹰,等. 重庆建城以来城市空间扩展及特征研究[J]. 城市规划, 2020, 44(10): 30-39.
GUO H H, LIN J, HOU Y, et al. Spatial expansion and characteristics of Chongqing city since it was built [J]. City Planning Review, 2020, 44(10): 30-39.
- [28] 郑理,徐雷,李军艳. 长江经济带人口城镇化的时空特征及动态演进[J]. 统计与决策, 2021, 37(14): 70-74.
ZHENG L, XU L, LI J Y. Spatio-temporal characteristics and dynamic evolution of population urbanization in the Yangtze River Economic Belt [J]. Statistics and Decision Making, 2021, 37(14): 70-74.
- [29] 刘纪远,宁佳,匡文慧,等. 2010—2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. 地理学报, 2018, 73(5): 789-802.
LIU J Y, NING J, KUANG W H, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010—2015 [J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(5): 789-802.
- [30] 耿甜伟,毛雅倩,李九全,等. 西安城市扩展时空特征及驱动机制[J]. 经济地理, 2019, 39(10): 62-70.
GENG T W, MAO Y Q, LI J Q, et al. Spatio-temporal characteristics and driving mechanism of Xi'an urban expansion [J]. Economic Geography, 2019, 39(10): 62-70.
- [31] 徐银凤,汪德根,沙梦雨. 双维视角下苏州城市空间形态演变及影响机理[J]. 经济地理, 2019, 39(4): 75-84.
XU Y F, WANG D G, SHA M Y. Morphological evolution and influence mechanism of Suzhou urban space from the perspective of double dimension [J]. Economic Geography, 2019, 39(4): 75-84.
- [32] 赵丹丹,金声甜,鲍丙飞,等. 基于地理探测器的中国中部城市土地绿色利用效率时空演变及影响因素研究[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(12): 2358-2370.
ZHAO D D, JIN S T, BAO B F, et al. Analysis of spatial-temporal evolution and influencing factors of green land use efficiency in central China based on geographic detector [J]. Journal of Geo-Information Science, 2020, 22(12): 2358-2370.
- [33] LIU X, LIANG X, LI X, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects [J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 168: 94-116.
- [34] 张越,叶高斌,姚士谋. 开发区新城建设与城市空间扩展互动研究:以上海、杭州、南京为例[J]. 经济地理, 2015, 35(2): 84-91.
ZHANG Y, YE G B, YAO S M. The interactive study on new town construction of development zone and urban expansion: taking Shanghai, Hangzhou and Nanjing as an example [J]. Economic Geography, 2015, 35(2): 84-91.
- [35] 韩剑萍,苟思远,黄庆旭,等. 成渝城市群近 40 年城市规模分布演变:基于 K-S 检验的滚动样本回归[J]. 经济地理, 2019, 39(8): 59-67.
HAN J P, GOU S Y, HUANG Q X, et al. Evolution of city size distribution in Chengdu-Chongqing urban agglomeration over the last 40 years: a Kolmogorov-Smirnov test-based rolling sample regression approach [J]. Economic Geography, 2019, 39(8): 59-67.

Characteristics and Mechanism of Central City Spatial Expansion Pattern of Chengdu-Chongqing Urban Agglomeration

LIU Xiaobo^{1,2}, WANG Haili¹, LIU Ying³, LI Yibin¹

(1. College of Geography and Resources Science, Neijiang Normal University, Neijiang Sichuan 641100;

2. Research Center of Mountain Development, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu Sichuan 610041; 3. China West Normal University, School of Geographical Sciences, Nanchong Sichuan 637002, China)

Abstract: In order to explore the spatiotemporal evolution of the central cities in the Chengdu-Chongqing Urban Agglomeration (CCUA), reveal the driving mechanisms, and simulate the future direction of urban spatial expansion based on the construction background of Chengdu-Chongqing Economic Circle (CCEC), an in-depth analysis is conducted by using methods such as urban spatial characteristics measurement, geographical detectors, and the FLUS model. The results are as follows: 1) From 1980 to 2020, the central cities in the CCUA experienced rapid spatial expansion, with a significant increase in urban scale and a rising trend in expansion intensity. The compactness index of central cities showed a downward trend, while the fractal dimension showed a trend of first increasing and then decreasing, with obvious irregularization and discretization of urban spatial forms. The urban spatial expansion of Chengdu formed a “concentric circle layer expansion” mode, mainly “circle layer and radiated”; while the urban spatial expansion of Chongqing formed a “multi-center, multi-group” mode. 2) GDP, population, transportation, and development zones are the main driving factors for the spatial expansion of central cities in the CCUA. The rapid economic development attracts a large population to gather, becoming the fundamental driving force for urban spatial expansion, promoting the rapid expansion of urban space. The continuously forming highway network pattern within and outside the city and the planned and newly built development zones have a significant traction effect on the direction of urban spatial expansion, and are the most direct driving factors in the process of urban spatial expansion. 3) The simulation results show that the central cities of the CCUA will continue to expand outward based on the original urban space in the future, while the traction effect of policy planning elements on urban spatial expansion will become more prominent. The urban space will break through terrain constraints in reverse and expand towards each other, forming a new urban spatial pattern. The above research results suggest that there are differences in the spatial expansion process of central cities in the CCUA, with the main driving factors shifting from natural factors to economic and social factors, and the interaction of attraction among central cities gradually becoming prominent. It is recommended that the strategic kinetic energy of the CCEC should be fully utilized in the future, the urban spatial structure should be optimized, the development of small and medium-sized cities in the central part of the Chengdu-Chongqing region should be promoted, and the urban system of the region should be optimized and improved.

Keywords: space expansion; driving mechanism; geographic detector; FLUS model; Chengdu-Chongqing Urban Agglomeration

(责任编辑 方 兴)