

Doi: 10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2023.03.001

欢迎按以下格式引用:王彩丽,闫绪娴.成渝城市群城市韧性时空格局演变及障碍因子识别[J].重庆大学学报(社会科学版),2023(3):21-33. Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2023.03.001.



Citation Format: WANG Caili, YAN Xuxian. Spatiotemporal revolution and obstacles identification of urban resilience in Chengdu-Chongqing urban agglomeration[J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2023(3):21-33. Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2023.03.001.

成渝城市群城市韧性时空格局 演变及障碍因子识别

王彩丽^a, 闫绪娴^b

(山西财经大学 a. 工商管理学院, b. 管理科学与工程学院, 山西 太原 030006)

摘要:成渝城市群作为引领西部开发开放的重要经济增长极,提升其城市韧性水平对带动西部地区高质量发展和促进我国区域协调发展具有重要意义。目前学界关于“城市群城市韧性”的研究,在研究深度上仍停留在韧性评价、时空特征分析上,对城市韧性的障碍因子的分析较少;从研究区域来看,目前的研究主要集中在东部沿海发达城市群,如长三角、珠三角等,缺乏对西部城市群城市韧性的针对性研究;在评价指标选取上,已有研究主要涉及经济、生态、社会、基础设施、制度等维度,对“人”这一承灾体在城市韧性中的影响和作用不够重视,作为城市的承灾体——人的因素没有被纳入城市韧性研究中。人既是致灾因子,也是承灾体,人口要素对城市韧性具有重要的影响和作用。因此,文章基于“经济—社会—生态—基建—人口”五维评估框架选取26个指标构建评价指标体系,运用熵权—TOPSIS评价模型和障碍度模型,分析2010—2019年成渝城市群城市韧性时空格局演变特征,并对其障碍因子进行诊断和识别。研究结果显示:从时空格局演变规律来看,成渝城市群城市韧性水平呈逐渐上升趋势且空间差异逐渐缩小;但城市韧性整体水平较低,较低韧性和低韧性城市数量多、分布广,在空间上呈现出“西北和东南高,东北和西南低”的分布格局;从障碍因子识别结果来看,制约成渝城市群整体及其内部各城市的城市韧性提升的障碍因子主要集中于社会韧性和基础设施韧性两个子系统,主要涉及医疗保险覆盖率、普通本(专)科学校在校学生数比重、卫生机构数、每万人拥有公共交通工具数、建成区排水管道密度和人口密度等障碍因子。基于以上结论,文章认为提升成渝城市群城市韧性要促进区域韧性均衡发展、因地制宜制定城市韧性提升政策和措施,例如提高区域内基础设施互联互通程度,健全城市化协同发展机制,提升成渝城市群整体韧性;统筹安排各种资源,重点支持东北和西南区域发展,避免资源过度集中,共享发展和建设机会;因地制宜制定城市韧性提升政策和措施。

作者简介:王彩丽,山西财经大学工商管理学院,Email:wangcailied@sina.com。

关键词:城市韧性;时空演变;障碍因子;障碍度模型;成渝城市群

中图分类号:C912.81 文献标志码:A 文章编号:1008-5831(2023)03-0021-13

引言

随着全球气候变化加剧和城市化进程加快,城市群在其发展过程中面临复杂多样的不确定且不可避免的风险,例如自然灾害、人为灾害或城市系统自身故障事件等,给城市经济、社会、基础设施和环境造成重大破坏^[1],给城市居民造成重大的生命和财产损失,已成为制约城市群安全和可持续发展的重要因素。然而,我们很难准确预测灾害事件的发生频率,因此城市自身需要具备抵御和适应这些风险的能力来保障城市安全发展。近年来,城市韧性作为一种城市风险治理的新思路,已成为风险管理和可持续发展领域研究的热点问题。2020年10月,《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》明确提出要顺应城市发展新理念新趋势,开展城市现代化试点示范,建设宜居、创新、智慧、绿色、人文、韧性城市。由此可见,科学和定量评估城市群城市韧性,提高城市韧性水平,对于建设韧性城市群和促进城市群高质量发展具有重要意义。

成渝城市群是继长三角、粤港澳大湾区、京津冀之后,国家重点培育和建设的中国第四大城市群。2020年1月3日,中央财经委员会第六次会议强调要推动成渝地区双城经济圈建设,在西部形成高质量发展的重要增长极。近年来,成渝城市群城市化快速发展的同时,洪涝、地质等灾害频发,造成了巨大的生命和财产损失。2019年,四川省因自然灾害导致的死亡人口(含失踪)达159人,位居全国第一,直接经济损失340.9亿元,位居全国第三;重庆市因自然灾害导致的死亡人口(含失踪)为27人,直接经济损失19.6亿元。由此可见,成渝城市群在应对灾害和风险时表现出较大的脆弱性。提升成渝城市群面对各种灾害风险的能力,增强区域城市韧性,是实现成渝城市群可持续发展的重要保障。因此,对成渝城市群城市韧性进行评估并识别其障碍因子具有重要意义。

最早提出的韧性概念是“工程韧性”,将韧性定义为恢复原来状态的能力。Holling首次将“韧性”概念引入生态学的研究领域,用以反映系统在遭受外界冲击时保持或快速恢复稳定的能力^[2]。基于工程韧性和生态韧性,Holling^[3]和Gunderson^[4]提出了演进韧性概念,成为城市韧性研究的主要理论基础。李彤玥认为韧性概念从单一平衡到多重平衡、放弃平衡再演变到适应性循环^[5]。蔡建明等认为韧性最初强调系统的稳定性和恢复性,即系统在应对扰动的同时能够保证正常的运转^[6]。

近年来,国内外学者基于适应性循环理论,对城市韧性问题进行了大量的实证研究。在研究视角上,国内外学者开展了对城市韧性整体或者某一子系统的测度研究,主要涉及城市经济韧性^[7-9]、社会韧性^[10]、生态韧性^[11]、基础设施韧性^[12-14]和网络韧性^[15-16]等;在研究尺度上,学者从全国、区域、城市和社区层面开展城市韧性评价,例如张明斗和冯晓青^[17]、白立敏等^[18]对我国地级及以上城市的城市韧性进行了评估,孙阳等^[19]、朱金鹤和孙红雪^[20]开展了城市群尺度的城市韧性评价,张鹏等^[21]、张帅等^[22]分别对山东省、东北三省进行了城市韧性评估研究,修春亮等^[23]、陈长坤等^[24]分别对大连市、武汉市的城市韧性水平进行了评估,Cutter等^[25]、杨丽娇等^[26]进行了社区韧性研究;在研

究方法上,主要采用层次分析法(AHP)^[17,27]、“规模—密度—形态”评估模型^[18]、熵值法^[23]、熵权—TOPSIS、混合多属性TOPSIS^[28]等方法对城市韧性进行评估。

综合以上文献可以看出,目前学界关于“城市群城市韧性”的研究,在研究深度上仍停留在韧性评价、时空特征分析上,对城市韧性的障碍因子的分析较少,缺乏针对特定城市群的城市韧性时空演进特征及障碍因子的深入研究。从研究区域来看,目前的研究主要集中在东部沿海发达城市群,如长三角、珠三角等,缺乏对西部城市群城市韧性的针对性研究。评价指标选取上,已有研究主要涉及经济、生态、社会、基础设施、制度等维度,对“人”这一承灾体在城市韧性中的影响和作用不够重视。现有的城市韧性评价研究主要从经济、社会、生态和基础设施四方面要素进行分析,但是作为城市的承灾体—人的因素没有被纳入城市韧性研究中。人既是致灾因子,也是承灾体,人口要素对城市韧性具有重要的影响和作用。

鉴于此,本文基于城市韧性理论和可持续发展理论,以成渝城市群作为西部地区城市韧性研究的案例区,从经济、社会、生态、基建和人口五个维度选取26个指标构建城市韧性评价指标体系,采用熵权—TOPSIS评价模型对其城市韧性进行定量评估并揭示其时空演变特征,同时借助障碍度模型对城市韧性障碍因子进行识别,试图丰富区域城市韧性研究,为成渝城市群提升城市韧性水平和城市高质量发展提供科学参考依据。

一、研究区域、研究方法与数据来源

(一) 研究区域概况

成渝城市群位于中国西南地区,以成都、重庆为中心,是西部大开发的重要平台,是长江经济带的战略支撑,也是国家推进新型城镇化的重要示范区。根据《成渝城市群发展规划》,成渝城市群具体范围包括四川省的成都、自贡、泸州、德阳、绵阳(除北川县、平武县)、遂宁、内江、乐山、南充、眉山、宜宾、广安、达州(除万源市)、雅安(除天全县、宝兴县)、资阳等15个市和重庆的渝中、万州、黔江、涪陵、大渡口、江北、沙坪坝、九龙坡、南岸、北碚、綦江、大足、渝北、巴南、长寿、江津、合川、永川、南川、潼南、铜梁、荣昌、璧山、梁平、丰都、垫江、忠县等27个区(县)以及开州、云阳的部分地区,总面积18.5万平方公里。为了保证研究区域的可比性和数据的统一性,本文以地级及以上城市为研究单元,即四川省15个城市和重庆市,共16个城市。

(二) 指标体系构建与数据来源

1. 指标体系构建

城市是一个复杂的综合系统,涉及经济、社会、生态、基础设施和人口等众多子系统。城市韧性作为城市抵御不确定性风险的能力,必然受到城市各子系统的影响。因此,本文借鉴国内外城市韧性相关研究,结合成渝城市群城市发展的特点,构建成渝城市群城市韧性评价指标体系(表1),从经济、社会、生态、基础设施和人口五个维度对城市韧性进行测度和分析。同时,考虑指标选取的综合性、典型性、科学性和可获得性,选取26个评价指标,构建了包含目标层、准则层和指标层三个层次的评价指标体系,对成渝城市群2010—2019年城市韧性水平进行测量。

表1 成渝城市群城市韧性评价指标体系

目标层	准则层	指标层	权重	指标单位及方向	意义
城市韧性	经济韧性	人均 GDP(X_1)	0.144 2	元(+)	经济基础
		第三产业占 GDP 比重(X_2)	0.160 9	%(+)	经济结构
		科技支出占一般公共预算支出比例(X_3)	0.285 1	%(+)	科技投入
		城镇居民人均可支配收入(X_4)	0.224 7	元(+)	居民收入
		人均市政公用设施建设固定资产投资额(X_5)	0.185 2	元(+)	基础设施投入
	社会韧性	城镇登记失业率(X_6)	0.085 3	%(-)	就业水平
		卫生机构数(X_7)	0.222 7	个(+)	医疗投入
		失业保险参保率(X_8)	0.319 8	%(+)	社会保障
		医疗保险覆盖率(X_9)	0.348 7	%(+)	社会保障
		公共管理、社会保障和社会组织从业人员比重(X_{10})	0.023 6	%(+)	管理水平
	生态韧性	建成区绿化覆盖率(X_{11})	0.041 3	%(+)	城市绿化
		人均公园绿地面积(X_{12})	0.502 0	m ² (+)	居民生活环境
		污水处理厂集中处理率(X_{13})	0.167 5	%(+)	环境治理
		工业废水排放量(X_{14})	0.086 9	t(-)	环境污染
		工业二氧化硫排放量(X_{15})	0.103 4	t(-)	环境污染
		生活垃圾无害化处理率(X_{16})	0.098 9	%(+)	环境治理
	基础设施韧性	每万人拥有公共交通工具数(X_{17})	0.209 6	辆(+)	交通运输
		人均道路面积(X_{18})	0.055 0	m ² (+)	交通发展状况
		建成区排水管道密度(X_{19})	0.061 8	km/km ² (+)	城市管理状况
		城市供水综合生产能力(X_{20})	0.474 5	10 ⁵ kw/日(+)	水资源供给
		人均用电量(X_{21})	0.134 4	10 ⁹ kw/人(+)	居民生活水平
		移动电话普及率(X_{22})	0.064 7	%(+)	信息传输
	人口韧性	人口密度(X_{23})	0.102 4	人/km ² (-)	人口密集程度
		年末外来人口(X_{24})	0.013 8	万人(-)	人口流动
		第三产业从业人员比重(X_{25})	0.102 6	%(+)	就业结构
		普通本(专)科学校在校学生数比重(X_{26})	0.781 2	%(+)	教育水平

注:1. 数据来源于《中国城市统计年鉴(2011—2020)》《中国城市建设统计年鉴(2010—2019)》《四川统计年鉴(2011—2020)》和《重庆统计年鉴(2011—2020)》;2. 权重值由熵值法计算得到。

2. 数据来源

本研究用于评价 2010—2019 年成渝城市群城市韧性的数据主要来源于《中国城市统计年鉴(2011—2020)》《中国城市建设统计年鉴(2010—2019)》《四川统计年鉴(2011—2020)》和《重庆统计年鉴(2011—2020)》。部分缺失数据采用相邻年份均值法计算得到。

(三) 研究方法

1. 熵权—TOPSIS 评价模型

熵值法可用于多目标决策或项目评估中,能够保证评价结果的客观性和合理性,避免权重确定的主观性^[29]。TOPSIS 法通过计算每一个评价对象的每个评价指标与正理想解、负理想解之间的距

离对方案进行排序,对样本量及其序列不作考虑^[30]。本文将熵值法和 TOPSIS 法相结合,采用熵权—TOPSIS 评价模型对成渝城市群城市韧性进行评价。具体步骤是:首先构建原始数据评价矩阵,采用极差变换法对数据进行标准化处理;然后利用熵值法确定评价指标权重,建立加权规范决策矩阵;接着计算各指标到正、负理想解的欧几米德距离,最后计算出评价指标的相对贴近度,以对评价对象进行排序。

2. 障碍度模型

城市韧性的提升对促进城市可持续发展具有重要意义。研究城市韧性不仅仅在于对城市韧性现状进行评价,更重要的是要厘清制约城市韧性的关键障碍因子,以便有针对性地制定城市规划和治理政策,因此有必要对城市韧性的障碍因子进行识别和诊断。运用障碍度模型,通过引入障碍度(Y_j)、因子贡献度(F_j)和指标偏离度(V_j),对成渝城市群城市韧性准则层和指标层的障碍因子进行识别诊断,以期对成渝城市群城市韧性的提升提供参考。城市韧性障碍度模型计算公式如下:

$$F_j = f_j \times W_j, V_j = 1 - E_j \quad (1)$$

其中, f_j 为第 j 项单项指标权重, W_j 为第 j 项指标所属的要素权重, E_j 为第 j 项指标标准化值。

第 i 个指标对城市韧性的障碍度(y_{ij})计算公式为:

$$y_{ij} = \frac{F_j \times V_j}{\sum_{i=1}^n (F_j \times V_j)} \times 100\% \quad (2)$$

准则层城市韧性障碍度(Y_j)的计算公式为:

$$Y_j = \sum y_{ij} \quad (3)$$

二、成渝城市群城市韧性时空演变分析

通过构建成渝城市群城市韧性评价指标体系,利用熵权—TOPSIS 评价模型,计算出成渝城市群 2010—2019 年 16 个城市的综合韧性值和各子系统城市韧性值。从时间和空间两个维度,对成渝城市群整体和城市两个层面的城市综合韧性和各子系统韧性的演化趋势进行分析,以了解成渝城市群城市韧性现状。

(一) 城市韧性时序演变分析

1. 城市韧性总体时序变化

2010—2019 年,成渝城市群城市韧性值变化情况如图 1 所示。首先,从整体韧性水平来看,城市综合韧性平均值由 2010 年的 0.144 0 增加到 2019 年的 0.301 3,呈波动上升趋势,这表明综合韧性水平不断提高,抵御和应对不确定风险的能力不断增强,但是城市综合韧性值相对较小,说明城市韧性还有较大的提升空间,也表明建设韧性城市群、提升城市群韧性的必要性。变异系数从 2010 年的 0.650 3 降到 2019 年的 0.568 0,呈缓慢下降趋势,说明考察期内综合韧性空间差异逐渐缩小,区域间城市韧性发展趋于均衡化。

其次,从各子系统变化趋势来看:(1)2010—2019 年,各子系统韧性的平均值均呈现波动上升态势,表明研究期内各子系统韧性均有不同程度的改善。按平均值从大到小排列依次为:人口韧性>生态韧性>社会韧性>经济韧性>基础设施韧性。(2)2010—2019 年,基础设施韧性的标准差值位居各子系统之首,并呈现上升态势,表明基础设施是影响成渝城市群城市韧性均衡化发展的最重要因

素;生态韧性、人口韧性标准差数值由2010年的第二、三位降到2019年的第四、五位,表明生态韧性和人口韧性对城市韧性均衡化发展的作用逐渐减弱;相反,社会韧性和经济韧性对城市韧性均衡化发展的作用逐渐增强。(3)2010—2019年,变异系数值从高到低依次为基础设施韧性>经济韧性>社会韧性>生态韧性>人口韧性,其中基础设施和社会韧性呈上升趋势,表明成渝城市群基础设施韧性和社会韧性空间差异不断增大,相反经济韧性、生态韧性和人口韧性空间差异逐渐缩小。

总体来看,加强基础设施建设是提升成渝城市群城市韧性的重要途径,促进区域协调发展是保障城市韧性均衡化发展的重要路径。经济韧性仍有较大提升空间,由于经济建设是基础,大力发展经济能够提高基础设施水平,丰富社会资源,不断完善医疗体系和公共服务水平,一旦遇到风险性事件,可以快速应对并较快得到恢复,从而不断提高城市韧性水平。

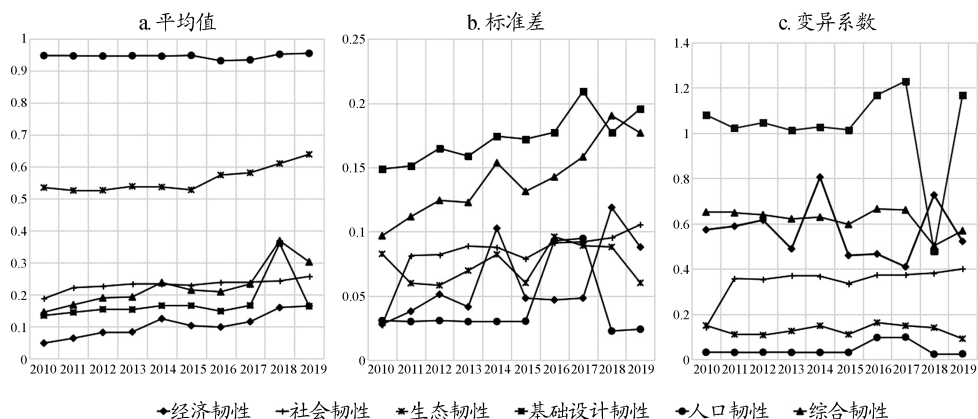


图1 城市韧性值变化情况

注:1. 数据来源于《中国城市统计年鉴(2011—2020)》《中国城市建设统计年鉴(2010—2019)》《四川统计年鉴(2011—2020)》和《重庆统计年鉴(2011—2020)》;2. 平均值、标准差和变异系数值由R软件计算得到。

2. 城市层面韧性时序变化

2010—2019年成渝城市群城市层面的城市韧性值变化趋势如图2所示。首先,从城市综合韧性指数总体来看,各个城市综合韧性值均处于上升态势,表明这些城市抵御和应对不确定风险的能力逐渐增强,城市的安全性不断提高。其中,2010—2016年重庆的城市韧性综合指数一直保持最高,到2016年成都超过重庆成为综合韧性最高的城市;城市韧性综合指数最低的城市是资阳、遂宁和南充3个城市。德阳、广安、南充、资阳和遂宁5个城市上涨幅度较大,可以看出这些城市的城市韧性发展速度较快;绵阳、自贡和雅安3个城市的城市韧性水平发展比较稳定。从位序转换来看,位序下降的有6个城市,宜宾、乐山、泸州、达州、眉山和内江,说明这些城市的城市韧性发展较缓慢。总之,城市层面综合韧性空间差异较为显著。

其次,子系统韧性值变化情况如下:(1)各个城市经济韧性值都处于上升状态,说明这些城市经济发展水平不断提高,经济韧性水平不断提升。其中增幅位于前三位的城市是德阳、内江和绵阳;广安波动幅度最大,经济韧性发展最不稳定。(2)重庆、成都和德阳社会韧性水平相对较高,且波动幅度较大,其余城市社会韧性水平变化较为稳定。(3)在生态韧性方面,宜宾市和达州市2个城市生态韧性水平处于下降态势,其余14个城市均有所提高,其中资阳、广安和重庆3个城市增长幅度最大。2019年生态韧性最高值和最低值分别位于雅安市和达州市。(4)在基础设施韧性方面,绵

阳、宜宾、泸州、达州、乐山、内江和自贡 7 个城市基础设施韧性水平处于波动下降趋势,这些城市需要不断加大对基础设施的投入力度,增强抵御不确定风险的基础;其余城市基础设施韧性值均有所提高,其中涨幅最大的城市是广安、成都和资阳,并且城市之间差异较大。2019 年,基础设施韧性最高的城市是重庆,韧性值为 0.665,自贡和遂宁最低,韧性值为 0.073。(5)在人口韧性方面,各个城市变化较为稳定,城市之间差距较小。其中成都在 2010—2015 年期间人口韧性最低;重庆市于 2016 年—2019 年期间人口韧性水平最低,波动幅度最大。究其原因,主要是随着快速城市化的发展,人口规模不断增加,外来人口增多,造成人口韧性水平下降。其余城市人口韧性水平发展较为稳定。

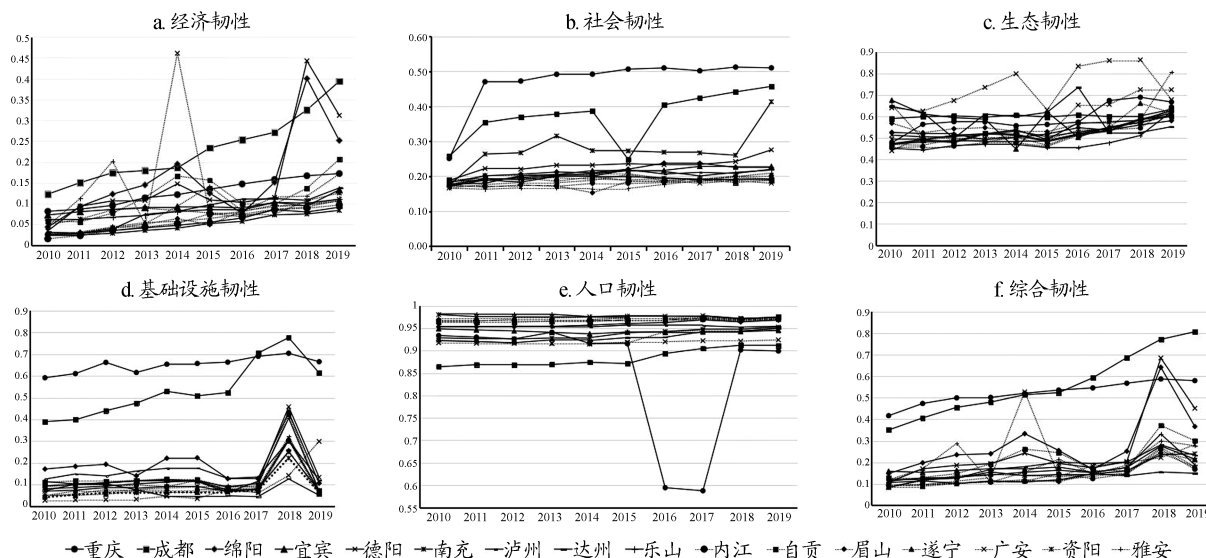


图 2 2010—2019 年城市层面韧性值

注:1. 数据来源于《中国城市统计年鉴(2011—2020)》《中国城市建设统计年鉴(2010—2019)》《四川统计年鉴(2011—2020)》和《重庆统计年鉴(2011—2020)》;2. 城市韧性值由熵权—TOPSIS 法计算得到。

(二) 城市韧性演变空间分析

为直观地反映成渝城市群城市韧性空间格局演变,采用 Jenks 自然间断点法将 2010 年、2013 年、2016 年和 2019 年成渝城市群城市韧性评价指数划分为低韧性、较低韧性、较高韧性和高韧性四个等级,分别对应低韧性城市、较低韧性城市、较高韧性城市和高韧性城市 4 种城市类型。如表 2 所示,2010—2019 年,成渝城市群城市韧性呈现出较为显著的空间异质性。

2010 年,成都和重庆属于高韧性城市,绵阳和宜宾属于较高韧性城市,低韧性城市包括眉山、资阳、内江、遂宁、南充和广安,其他城市属于较低韧性城市。与 2010 年相比,2013 年除高韧性城市没有发生变化外,其余三种类型变化显著。较高韧性城市在绵阳市的基础上增加了德阳市和自贡市,而宜宾市由 2010 年的较高韧性城市降为较低韧性城市,雅安市和达州市由较低韧性降为低韧性城市,资阳市和南充市由低韧性升为较低韧性城市。

2016 年,较高韧性城市增加到 5 个,包括绵阳、德阳、广安、自贡和泸州。雅安、眉山和达州由 2013 年的低韧性城市上升为较低韧性城市,低韧性城市数量由 2013 年的 6 个减少为 2 个。2019 年各个韧性城市等级在数量和区域上都发生了显著变化,主要表现为较高韧性城市由 5 个减少至 2 个,重庆市由高韧性城市降为较高韧性城市,绵阳、自贡和广安由较高韧性城市降为较低韧性城市,泸州由较高韧性城市降为低韧性城市,较低韧性城市从 7 个降至 3 个,低韧性城市数量由 2 个增加

至9个。

表2 成渝城市群城市韧性空间分布

年份	低韧性	较低韧性	较高韧性	高韧性
2010	眉山市、南充市、遂宁市、广安市、资阳市、内江市	雅安市、乐山市、德阳市、自贡市、泸州市、达州市	绵阳市、宜宾市	成都市、重庆市
2013	雅安市、眉山市、内江市、遂宁市、广安市、达州市	南充市、资阳市、乐山市、宜宾市、泸州市	绵阳市、德阳市、自贡市	成都市、重庆市
2016	遂宁市、内江市	南充市、达州市、雅安市、眉山市、乐山市、南充市、达州市、资阳市、宜宾市	绵阳市、德阳市、广安市、自贡市、泸州市	成都市、重庆市
2019	南充市、达州市、遂宁市、资阳市、眉山市、内江市、乐山市、宜宾市、泸州市	绵阳市、广安市、雅安市、自贡市	德阳市、重庆市	成都市

注:1.数据来源于《中国城市统计年鉴(2011—2020)》《中国城市建设统计年鉴(2010—2019)》《四川统计年鉴(2011—2020)》和《重庆统计年鉴(2011—2020)》;2.城市韧性值由熵权—TOPSIS法计算得到。

从整体上看,高韧性、较高韧性城市数量较少,较低韧性、低韧性城市数量较多、分布较广,2010年、2013年、2016年和2019年这四年较低、低韧性城市数量分别占城市总数的75%、69%、56%和81%。由此可见,成渝城市群城市韧性整体水平较低,东南和西北部城市韧性水平普遍高于东北和西南部,城市韧性水平需进一步提升。

为进一步分析成渝城市群城市韧性空间演变趋势,运用ArcGIS10.1软件,绘制出2010年、2013年、2016年和2019年成渝城市群城市韧性三维趋势图(图3)。图中Z轴代表城市韧性水平,X轴代表东西方向,Y轴代表南北方向,与X轴、Y轴对应的曲线分别代表东西方向、南北方向上的城市韧性值变化。由图中可以看出,2010年、2013年和2016年城市韧性水平呈现东高西低、北高南低的态势,2019年城市韧性水平表现出西高东低态势,南北差异显著。

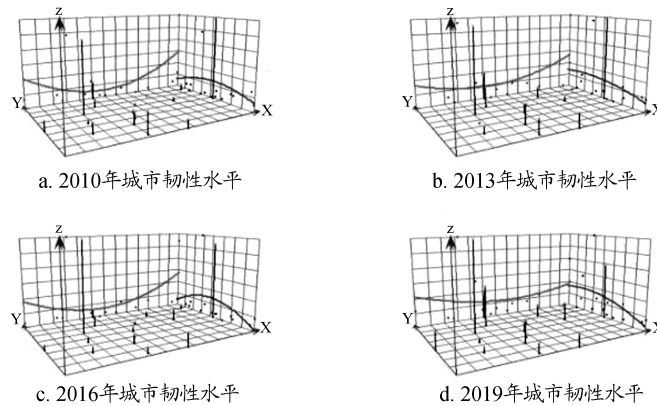


图3 成渝城市群城市韧性水平趋势图

注:1.数据来源于《中国城市统计年鉴(2011—2020)》《中国城市建设统计年鉴(2010—2019)》《四川统计年鉴(2011—2020)》和《重庆统计年鉴(2011—2020)》;2.运用ArcGIS10.1软件绘制得到。

三、成渝城市群城市韧性障碍因子识别

在评价成渝城市群城市韧性和分析其时空演变特征的基础上,有必要对城市韧性障碍因子进

行识别分析,这对制定具有针对性的提升路径具有重要意义。采用障碍度模型,结合评价指标体系,从研究区域整体和城市两个层面,分别对 2010—2019 年成渝城市群城市韧性的准则层和指标层进行障碍因子识别并确定关键障碍因素。

(一) 准则层障碍因子识别

由 2010—2019 年成渝城市群城市韧性准则层障碍因子识别结果可知(图 4),不同年份各准则层障碍度强弱及变化趋势各不相同。2010—2019 年各准则层障碍度的变化趋势各不相同,经济韧性和社会韧性的障碍度虽然整体上处于较低水平但是呈波动上升趋势,而生态韧性、基础设施韧性和人口韧性的障碍度则呈现缓慢下降趋势。社会韧性障碍度由 15.38% 上升至 35.76%,上涨了 2.3 倍,经济韧性障碍度从 11.54% 上升至 19.29%,增长幅度为 67.2%;生态韧性、基础设施韧性、人口韧性障碍度降幅从大到小顺序为人口维度>生态维度>基础设施维度。2010—2015 年,基础设施韧性子系统的障碍度最大,其次是人口韧性、社会韧性和生态韧性,经济韧性子系统位于最后;2016—2019 年,社会韧性子系统超越基础设施韧性,成为障碍度最大的准则层,其次是基础设施韧性、经济韧性,最后是生态韧性和人口韧性。可见,社会韧性和基础设施韧性成为制约成渝城市群城市韧性的重要因素。从障碍度数值来看,2010—2019 年各准则层平均障碍度从高到低依次为:基础设施>社会>人口>经济>生态,平均障碍度分别为 28.09%、24.42%、17.17%、15.55% 和 14.86%。由此可以看出,基础设施和社会韧性是影响城市韧性的最主要障碍因子。因此,提高城市韧性水平需加强基础设施和社会建设。

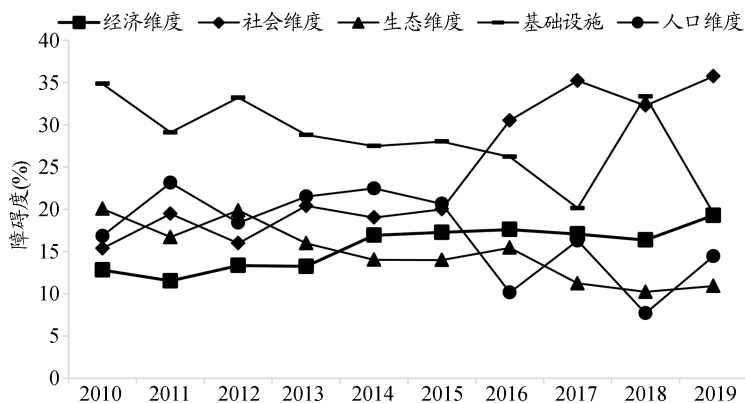


图 4 2010—2019 年准则层障碍度

注:1. 数据来源于《中国城市统计年鉴(2011—2020)》《中国城市建设统计年鉴(2010—2019)》《四川统计年鉴(2011—2020)》和《重庆统计年鉴(2011—2020)》;2. 障碍度值根据障碍度模型计算得到。

(二) 指标层障碍因子识别

为详细了解评价指标对成渝城市群城市韧性的影响,在准则层障碍度分析的基础上,进一步计算 2010—2019 年成渝城市群指标层各指标的主要障碍因子及障碍度大小,并对主要障碍因子进行排序。由于指标较多,表 3 列出了 2010—2019 年成渝城市群排名前五的障碍因子及障碍度。由表 3 可知,阻碍 2010—2019 年成渝城市群城市韧性提升的障碍因子不断变化。2010 年,每万人拥有公共交通工具数(X_{17})是制约成渝城市群城市韧性的最重要障碍因子,说明成渝城市群 2010 年交通基础设施水平较低,其次是第三产业从业人员比重(X_{25})、人口密度(X_{23})、建成区排水管道密度(X_{19}),

城市供水综合生产能力(X_{20})位于第五位,同时属于基础设施准则层的有3个指标,说明基础设施韧性对于城市韧性的提升具有重要影响。2011—2015年期间,普通本(专)科学校在校学生数比重(X_{26})、每万人拥有公共交通工具数(X_{17})、卫生机构数(X_7)位居障碍因子的前三位,其中普通本(专)科学校在校学生数比重(X_{26})成为首要障碍因子,并且障碍度逐年上升,说明教育水平对城市韧性的影响逐年增加;每万人拥有公共交通工具数(X_{17})、卫生机构数(X_7)分别位居第二、三位,第三产业从业人员比重(X_{25})由2011年的第四位降为2012年的第五位、城市供水综合生产能力(X_{20})由2013年的第四位降为2015年的第五位,说明第三产业从业人员比重(X_{25})和城市供水综合生产能力(X_{20})对城市韧性的影响逐渐减小。从障碍因子所在准则层来看,这个时期主要障碍因子集中于基础设施韧性和人口韧性。2016—2019年,医疗保险覆盖率(X_9)跃居第一位,并且障碍度持续增长,其次是普通本(专)科学校在校学生数比重(X_{26})、第三产业占GDP比重(X_2),然后是人均供电量(X_{21})、城市供水综合生产能力(X_{20})等。从准则层层级来看,主要障碍因子集中在基础设施韧性和社会韧性方面。

表3 2010—2019年城市韧性主要障碍因子和障碍度

年份	障碍因子和障碍度	1	2	3	4	5
2010	障碍因素	X_{17}	X_{25}	X_{23}	X_{19}	X_{20}
	障碍度(%)	10	7.66	7.38	7.09	6.75
2011	障碍因素	X_{26}	X_{17}	X_7	X_{25}	X_{23}
	障碍度(%)	11.08	8.28	7.22	5.59	5.25
2012	障碍因素	X_{26}	X_{17}	X_7	X_{19}	X_{25}
	障碍度(%)	11.17	7.97	6.45	5.43	5.27
2013	障碍因素	X_{26}	X_{17}	X_7	X_{20}	X_{23}
	障碍度(%)	11.33	7.54	6.75	4.86	4.82
2014	障碍因素	X_{26}	X_{17}	X_7	X_{23}	X_{20}
	障碍度(%)	11.36	7.27	6.40	5.97	5.10
2015	障碍因素	X_{26}	X_{17}	X_7	X_9	X_{20}
	障碍度(%)	9.87	7.19	6.46	5.34	5.26
2016	障碍因素	X_9	X_7	X_2	X_{20}	X_{21}
	障碍度(%)	15.02	6.01	5.82	5.69	5.04
2017	障碍因素	X_9	X_{26}	X_2	X_{20}	X_7
	障碍度(%)	23.65	9.11	7.53	4.83	4.44
2018	障碍因素	X_9	X_{20}	X_2	X_{23}	X_7
	障碍度(%)	20.98	18.66	5.93	4.38	3.96
2019	障碍因素	X_9	X_{26}	X_2	X_8	X_{20}
	障碍度(%)	21.51	8.54	7.51	5.66	5.17

注:1. 数据来源于《中国城市统计年鉴(2011—2020)》《中国城市建设统计年鉴(2010—2019)》《四川统计年鉴(2011—2020)》和《重庆统计年鉴(2011—2020)》;2. 障碍度值根据障碍度模型计算得到。

从指标层障碍因子出现频率来看,城市供水综合生产能力(X_{20})、卫生机构数(X_7)出现次数最多,高达8次;普通本(专)科学校在校学生数比重(X_{26})出现频率为7次;每万人拥有公共交通工具数(X_{17})出现频率为6次;医疗保险覆盖率(X_9)、人口密度(X_{23})出现频率为5次;然后是第三产业占GDP比重(X_2)、第三产业从业人员比重(X_{25})、建成区排水管道密度(X_{19})、失业保险参保率(X_8)、人均用电量(X_{21})。从准则层来看,这11个主要障碍因子中,有4个属于基础设施韧性,4个属于社会韧性,3个属于人口韧性。由此可见,成渝城市群城市韧性的主要障碍因子集中于基础设施和社会韧性,与准则层障碍因子识别结果相吻合。

四、结论与建议

近年来,伴随着城市的快速发展,洪涝、地震、干旱等灾害日益威胁城市居民的生命财产安全,影响城市的可持续发展。城市是否具备应对和抵御这些灾害和风险的能力,即城市韧性,对于城市的可持续发展具有重要意义。因此,基于城市韧性理论和可持续发展理论,从经济、社会、生态、基建和人口五个维度选取26个指标构建城市韧性评价指标体系,采用熵权—TOPSIS评价模型对其城市韧性进行定量评估并揭示其时空演变特征,同时借助障碍度模型对城市韧性准则层和指标层障碍因子进行识别。研究得出以下结论。

第一,从时空格局演变来看,2010—2019年,成渝城市群城市韧性呈逐年上升态势,综合韧性水平不断提高,应对不确定风险的能力增强;考察期内城市韧性空间差异逐渐缩小。各子系统韧性表现出不同程度的改善,基础设施是影响成渝城市群城市韧性均衡化发展的最重要因素。成渝城市群16个城市2019年的城市韧性综合指数均比2010年有所上涨,其中上涨幅度位居前五的城市依次为德阳、广安、南充、绵阳和自贡。成渝城市群城市韧性呈现出较为显著的空间差异,西北和东南部城市韧性水平普遍高于东北和西南部。

第二,从障碍因子识别来看,不同城市的准则层障碍度大小空间差异显著,基础设施和社会韧性是影响城市韧性的最主要障碍准则层;成渝城市群城市韧性制约因素存在明显的地域差异,主要障碍因子为城市供水综合生产能力、卫生机构数、普通本(专)科学校在校学生数比重、每万人拥有公共交通工具数、医疗保险覆盖率、人口密度、第三产业占GDP比重、第三产业从业人员比重、建成区排水管道密度、失业保险参保率等。

基于以上结果分析,建议从以下几个方面来提升成渝城市群城市韧性:第一,从成渝城市群整体来讲,要增强风险意识,多措并举,积极推进韧性城市群建设,提高应对不确定性风险的能力。应健全重庆、成都两个核心城市协调合作机制,提高区域内基础设施互联互通程度,健全城市化协同发展机制,提升成渝城市群整体韧性。第二,促进区域韧性均衡提升。目前来看,成渝城市群城市韧性呈现出较为显著的空间差异,东南、西北部城市韧性水平普遍高于东北和西南部,今后,要在全域范围内统筹安排各种资源,重点支持东北和西南部发展,避免资源过度集中,共享发展和建设机会。第三,因地制宜制定城市韧性提升政策和措施。区域内城市经济社会发展水平不同,制约城市韧性提升的因素也不尽相同,因此,要根据城市发展制定符合实际的政策和措施,例如南充市需要提升社会韧性和基础设施韧性,雅安市则急需提升人口韧性。从指标层来看,每个城市需要改善的指标不同。例如重庆要通过提高城市供水综合生产能力、增加卫生机构数来提升城市韧性,乐山则需要提高医疗保险覆盖率和普通本(专)科学校在校学生数比重来提升城市韧性,资阳则还需要

通过合理布局人口密度来提升城市韧性。

参考文献:

- [1] AGHAKOUCHAK A, HUNING L S, CHIANG F, et al. How do natural hazards cascade to cause disasters?[J]. *Nature*, 2018, 561(7724):458-460.
- [2] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4(1):1-23.
- [3] HOLLING C S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems[J]. *Ecosystems*, 2001, 4(5):390-405.
- [4] GUNDERSON L H. Adaptive dancing: Interactions between social resilience and ecological crises[M]// *Navigating Social-Ecological Systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002:33-52.
- [5] 李彤玥. 韧性城市研究新进展[J]. *国际城市规划*, 2017(5):15-25.
- [6] 蔡建明, 郭华, 汪德根. 国外弹性城市研究述评[J]. *地理科学进展*, 2012(10):1245-1255.
- [7] HUSTON S, WARREN C. Knowledge city and urban economic resilience[J]. *Journal of Property Investment & Finance*, 2013, 31(1):78-88.
- [8] 杜志威, 金利霞, 刘秋华. 产业多样化、创新与经济韧性:基于后危机时期珠三角的实证[J]. *热带地理*, 2019(2):170-179.
- [9] 谭俊涛, 赵宏波, 刘文新, 等. 中国区域经济韧性特征与影响因素分析[J]. *地理科学*, 2020(2):173-181.
- [10] 凌子健, 翟国方, 吴浩田. 我国农村社区韧性的评估方法及提升研究:以阜宁“6·23”龙卷风灾区为例[J]. *城市建筑*, 2017(21):10-16.
- [11] NATHWANI J, LU X L, WU C Y, et al. Quantifying security and resilience of Chinese coastal urban ecosystems[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 672:51-60.
- [12] BRUNEAU M, CHANG S E, EGUCHI R T, et al. A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities[J]. *Earthquake Spectra*, 2003, 19(4):733-752.
- [13] 李亚, 翟国方, 顾福妹. 城市基础设施韧性的定量评估方法研究综述[J]. *城市发展研究*, 2016(6):113-122.
- [14] GOLDBECK N, ANGELOUDIS P, OCHIENG W Y. Resilience assessment for interdependent urban infrastructure systems using dynamic network flow models[J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2019, 188:62-79.
- [15] 彭翀, 林樱子, 顾朝林. 长江中游城市网络结构韧性评估及其优化策略[J]. *地理研究*, 2018(6):1193-1207.
- [16] 彭翀, 陈思宇, 王宝强. 中断模拟下城市群网络结构韧性研究:以长江中游城市群客运网络为例[J]. *经济地理*, 2019(8):68-76.
- [17] 张明斗, 冯晓青. 中国城市韧性度综合评价[J]. *城市问题*, 2018(10):27-36.
- [18] 白立敏, 修春亮, 冯兴华, 等. 中国城市韧性综合评估及其时空分异特征[J]. *世界地理研究*, 2019(6):77-87.
- [19] 孙阳, 张落成, 姚士谋. 基于社会生态系统视角的长三角地级城市韧性度评价[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017(8):151-158.
- [20] 朱金鹤, 孙红雪. 中国三大城市群城市韧性时空演进与影响因素研究[J]. *软科学*, 2020(2):72-79.
- [21] 张鹏, 于伟, 张延伟. 山东省城市韧性的时空分异及其影响因素[J]. *城市问题*, 2018(9):27-34.
- [22] 张帅, 王成新, 李博. 东北三省城市经济弹性空间分异及其影响因素研究[J]. *人文地理*, 2019(4):73-80.
- [23] 修春亮, 魏冶, 王绮. 基于“规模—密度—形态”的大连市城市韧性评估[J]. *地理学报*, 2018(12):2315-2328.
- [24] 陈长坤, 陈以琴, 施波, 等. 雨洪灾害情境下城市韧性评估模型[J]. *中国安全科学学报*, 2018(4):1-6.
- [25] CUTTER S L, BARNES L, BERRY M, et al. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters[J]. *Global Environmental Change*, 2008, 18(4):598-606.
- [26] 杨丽娇, 蒋新宇, 张继权. 自然灾害情景下社区韧性研究评述[J]. *灾害学*, 2019(4):159-164.
- [27] 陈娜, 向辉, 叶强, 等. 基于层次分析法的弹性城市评价体系研究[J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2016(7):146-150.
- [28] XUN X L, YUAN Y B. Research on the urban resilience evaluation with hybrid multiple attribute TOPSIS method: an

example in China[J]. *Natural Hazards*, 2020, 103(1): 557–577.

[29] 侯祥鹏. 中国城市群高质量发展测度与比较[J]. *现代经济探讨*, 2021(2): 9–18.

[30] 郭向阳, 穆学青, 明庆忠, 等. 旅游地交通服务功能与旅游强度协调时空分异特征: 以云南省为例[J]. *自然资源学报*, 2020(6): 1425–1444.

Spatiotemporal revolution and obstacles identification of urban resilience in Chengdu–Chongqing urban agglomeration

WANG Caili^a, YAN Xuxian^b

(*a. Faculty of Business Administration, b. School of Management Science & Engineering, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, P. R. China*)

Abstract: Chengdu–Chongqing urban agglomeration is an important economic growth pole leading the development and opening up of the western region. It is of great significance to improve its level of urban resilience for promoting the high-quality development of the western region and the coordinated regional development of China. Based on the five-dimensional evaluation framework of “economy–society–ecology–infrastructure–population”, this paper selects 26 indicators to construct an evaluation index system. By using the entropy–weight–TOPSIS evaluation model and obstacle degree model, the paper analyzes and identifies the spatio–temporal evolution characteristics of urban resilience and its obstacle factors in Cheng–Chongqing urban agglomeration from 2010 to 2019. The results show that: 1) From the perspective of spatial and temporal pattern evolution, the urban resilience of Chengdu–Chongqing urban agglomeration is gradually increasing and the spatial differences are gradually decreasing; the overall level of urban resilience is low, and the number of cities with low resilience and lower resilience are large and widely distributed, showing a spatial distribution pattern of “high in northwest and southeast, low in central and western regions”. 2) According to the identification results of obstacle factors, the obstacles to the improvement of urban resilience of Chengdu–Chongqing urban agglomeration as a whole and its cities mainly focus on the subsystems of social resilience and infrastructure resilience. The main factors involved were medical insurance coverage, the proportion of students in ordinary (specialized) science schools, the number of health institutions, the number of public transport vehicles per 10 000 people, the density of drainage pipes and population density in built-up areas.

Key words: urban resilience; spatiotemporal revolution; obstacle factor; obstacle degree model; Chengdu–Chongqing urban agglomeration

(责任编辑 傅旭东)