

城市群城市韧性水平测度及障碍因子识别

马飞,张东伟,陈龙,刘擎,委笑琳

(长安大学 经济与管理学院,陕西 西安 710064)

摘要:城市群是城市发展较高层次的空间组成形式,其城市韧性的提升对建设韧性城市、促进城市群持续健康发展具有重要意义。为全面测度城市群城市韧性水平并识别其障碍因子,构建了城市群城市韧性评价指标体系,采用熵值法和BP神经网络模型对关中平原城市群2011—2020年各城市分系统韧性和复合系统进行分析,进一步使用障碍度模型对影响关中平原城市群城市韧性的障碍因子进行识别。研究发现,关中平原城市群城市韧性位于中等韧性水平,但总体呈上升趋势,其空间分布格局呈现出“东西低,中间高”的倒V形。具体而言,经济系统韧性以较低韧性水平和中等韧性水平为主,社会系统韧性以中等韧性水平和较高韧性水平为主,生态系统韧性以较高韧性水平为主,而基础设施系统韧性则主要分布在较低至较高韧性水平之间;建成区绿化覆盖率和全社会用电量因子是影响关中平原城市群城市韧性提升的主要障碍因子;从分系统来看,社会系统始终是影响关中平原城市群城市韧性提升的关键系统。研究表明,城市群应进一步加强城市之间的合作,共享信息资源,提高人们生活水平,加大城市基础设施建设力度,不断促进城市群协调发展。

关键词:城市韧性;BP神经网络模型;关中平原城市群;障碍因子;社会系统;数据壁垒;中心城市

中图分类号:F127;F299.23 文献标志码:A 文章编号:1671-6248(2024)02-0112-13

收稿日期:2023-12-13

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2022JM-423)

作者简介:马飞(1979-),男,陕西咸阳人,教授,博士研究生导师,管理学博士。

Measurement of urban resilience level and identification of obstacle factors in urban agglomeration

MA Fei, ZHANG Dongwei, CHEN Long, LIU Qing, WEI Xiaolin

(School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: Urban agglomeration represents the pinnacle of urban development spatially. Enhancing urban resilience is paramount for fostering resilient cities and nurturing sustainable, healthy urban agglomerations. This paper endeavors to comprehensively gauge the urban resilience level of urban agglomerations and pinpoint obstacle factors. To this end, an urban agglomeration urban resilience evaluation index system was constructed, employing the entropy method and the BP neural network model to assess the resilience and composite performance of each city subsystem within the Guanzhong Plain urban agglomeration from 2011 to 2020. Through systematic analysis, the obstacle degree model was utilized to identify factors impeding urban resilience in the Guanzhong Plain urban agglomeration. The study reveals that the urban resilience of the Guanzhong Plain urban agglomeration rests at a medium level, with a general upward trajectory. Spatially, its distribution pattern exhibits an inverted V-shape, with lower resilience in the east and west, and higher resilience in the middle. Economic system resilience leans towards lower and medium levels, while social system resilience tends to be medium to higher. Ecosystem resilience predominantly falls within higher levels, while infrastructure system resilience spans between lower and higher levels. Notably, the primary obstacles hampering urban resilience improvement in the Guanzhong Plain urban agglomeration are the green coverage rate of built-up areas and society-wide electricity consumption. From a subsystem perspective, the social system consistently emerges as the key constraint on urban resilience improvement in this agglomeration. To address these challenges, urban agglomerations should intensify inter-city cooperation, facilitate information sharing, uplift living standards, bolster urban infrastructure construction, and perpetually drive coordinated development across urban agglomerations.

Key words: urban resilience; BP neural network model; Guanzhong Plain urban agglomeration; obstacle factor; social system; data barriers; central city

近年来,受频繁发生的自然灾害和突发公共卫生事件的影响,城市发展过程中面临的挑战日益严峻,经济社会发展也会受到较大影响^[1-2]。而城市如何在发展过程中有效应对风险,最大程度减少不确定性带来的影响则是城市韧性研究的重要内容。党的十九届五中全会审议通过的《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》明确提出建设韧性城市^[3],将韧性城市的理念提高到国家战略层面。党的二十大报告再次提出要打造韧性城市。此外,城市群是城市发展的最高层次的空间组织形式,是多个城市的复杂耦合系统,其内部各城市在经济上紧密联系,在功能上分工合作,在交通上联合一体,在区域间城镇化建设、经济发展和人口流动方面起着积极的影响作用^[4-5]。据统计,近年来中国19个城市群在全国经济发展中贡献了80%以上的GDP^[6]。然而,随着城市群建设的加快推进,城市群内部高度集聚的人口和有限的城市资源二者之间的矛盾逐渐突出,城市群内部面临的生态环境污染、能源利用率不高、基础设施配套不足和城市生态风险频发等问题仍然存在,各城市在应对风险时的能力有所差异,不利于城市群的协调发展^[7]。因此,测度城市群城市韧性水平并对其主要障碍因子进行识别,从而制定针对性措施提升城市群城市韧性,促进城市群整体协调发展已成为迫切需要解决的现实问题。

韧性——在工程学领域是指物体受到外力作用后迅速恢复到原始状态的能力。加拿大生态学家 HOLLING 将韧性的概念引入到

生态系统领域中,用于描述系统吸收外部扰动维持自身稳定的能力^[8]。2002年,倡导地区可持续发展国际理事会(ICLEI)首次提出“韧性城市”议题后^[9],有关城市韧性的研究不断引起相关学者的关注。随着国内外学者对城市韧性研究内容的不断丰富和完善,城市韧性与经济学^[10]、生态学^[11]及灾害学^[12]等多个领域交叉融合,其核心是城市系统在面临干扰下,能够充分调动并发挥系统内各要素的功能作用,通过预防、抵抗、恢复、适应和转化来有效应对各种变化或冲击,以减少城市在发展过程中的不确定性和脆弱性^[9,13]。

随着韧性研究不断深入,研究对象已逐渐由单个地区转变为整个城市群,其中城市群韧性评价是当前研究的热点问题^[14],而对其评价指标体系的构建,学者们主要是从经济、社会、生态和基础设施等系统来探索^[15-19]。在城市群城市韧性评价方法上,现有的研究主要使用了熵值法^[20-22]、熵权-TOPSIS^[17]、层次分析法^[23]和主成分分析法^[24]等传统统计分析方法进行测度,而城市作为一个包含经济、社会、生态、基础设施等多层次多因素的复杂系统,其发展过程中必然会受到多个要素的影响。在面对多个要素共同影响时,传统的综合评价法难以对城市韧性做出客观评价。人工神经网络的出现,为解决这类问题提供了良好的思路。人工神经网络是一种模仿动物神经网络行为特征,进行分布式并行信息处理的算法数学模型,它依靠系统的复杂程度,通过调整内部大量节点之间相互连接的关系,对信息进行处

理^[25]。其中的BP神经网络因其具有鲁棒性、容错性、自适应性和自学习性等特点被广泛应用^[26],并且已经被证实适用于对多因素影响的复杂系统评价^[27-28]。同时,从现有研究视角来看,学者们主要是从时空演变特征上对研究区域的城市韧性进行描述分析,而识别影响城市韧性的主要障碍因子则对提高城市群城市韧性水平具有重要的意义。

因此,为全面分析和评估城市群城市韧性水平,本文从经济、社会、生态和基础设施系统4个维度构建城市群城市韧性评价指标体系,通过熵值法和BP神经网络模型对关中平原城市群2011—2020年分系统及复合系统的韧性值进行测度,并采用障碍度模型对影响关中平原城市群城市韧性发展的障碍因子进行研究,为城市群城市韧性的提升提供借鉴。

一、研究区域及数据来源

(一) 研究区域

关中平原城市群位于中国西部地区,横跨甘肃、陕西和山西三省共11个地级市,其中包括甘肃的庆阳、平凉、天水,陕西的西安、咸阳、铜川、商洛、渭南、宝鸡,山西的运城、临汾,是西部地区第二大城市群。该区域国土面积达10.71万平方千米,2022年末常住人口超过4000万人,地区生产总值超3万亿元^[29]。关中平原城市群区位优势显著、历史文化底蕴深厚、现代产业体系完备、创新综合实力雄厚、城镇体系日趋完善,发展基础较好、发展潜力较大,在国家

现代化建设大局和全方位开放格局中具有独特战略地位。

(二) 数据来源

研究数据主要来源于甘肃省、陕西省和山西省的统计年鉴(2012—2021年)、中国城市统计年鉴(2012—2021年)和庆阳、平凉、天水、西安、咸阳、铜川、商洛、渭南、宝鸡、运城、临汾各市2012—2021年的统计年鉴、国民经济和社会发展公报等公开数据。人均公园绿地面积、建成区绿化覆盖率、人均城市道路面积、全社会用电量、建成区排水管道密度和每万人拥有公共汽车数等指标采用市辖区的统计口径数据,部分指标数据在原始数据的基础上计算得到。

二、研究方法

(一) 指标体系构建

在采用多指标进行评价时,建立合理的指标体系是科学评价的前提^[30]。结合相关学者的研究,本文从系统性、科学性和可操作性原则出发,建立了目标层、准则层和指标层,基于经济、社会、生态和基础设施4个系统,经过筛选确定了20项高频指标构建了城市群城市韧性评价指标体系。其中,经济韧性是指在城市经济系统受到外部冲击后的恢复能力^[31];社会韧性是指社会系统在面临各种不确定性因素时所具有的调节、恢复和适应能力,它与城市个人收入、就业、教育和医疗等方面息息相关^[32];生态韧性则是指城市生态环境自我调节能力以及人类应对生态环境问题的能力^[33];基础设施

韧性反映在遭受灾害或风险侵袭时城市对民众的保护、疏散和对外沟通能力,它在城市抵御未知风险时发挥着很重要的作用^[34]。评价指标体系中,城镇登记失业率和工业二氧化硫排放量为负向指标,其余均为正向指标,如表1所示。

(二)熵值法

熵值法是根据各指标值变异程度的高低来反映指标的重要程度^[35]。使用熵值法确定关中平原城市群城市韧性评价中各项指标的权重,可以避免人为主观性的影响,最大限度地保证评价体系权重结果的客观性^[36]。通过熵值法计算出关中平原城市群2011—2020年每一年各项指标的权重,取均值获得关中平原城市群城市韧性评价指标权重。

(三)BP神经网络

本文以经济、社会、生态和基础设施4个系统的20个指标作为BP神经网络模型输入层数据,将城市韧性等级指数作为输出层数据,采用MATLAB R2016a软件中的newff函数进行编程求解。经过反复学习和优化,找出各指标和城市韧性等级之间的内在联系,训练后运用该模型对关中平原城市群城市韧性进行综合评价。

采用自然断点法对样本数据设定影响等级^[37],将城市韧性分为5级(表2),I表示城市韧性水平低,II表示城市韧性水平较低,III表示城市韧性水平中等,IV表示城市韧性水平较高,V表示城市韧性水平高,代入熵值法确定的指标权重,构成BP神经网络的评价结构体系。

表1 城市群城市韧性评价指标体系及权重

目标层	准则层(权重)	指标层(权重)	单位	指标属性
城市韧性	经济韧性(0.312 9)	X1:人均GDP(0.039 5)	元	+
		X2:第三产业占GDP比重(0.025 9)	%	+
		X3:全社会消费品零售总额(0.107 0)	亿元	+
		X4:固定资产投资总额(0.067 4)	亿元	+
		X5:科学技术支出占比(0.073 1)	%	+
	社会韧性(0.324 5)	X6:人均储蓄余额(0.066 4)	元	+
		X7:城镇人均可支配收入(0.031 3)	元	+
		X8:城镇登记失业率(0.033 0)	%	-
		X9:医院卫生机构床位数(0.044 8)	张	+
		X10:每万人在校大学生数(0.149 0)	人	+
	生态韧性(0.111 7)	X11:工业二氧化硫排放量(0.017 3)	吨	-
		X12:人均公园绿地面积(0.035 4)	平方米	+
		X13:建成区绿化覆盖率(0.023 6)	%	+
		X14:生活垃圾无害化处理率(0.018 3)	%	+
		X15:污水集中处理率(0.017 1)	%	+
	基础设施韧性(0.250 9)	X16:人均城市道路面积(0.029 2)	平方米	+
		X17:全社会用电量(0.088 6)	万千瓦时	+
		X18:互联网年末用户数(0.069 6)	万户	+
		X19:建成区排水管道密度(0.030 0)	km/km ²	+
		X20:每万人拥有公共汽车数(0.033 5)	辆	+

表 2 城市群城市韧性等级评价标准

城市韧性等级	I	II	III	IV	V
指数范围	[0,1)	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,5]
含义	低韧性	较低韧性	中等韧性	较高韧性	高韧性

构建拓扑结构为 $20 \times 5 \times 1$ 的神经网络,即输入层节点 20 个,隐含层节点 5 个,输出层节点 1 个。其中,隐含层节点个数根据经验公式来确定,见式(1)。设置网络的学习速率为 0.05,动量参数为 0.09,最大训练次数为 10 000 次,训练目标的最小误差为 0.5×10^{-3} ,其他参数按照默认值,训练至网络收敛,完成 BP 神经网络的构建。将归一化后的各城市的各项指标输入到构建好的神经网络中,输出的城市韧性指数在 $[0,5]$ 之间。

$$l = \sqrt{m + n} + a \quad (1)$$

式中: l 为隐含层节点个数, m 为输入层节点个数, n 为输出层节点个数, a 为 0—10 之间的常数。

(四) 障碍度模型

障碍度模型可用来探究影响关中平原城市群城市韧性提升的主要障碍因子及其影响程度^[38],计算公式如下

$$I_{ij} = 1 - X_{ij} \quad (2)$$

$$M_{ij} = \frac{w_j \times I_{ij}}{\sum_{j=1}^m w_j \times I_{ij}} \quad (3)$$

$$N_{ij} = \sum M_{ij} \quad (4)$$

式中: I_{ij} 为指标偏离度,即单项指标与理想目标之间的偏差, X_{ij} 为各项指标标准化数值, w_j 为各项指标的权重, M_{ij} 为单项指标的障碍度, N_{ij} 为相应准则层的障碍度。

三、结果分析

(一) 关中平原城市群各分系统城市韧性测度分析

根据样本数据中各项指标的数值,归一化后采用自然断点法的方式设定城市韧性影响等级,构建 BP 神经网络的训练数据集。经过大量次数的训练,到训练目标误差范围之内则完成训练。

结合熵值法确定的指标权重,将归一化后的各项数据输入到运行好的神经网络模型中,得到关中平原城市群经济、社会、生态和基础设施 4 个系统的韧性值。

由图 1(a) 可知,在研究期内,关中平原城市群城市经济韧性均呈现出增长态势,且西安始终保持领先地位。其中,西安市从 2011 年的 3.504 0 上升至 2020 年的 4.442 3,处于高等韧性水平,这与近年来西安大力发展第三产业,持续发展经济有关。宝鸡市增长幅度较大,从 2011 年的 1.502 0 上升至 2020 年的 3.381 2,处于较高韧性水平。临汾市、咸阳市和运城市从较低韧性水平逐步发展到中等韧性水平,平凉市、庆阳市、商洛市和天水市经济发展较为缓慢,现阶段处于较低韧性水平序列,特别是庆阳市作为中国第二大能源资源大市,具有丰富的煤炭资源,但近年来受有关煤炭消费政策的影响,其煤炭销售量减少,经济发展亟需转型升级。而铜川市和渭南市不断扩大全社会固定资产投资,经济韧性提升幅度最大,从 2011 年的低韧性水平平均提升至 2020 年的中等韧性水平。

同时,近年来在高质量发展要求引领下,关中平原城市群深入贯彻新发展理念,其经济发展已经从高速增长阶段转向高质量发展阶段,因此,近几年关中平原城市群城市经济韧性发展速度有所放缓。

由图 1(b)可知,从社会系统来看,关中平原城市群各城市社会韧性均有明显的提升。西安市社会韧性保持相对稳定且稳居第一,这与西安拥有丰富的教育和人才资源有关。受城市群中心城市西安市的辐射作用影响,咸阳市积极与其展开就业合作,加快一体化发展,促进其社会韧性值从 2011 年的 2.022 4 提升至 2020 年的 4.223 7,韧性水平从中等跃至高韧性水平序列。现阶段,宝鸡市、临汾市、铜川市和运城市社会韧性均提升至较高韧性水平等级,其余城市社会韧性提升至中等水平。这表明关中平原城市群各城市社会保障制度逐渐完善,人民生活质量不断提高,在社会建设方面均取得了明显的成效。

由图 1(c)可知,关中平原城市群各城市在研究期内虽呈现出波动变化的情况,但总体生态韧性均有所提高。现阶段,临汾市、渭南市和咸阳市社会韧性处在高韧性水平,其余城市均处在较高韧性水平。从原始数据来看,渭南市全市工业二氧化硫排放量逐年下降,由 2011 年的 305 986.85 吨降至 2020 年的 9 709.05 吨,年均降低 9.68%,促进其生态韧性值从 2011 年的 1.743 1 增长至 2020 年的 4.039 3,处在高韧性水平。天水市不断引进生活垃圾处理技术,提高生活垃圾无害化处理水平,生活垃圾无害化处理率近 4 年

达到 100%,这在很大程度上促使其社会韧性值从 2011 年的 1.344 1 提高至 2020 年的 3.806 7,增幅达 183.22%。

由图 1(d)可知,关中平原城市群各城市基础设施韧性水平差异较为明显。其中,庆阳市基础设施韧性出现了下降,从 2011 年的 2.565 6 降至 2020 年的 1.720 4,韧性等级降至较低水平序列,而其他城市基础设施韧性值均呈现不同幅度的增长。宝鸡市近年来通过大力发展基础设施建设,提高互联网用户规模,其基础设施韧性等级跃至较高水平。商洛市和临汾市基础设施韧性长期分别处在低水平和较低水平,年均值为 0.705 7 和 1.686 0,这反映出其基础设施系统较为薄弱。而平凉市近年来通过持续推进互联网基础设施建设,提升了基础设施韧性,促使其基础设施韧性从较低水平提升至较高水平。

(二) 关中平原城市群复合系统时间序列分析

在得出关中平原城市群各城市分系统的韧性值后,结合熵值法确定的权重,计算得到各城市韧性总体值,如表 3 所示。

由表 3 测度结果可知,现阶段关中平原城市群城市韧性处在中等韧性水平,这说明在不确定性事件发生时,关中平原城市群能够及时有效应对和抵抗风险的能力还需要进一步加强。同时,关中平原城市群各城市近 10 年来城市韧性水平逐步上升,但各地差异较为明显,总体呈现出“东西低,中间高”的倒 V 形空间分布格局。其中,西安市城市韧性等级一直保持在高韧性水平,而其他城市的城市韧性等级均有不同程度的提升。在

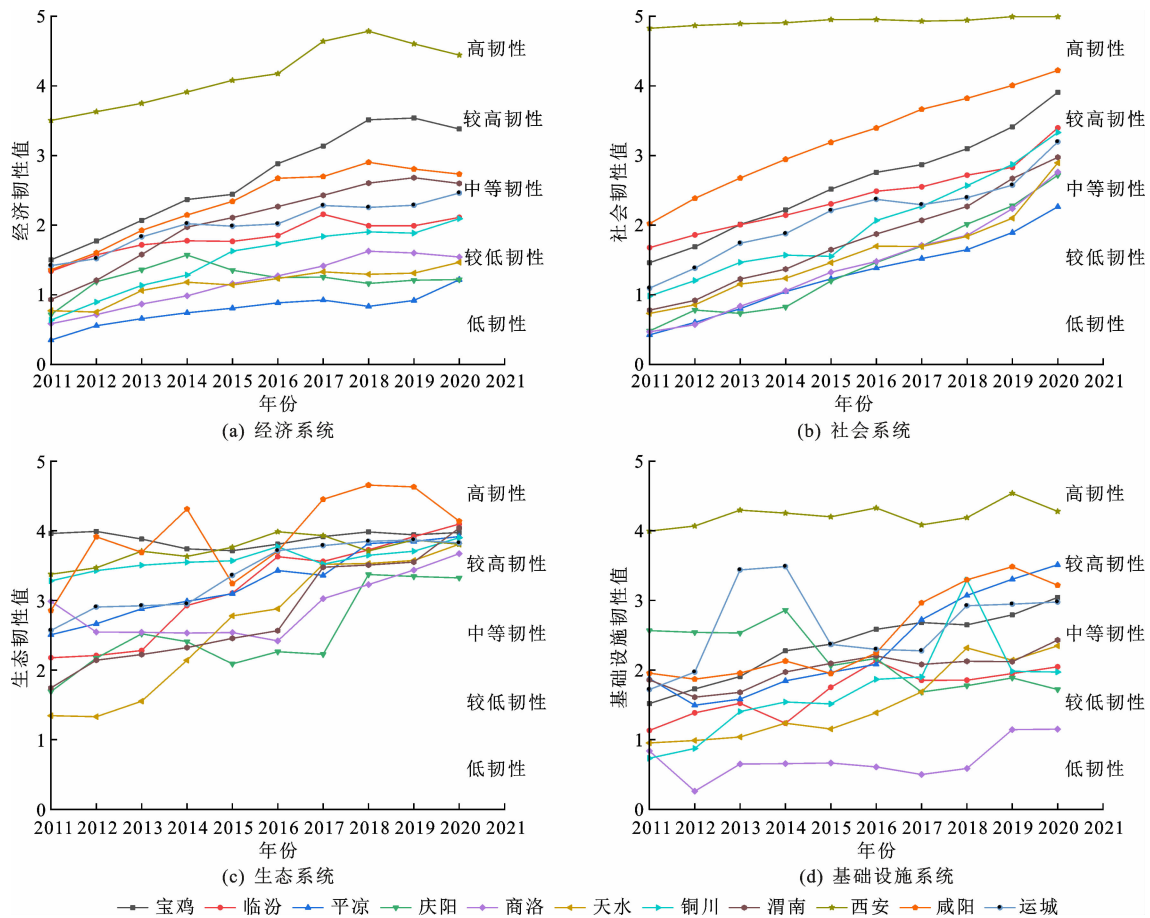


图 1 关中平原城市群城市各系统韧性测度结果图

表 3 2011—2020 年关中平原城市群城市韧性测度结果

城市	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
宝鸡市	1.767 6	1.981 6	2.211 5	2.449 5	2.590 6	2.871 1	3.022 7	3.214 0	3.355 1	3.533 4
临汾市	1.490 6	1.690 5	1.824 8	1.888 1	2.087 3	2.325 4	2.364 3	2.386 7	2.467 9	2.734 2
平凉市	0.998 6	1.042 2	1.184 0	1.367 8	1.490 8	1.631 6	1.840 7	1.992 3	2.160 7	2.434 0
庆阳市	1.212 3	1.504 6	1.579 7	1.745 0	1.562 8	1.661 6	1.615 2	1.839 2	1.964 8	2.065 8
商洛市	0.879 1	0.758 9	0.989 7	1.098 2	1.243 0	1.300 9	1.460 4	1.617 8	1.897 4	2.078 3
天水市	0.868 5	0.909 6	1.139 9	1.319 9	1.430 8	1.606 5	1.781 5	1.977 7	2.028 1	2.412 2
铜川市	1.069 0	1.273 2	1.574 2	1.694 2	1.791 2	2.102 0	2.182 0	2.662 4	2.433 3	2.666 2
渭南市	1.205 3	1.319 5	1.561 5	1.814 8	1.994 2	2.156 0	2.341 4	2.476 1	2.633 7	2.839 5
西安市	4.042 3	4.123 4	4.253 1	4.289 4	4.357 5	4.445 3	4.515 3	4.566 5	4.632 2	4.508 3
咸阳市	1.890 7	2.182 0	2.373 9	2.643 2	2.619 2	2.915 4	3.274 3	3.495 5	3.569 5	3.494 7
运城市	1.517 9	1.743 2	2.326 7	2.445 6	2.307 8	2.392 0	2.452 4	2.646 0	2.721 9	2.981 5
均值	1.540 2	1.684 4	1.910 8	2.068 7	2.134 1	2.309 8	2.440 9	2.624 9	2.715 0	2.866 2

2020 年,关中平原城市群已不存在低韧性和较低韧性水平的城市,宝鸡市和咸阳市位于较高韧性水平,天水市、平凉市、庆阳市、铜川

市、渭南市、临汾市、运城市 and 商洛市均位于中等韧性水平,总体说明关中平原城市群城市韧性建设还有一定的提升空间。

(三) 关中平原城市群城市韧性障碍因子分析

1. 准则层障碍因子

采用障碍度模型对影响关中平原城市群城市韧性的障碍因子进行识别,根据 2011—2020 年关中平原城市群城市韧性子系统层障碍度测算结果得出,社会系统、经济系统、基础设施系统和生态系统的障碍度历年平均值分别为 35.45%、30.98%、24.55% 和 9.02%。由此可得,社会韧性是影响关中平原城市群城市韧性提升的主要障碍因子,因此,提高社会韧性对于关中平原城市群城市韧性建设至关重要。

2. 目标层障碍因子

为进一步探索影响关中平原城市群城市韧性提升的主要障碍因子及其变化情况,本文对关中平原城市群 2011 年和 2020 年前 5 名的主要障碍因子进行识别和分析,测算结果如表 4 所示。可以看出,现阶段制约关中平原城市群城市韧性的主要障碍因子为建成区绿化覆盖率和全社会用电量。在 2011 年,在校大学生数量和社会消费品零售总额因子的出现频率最高,达到最高值 10 次,是制约关中平原城市群城市韧性的主要障碍因子,其次,全社会用电量因子的出现频率为 9 次,互联网年末用户数因子的出现频率为 8 次。而在 2020 年,建成区绿化覆盖率和全社会用电量因子的出现频率达 10 次,其次是工业二氧化硫排放量,出现频率达 8 次,说明制约关中平原城市群城市韧性的主要障碍因子已经发生明显变化。因此,要提高关中平原城市群各城市韧性,需要着力从以上障碍因子来

提高。

四、研究结论

通过以上研究,本文得出结论如下。

第一,关中平原城市群城市韧性水平总体呈上升趋势,但各分系统韧性水平高低不同。其城市韧性总体逐年增强但增长速度缓慢,位于中等韧性水平,呈现出“东西低,中间高”的倒 V 形空间分布格局,还需进一步增强中心城市的辐射带动作用。从各城市分系统来看,不同系统之间呈现的差异性较大,经济系统韧性以较低韧性水平和中等韧性水平为主,社会系统韧性以中等韧性水平和较高韧性水平为主,生态系统韧性以较高韧性水平为主,而基础设施系统韧性则主要分布在较低至较高韧性水平之间。

第二,建成区绿化覆盖率和全社会用电量因子是制约关中平原城市群城市韧性的主要障碍因子。影响城市群城市韧性提升的主要障碍因子由 2011 年的在校大学生数量和社会消费品零售总额变化为 2020 年的建成区绿化覆盖率和全社会用电量,说明城市生态系统面对扰动时的修复能力以及社会发展潜力对其韧性的提升作用最大。从分系统来看,社会系统始终是制约关中平原城市群城市韧性提升的关键系统。

基于以上结论,本文提出如下建议。

第一,城市群各城市应当加强合作交流、建立信息共享机制。通过打破城市间的数据壁垒,促进资源优势的互补,可以有效促进城市群的整体发展。例如,中心城市可以分享

表 4 2011 年和 2020 年关中平原城市群城市韧性主要障碍因子和障碍度

城市	项目	2011 年					2020 年				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
宝鸡	障碍因子	X10	X3	X17	X18	X4	X13	X17	X11	X14	X6
	障碍度/%	20.74	13.35	10.22	8.77	7.42	22.94	14.98	12.04	8.77	6.00
临汾	障碍因子	X10	X3	X17	X4	X18	X13	X17	X4	X6	X14
	障碍度/%	18.96	12.30	10.22	7.77	7.43	20.27	13.61	10.41	8.68	7.81
平凉	障碍因子	X10	X3	X17	X18	X5	X13	X17	X11	X6	X18
	障碍度/%	16.99	11.98	9.67	7.96	7.63	18.99	13.73	11.45	8.71	8.59
庆阳	障碍因子	X10	X3	X17	X18	X6	X13	X17	X11	X4	X6
	障碍度/%	17.27	12.24	10.41	8.06	7.51	16.84	12.24	9.94	7.89	7.70
商洛	障碍因子	X10	X3	X17	X18	X4	X13	X17	X11	X4	X14
	障碍度/%	17.09	12.27	10.31	7.77	7.46	16.63	12.09	9.98	7.95	7.59
天水	障碍因子	X10	X3	X17	X18	X6	X13	X17	X11	X6	X4
	障碍度/%	16.63	11.94	9.25	7.92	7.77	17.20	12.68	10.67	7.87	7.76
铜川	障碍因子	X10	X3	X5	X18	X4	X13	X17	X11	X14	X6
	障碍度/%	18.27	13.12	8.56	8.54	8.27	19.39	13.92	11.31	9.06	8.59
渭南	障碍因子	X10	X3	X17	X5	X6	X13	X17	X14	X11	X18
	障碍度/%	18.23	12.04	10.77	9.13	7.68	20.67	13.50	8.30	8.29	7.73
西安	障碍因子	X8	X12	X13	X19	X16	X20	X17	X2	X19	X8
	障碍度/%	34.50	21.97	8.65	8.42	7.81	19.16	15.73	15.51	14.07	10.37
咸阳	障碍因子	X10	X3	X17	X5	X18	X13	X17	X4	X11	X14
	障碍度/%	17.91	13.18	11.85	8.61	8.16	18.99	14.27	11.01	9.97	7.98
运城	障碍因子	X10	X3	X17	X6	X4	X13	X17	X18	X6	X4
	障碍度/%	20.02	12.19	9.82	8.26	7.78	21.12	14.41	8.95	8.93	7.55

先进的科技、管理经验和人才资源,辐射带动周边城市的经济增长,实现协同发展。

第二,持续改善民生也是城市群可持续发展的关键。政府需要进一步支持民营企业的发展,营造良好的创业环境,提供更多就业机会,从而提高当地居民的生活水平和满意度。同时,适当提高劳动收入水平,可以促进消费需求,推动经济增长,实现共同繁荣。

第三,加大基础设施建设力度也是城市群发展的必然选择。特别是要优先提升互联网覆盖水平,推广互联网技术,解决偏远地区的信息孤岛问题,打通城市间的信息网络,促进信息共享和交流。同时,加强公共交通基

础设施的建设,提高城市之间的互联互通程度,有利于促进人员流动和资源配置效率,实现城市群的有机衔接和共同发展。通过这些举措,可以有效缩小城市间的韧性差距,促进城市群的可持续发展。

五、结语

本文通过构建城市群城市韧性评价指标体系,基于熵值法和 BP 神经网络模型对关中平原城市群城市韧性进行测度和分析,并使用障碍度模型识别其主要障碍因子,研究结果有利于对关中平原城市群城市韧性水平和发展状况进行全面了解,主要障碍因子的

识别有助于因地制宜施行政策,从而提升关中平原城市群城市韧性水平,促进其协调发展。

由于当前有关城市群城市韧性的研究还处在不断发展阶段,本文今后将考虑从以下两个方面深入探讨:一是研究对象上增加多个城市群的横向对比,探讨不同城市群城市韧性的时空演化格局;二是研究视角上进一步关注城市群城市韧性的预测,加强对不确定事件的预防,不断提高城市群城市韧性水平。

参考文献:

- [1] 应急管理部发布 2022 年全国自然灾害基本情况[EB/OL]. (2023-01-13) [2024-01-10]. https://www.gov.cn/xinwen/2023-01/13/content_5736666.htm.
- [2] 李克强. 政府工作报告——2023 年 3 月 5 日在第十四届全国人民代表大会第一次会议上[EB/OL]. (2023-03-05) [2024-01-10]. <https://www.gov.cn/zhuanqi/2023lhfgzbg/mobile.htm>.
- [3] 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[EB/OL]. (2020-11-03) [2024-01-10]. http://www.gov.cn/zhengce/2020-11/03/content_5556991.htm.
- [4] 顾朝林. 城市群研究进展与展望[J]. 地理研究, 2011(5): 771-784.
- [5] 王雨枫, 曹洪军. 中国城市群城镇综合发展测度及影响因素[J]. 中国软科学, 2022(4): 87-94, 128.
- [6] 谢宝剑, 李庆雯, 杨智晨. 中国城市群现代化
- 的时空特征及分异机理[J]. 城市问题, 2023(12): 4-15.
- [7] 马艳梅, 吴玉鸣, 吴柏钧. 长三角地区城镇化可持续发展综合评价——基于熵值法和象限图法[J]. 经济地理, 2015(6): 47-53.
- [8] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual review of ecology and systematics, 1973(1): 1-23.
- [9] 赵瑞东, 方创琳, 刘海猛. 城市韧性研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2020(10): 1717-1731.
- [10] 陈胜利, 王东. 中国城市群经济韧性的测度、分解及驱动机制[J]. 华东经济管理, 2022(12): 1-13.
- [11] MEEROW S, NEWELL J P. Spatial planning for multifunctional green infrastructure: growing resilience in Detroit[J]. Landscape and urban planning, 2017, 159: 62-75.
- [12] CAVALLARO M, ASPRONE D, LATORA V, et al. Assessment of urban ecosystem resilience through hybrid social-physical complex networks[J]. Computer-aided civil and infrastructure engineering, 2014(8): 608-625.
- [13] 石龙宇, 郑巧雅, 杨萌, 等. 城市韧性概念、影响因素及其评估研究进展[J]. 生态学报, 2022(14): 6016-6029.
- [14] 焦柳丹, 王驴文, 张羽, 等. 基于多木桶模型的长三角城市群韧性水平评估研究[J]. 世界地理研究, 2024(1): 96-106.
- [15] LU H, ZHANG C, JIAO L, et al. Analysis on the spatial-temporal evolution of urban agglomeration resilience: a case study in Chengdu-

- Chongqing urban agglomeration, China [EB/OL]. (2022-09-01) [2024-01-10]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S212420922003867>.
- [16] MU X, FANG C, YANG Z. Spatio-temporal evolution and dynamic simulation of the urban resilience of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. *Journal of geographical sciences*, 2022, 32: 1766-1790.
- [17] 陈晓红, 娄金男, 王颖. 哈长城市群城市韧性的时空格局演变及动态模拟研究[J]. *地理科学*, 2020(12): 2000-2009.
- [18] 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.
- [19] 熊先兰, 易靖雯, 潘宇晟. 突发事件下科技支出对城市韧性的影响——以中国三大城市群为例[J]. *湖南大学学报(社会科学版)*, 2023(2): 59-67.
- [20] HUANG J, SUN Z, DU M. Differences and drivers of urban resilience in eight major urban agglomerations: evidence from China [EB/OL]. (2022-09-30) [2024-01-10]. <https://webof-science.clarivate.cn/wos/alldb/full-record/WOS:000856815000001>.
- [21] 张悦倩, 刘全龙, 李新春. 长三角城市群城市韧性与新型城镇化的耦合协调研究[J]. *城市问题*, 2022(5): 17-27.
- [22] 吴菊平, 潘玉君, 骆华松, 等. 滇中城市群城市韧性时空格局演变及动态预测研究[J]. *生态经济*, 2023(8): 95-105.
- [23] 张明斗, 冯晓青. 长三角城市群内各城市的城市韧性与经济发展水平的协调性对比研究[J]. *城市发展研究*, 2019(1): 82-91.
- [24] 李娜, 张广来, 张宁. 中国城市韧性水平综合评价及区域异质性分析[J]. *统计与决策*, 2023(19): 117-120.
- [25] 周品. *MATLAB 神经网络设计与应用* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [26] 范峻恺, 徐建刚, 胡宏. 基于 BP 神经网络模型的海绵城市建设适宜性评价——以福建省长汀县为例[J]. *生态经济*, 2019(11): 222-229.
- [27] 范峻恺, 徐建刚. 基于神经网络综合建模的区域城市群发展脆弱性评价——以滇中城市群为例[J]. *自然资源学报*, 2020(12): 2875-2887.
- [28] 肖磊, 梁佳欣, 陆亚楠, 等. 中国城市群基础设施水平的区域差异与分布演进[J]. *统计与决策*, 2023(4): 47-52.
- [29] 邢灿. 关中平原城市群协同发展再提速 [N]. *中国城市报*. 2023-08-28(A3).
- [30] 张中浩, 聂甜甜, 高阳, 等. 长三角城市群生态安全评价与时空跃迁特征分析[J]. *地理科学*, 2022(11): 1923-1931.
- [31] HILL E, CLAIRE T S, WIAL H, et al. *Economic shocks and regional economic resilience* [M]. Washington D. C.: Brookings Institution Press, 2012.
- [32] 潘義承, 田家华. 城市韧性的时空分异及其影响因素: 基于湖北省的实证[J]. *统计与决策*, 2023(23): 57-62.
- [33] 周成, 赵亚玲, 张旭红, 等. 黄河流域城市生态韧性与效率时空演化特征及协调发展分析[J]. *干旱区地理*, 2023(9): 1514-1523.

- [34] 李彦军,马港,宋舒雅. 长江中游城市群城市韧性的空间分异及演进[J]. 区域经济评论, 2022(2):88-96.
- [35] 吴文洁,黄海云. 国家中心城市综合韧性评价及障碍因素分析[J]. 生态经济,2023(4):89-94,102.
- [36] 侯鑫宇,李雪铭,宋瑞,等. 辽宁省数字经济与城市韧性协调发展时空演化特征与驱动力[J]. 资源开发与市场, 2023(12):1584-1591.
- [37] 周霞,王佳. 京津冀城市群城市韧性时空演变特征及空间差异研究——基于改进的PSR 框架[J]. 资源开发与市场,2024(2):231-239.
- [38] 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.

(责任编辑:杨海挺)