

基于 PSR 模型的黄河流域城市韧性评价

李博雅, 史维良

(西安财经大学 统计学院, 西安 710100)

摘要:随着城市面对不确定因素的风险不断增加,韧性作为一种新的理念逐渐被应用到城市风险治理中。基于 PSR (压力-状态-响应)模型对黄河流域城市韧性水平进行评价,通过核密度函数、障碍度模型探究黄河流域城市韧性水平的时空分布特征及其影响因素。结果表明:黄河流域城市韧性水平在 2006—2020 年呈上升趋势,在空间上呈现“东高西低,南高北低”的格局;影响黄河流域城市韧性主要障碍因子为经济状态、创新能力和保障能力综合作用的结果。

关键词:城市韧性;韧性评价;PSR(压力-状态-响应)模型;核密度估计;障碍度分析

中图分类号:F299.27 **文献标志码:**A **文章编号:**1671—1807(2023)17—0098—06

保护黄河是事关中华民族伟大复兴的千秋大业。黄河流域面临的灾害风险构成较为复杂,灾害种类较多,给沿岸百姓带来深重灾难。在各类灾害风险交织叠加背景下,黄河流域城市存在抵御能力不足、恢复能力弱等特点,严重制约着区域联动与城市的可持续发展。

目前,传统的防灾理念已无法满足城市应对不确定因素的需求,韧性思想随着国际减灾经验的深入逐渐被引入城市规划与灾害风险管理。在“十四五”规划中,首次将韧性城市建设作为国家战略规划被提出,提倡“建设韧性城市,提高城市治理水平,加强特大城市治理中的风险防控”。党的二十大报告提出“实施城市更新行动,加强城市基础设施建设,打造宜居、韧性、智慧城市”。在新的时代背景下,面对各种不确定因素,韧性城市的发展与构建是必不可少的。

1 研究综述

韧性最早被应用到生态学的研究中,此后学者逐渐将概念拓展到多领域中。最初 Alberti 等^[1]将城市韧性定义为随着城市发展的内外驱动力改变后,城市依然可以保持原有的结构与发展的能力;之后洛克菲勒基金会将其定义为在面对压力时,城市中个人、社区、机构的延续发展的能力^[2]。赵瑞东等^[3]通过梳理关于城市韧性的概念,认为城市韧性是由城市经济、社会、生态、制度、基础设施等人文、环境系统组成的高度复杂耦合系统,可以在应

对自然和人文灾害等干扰时展现出城市系统的适应、恢复和学习能力。目前关于城市韧性的评价主要侧重于指标体系的构建。主要以城市基本组成要素构成为核心。Joerin 等^[4]初探社区韧性评价,从基础设施、社会、经济、机构与自然方面构建指标评价体系。张振等^[5]从社会、生态、基础设施和经济韧性 4 个维度进行指标选择并对社区韧性差异性进行评价。其次以韧性城市特征为核心的体系。朱金鹤和孙红雪^[6]从生态学角度出发,以抗扰性、冗余性、智慧性和迅速性 4 个特征构建城市应对雨洪灾害的指标评价体系。部分学者以韧性阶段过程为核心建立指标体系,关注城市韧性建设动态过程。缪惠全等^[7]结合中国城市发展的现状,基于对城市灾后实际恢复过程的系统考察建立城市韧性评价体系。

总体来看,已有研究以城市韧性的概念及实践规划等定性研究为主,指标体系的评价及构建等定量研究为辅。通过文献梳理,目前学者一是在基于灾害风险的城市韧性研究,较少会对各类多灾种城市韧性评价的综合考虑;二是目前城市韧性评价指标体系关注韧性发挥作用的过程构建较少,主要是作为某种结果状态加以描述。基于此,通过考虑到黄河流域多种灾害的影响下,运用压力-状态-响应 (pressure-state-response, PSR) 模型的过程思维对黄河流域 2006—2020 年城市韧性水平进行评价,运用核密度函数等方法对黄河流域城市韧性水平进

收稿日期:2023-05-18

作者简介:李博雅(1998—),女,陕西宝鸡人,西安财经大学统计学院,硕士研究生,研究方向为应用统计;史维良(1973—),女,陕西西安人,西安财经大学统计学院,副教授,硕士,研究方向为应用统计。

行实证分析,探究城市韧性水平的时空分布特征和影响因素,从而帮助黄河流域各个省份从不同阶段与层面提升韧性水平,推动黄河流域城市韧性建设。

2 研究方法与指标体系构建

2.1 研究方法

2.1.1 TOPSISI 熵权法

熵权法是一种客观赋权方法,熵权法根据样本的数据分布决定指标权重,为多指标综合评价提供依据。逼近理想解排序(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)法作为一种常用的综合评价模型,能够充分利用数据信息,充分客观地反映各评价指标之间的差距。将两种方法进行结合,用熵值法确定权重, TOPSIS 法确定各个指标的得分情况并进行排序。

2.1.2 核密度估计模型

核密度估计是一种通过样本数据本身进行研究分布特征的非参数估计方法,具有无须利用相关数据分布的先验知识和无须假定数据分布的特点。运用概率论中用于估计位置密度函数的核密度估计方法,观察不同年份彼此间分布的关联以及如何进行变化,公式为

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{x_i - \bar{x}}{h}\right) K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (1)$$

式中: $f(x)$ 为核密度函数; N 为观测值的个数; x_i 为独立同分布的观测值; $\bar{x}$ 为均值; h 为带宽; $K(x)$ 为核函数。

2.1.3 障碍因子诊断模型

为探究城市韧性水平的影响因素,采用障碍度模型分析城市韧性水平的障碍因子,公式为

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

$$Q_{ij} = \frac{I_{ij} W_j}{\sum_{j=1}^n (I_{ij} W_j)} \times 100\% \quad (3)$$

式中: I_{ij} 为指标偏离度; W_j 为因子贡献度; m_{ij} 为单项指标的标准化值; Q_{ij} 为障碍度, Q_{ij} 越大,说明该因子对黄河流域城市韧性水平影响越大,障碍程度越强。

2.2 城市韧性评价指标体系构建

2.2.1 PSR 模型

PSR 模型常用来评估不同领域生态系统状况,在生态安全评价方面,该模型指通过压力指标、状态指标和响应指标,综合表征人类的活动对资源环境造成的压力和随之所做出的反应,自提出以后有

广泛的应用^[8]。近年来,由于各种自然灾害或社会事件的频发,一些学者开始探究 PSR 模型在城市韧性评价的适用性,当 PSR 模型应用到城市韧性研究中^[9],其“压力-状态-响应”过程不仅可以考虑到城市所面临的灾害危险程度,还可以描述在面对灾害风险时城市韧性发挥作用的过程。

2.2.2 基于 PSR 模型的城市韧性框架

从压力、状态以及响应 3 个方面构城市韧性评价指标体系,具有非常清晰的因果关系。随着城市的快速发展,城市所面临的灾害风险压力增大,城市的各个子系运作的状态随之发生一定改变,促使人类社会对城市灾害风险的变化做出响应,采取措施提升城市韧性能力,增强抵抗风险的能力。将 PSR 模型和城市韧性理论两者结合,可以将城市韧性的形成过程分解为压力韧性、状态韧性、响应韧性。

压力韧性指城市面临的灾害风险类型,体现致灾因子的危险性。通过对黄河流域灾害种类进行剖析,灾害类型主要为自然灾害、事故灾难和社会安全问题,所以主要从自然灾害与人为灾害进行指标的选取;状态韧性从城市各个子系统出发,即经济、社会、生态资源和基础设施建设,主要反映各子系统目前的暴露状态,体现韧性特点的冗余性、多样性等特点;响应韧性指城市面对灾害风险的抵抗、恢复、吸收能力,这是一个城市韧性能力发挥作用的重要阶段,体现城市韧性的鲁棒性、恢复性、适应性和学习性。考虑到城市韧性内涵以及学者的研究成果^[10-13],考虑到指标科学性、客观性、独立性和可获性等原则,构建了黄河流域城市韧性评价指标体系,见表 1。

3 黄河流域城市韧性水平的时序变化分析

采用核密度估计方法,从分布位置、分布形态、分布延展性以及极化趋势等方面,对黄河流域城市韧性发展水平的整体非均衡性及其动态演化趋势进行分析。图 1 为黄河流域整体韧性水平在 2006—2020 年的三维核密度图。

总的来看,黄河流域城市韧性发展水平逐年增加,但在发展过程中存在着“独大的城市”,主要存在两个不同发展阶段:第 1 阶段:2006—2008 年和 2011—2020 年属于省份间城市韧性水平差异减小阶段,该阶段各省份间的差异在逐年缩小。由于在 2014 年国家明确了黄河流域是我国生态环境保护和经济社会发展的重点区域,从专项财政资金的引导、基础设施建设、生态环境保护等方面不断加强和完善黄河流域城市建设,政策的实施有效地推动

表 1 城市韧性综合评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	评价含义
压力韧性	自然灾害	地震经济损失 D_1	地震灾害
		发生地质灾害数量 D_2	地质灾害
		全年降水量 D_3	洪涝灾害
		气象灾害受灾面积 D_4	其他气象灾害
	人为灾害	失业率 D_5	就业风险
		刑事案件、治安事件、交通事故数量 D_6	社会安全
		三废排放量 D_7	环境污染
状态韧性	城市环境资源状态	城市人均园林绿地面积 D_8	城市基础生态状况
		建成区绿化覆盖率 D_9	
		PM _{2.5} 平均浓度 D_{10}	
		城市用水普及率 D_{11}	城市能源使用情况
		分地区人均电力消费量 D_{12}	
	城市社会状态	燃气普及率 D_{13}	人口密度
		城市人口数量/区域面积 D_{14}	
		年龄结构 D_{15}	
	城市经济状态	城镇化人口 D_{16}	人口结构
		区域 GDP/区域面积 D_{17}	经济密度
		第三产业占 GDP 的比重 D_{18}	经济结构
		当年实际使用外资额占 GDP 比重 D_{19}	对外开放水平
响应韧性	抵抗响应	建成区排水管道密度 D_{20}	排水情况
		人均城市道路面积 D_{21}	道路交通状况
	恢复响应	每万人拥有公共交通工具 D_{22}	
		互联网普及率 D_{23}	预警能力
		移动电话普及率 D_{24}	
		政府财政收入增长率 D_{25}	城市灾后保障能力
		千人拥有的卫生机构病床数 D_{26}	
		社会保障占公共预算支出比例 D_{27}	
		人均 GDP D_{28}	
	适应响应	污水处理率 D_{29}	城市灾后恢复能力
		固体废物利用率 D_{30}	经济创新提升
		生活垃圾无害处理率 D_{31}	
		R&D 经费 D_{32}	
		城市市政公用设施建设固定资产投资完成额 D_{33}	基础设施提升
		居民年末储蓄余额 D_{34}	社会韧性提升
		每万人公共图书馆藏书量 D_{35}	

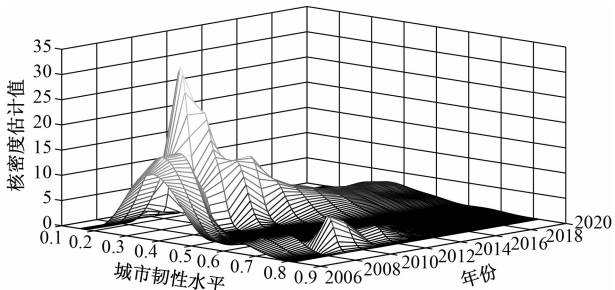


图 1 城市韧性三维核密度图

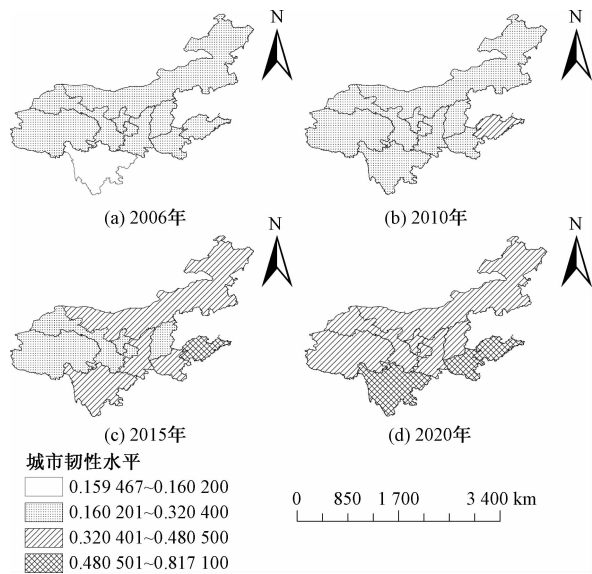
了黄河流域城市韧性发展水平的提升,缩小了各省份之间的差异。第 2 阶段:2008—2011 年,各省份城市韧性发展水平属于差异变大的阶段,该阶段极化趋势趋于明显。原因在于 2008 年以来,受到金融危机的负向效应和突发事件等方面的综合影响,给国内地方政府的经济和社会发展等产生较大冲击,黄河流域各省份城市韧性建设资金受到不同程度的影响。

具体来看,2006—2020 黄河流域城市韧性水平的分布动态呈现如下特征:从分布位置来看,2006—2020 年不同观察年份分布曲线的中心呈现不同幅度的右移变化,说明在此期间内,黄河流域的城市韧性的水平整体稳步提升的时序特征;从分布形态来看,分布曲线的主峰高度在 2008—2009 年明显升高,曲线宽度变窄,其余年份主峰高度属于持续变低、变缓,且曲线的宽度不断变大;说明在此期间,城市韧性的水平的集中趋势有大幅度提升,不同地区间城市韧性水平的两极分化严重;可以看出 2006—2008 年与 2009—2020 年,城市韧性发展水平较低的省份对较高省份的“追赶”,各省份的城市韧性水平趋于均衡;从分布曲线的延展性来看,曲线右侧尾部逐年向右蔓延,且拖尾现象一直存在,表明黄河流域城市韧性水平发展差异较大,存在个别“独大城市”;从极化趋势来看,观测期内曲线波峰数量经历了“一主一侧双峰—主峰双侧峰三峰-单峰”的演变过程,两极分化特征趋于减弱。具体来看,2006—2008 年黄河流域城市韧性水平主要存在一个主单峰和一个较低的侧峰,至 2008—2014 年则除一个主峰之外,还有两个不太明显的侧峰,此后在 2014—2020 年均呈现单峰形态,黄河流域城市韧性分布逐步从发散走向收敛。

4 黄河流域城市韧性空间特征分析

为了反映各省城市韧性水平的空间格局及其变化,参考前人的研究,以城市韧性指数平均值的 50%、100% 及 150%,运用 ArcGIS10.2 软件对黄河流域城市韧性测度指数(C)进行分级聚类,将各城市依次划分为低水平韧性城市($0.159\ 5 \leq C < 0.160\ 2$)、较低水平韧性城市($0.160\ 2 \leq C < 0.320\ 4$)、较高水平韧性城市($0.320\ 4 \leq C < 0.480\ 5$)、高水平韧性城市($0.480\ 5 < C < 0.817\ 1$)。2006 年、2010 年、2015 年、2020 年时间截面的城市韧性水平空间分布如图 2 所示。

从黄河流域 9 省区城市韧性水平空间特征来



审图号:GS(2020)4619 号

图 2 2006 年、2010 年、2015 年、2020 年黄河流域城市韧性空间格局分布

看,在 2006—2020 年城市韧性水平呈上升趋势,总体呈现“东高西低,南高北低”的格局,即黄河流域东部省份韧性水平总体高于西部省份,黄河流域南部省份韧性水平总体高于北部省份。其中,黄河下游东部省份的山东省得益于经济、环境、设施、制度等多方面优势一直处于领先地位;黄河中游南部的四川省递增最明显;而由于历史、自然条件等原因,位于黄河上游的青海、甘肃、宁夏是典型的生态脆弱区,荒漠和沙化面积占比较大,经济社会发展相对滞后;黄河中游的山西、陕西、内蒙古是能源富集区,地区产业结构单一且偏重,流域生态环境风险高,城市的韧性能力与其他省份相比较弱。

从时间变化的具体情况来看:2006 年,黄河流域各城市间城市韧性水平总体差异性不大,除四川处于低韧性水平外,城市韧性水平发展度处于较低阶段。2010 年,黄河流域城市韧性逐渐出现差异,其中,山东省由于地理位置的优势和政策的倾向率先进行了发展晋升为较高韧性水平,四川省的城市韧性水平也提升为低韧性水平,其余省份的城市韧性水平变化形式不大。2015 年黄河流域城市韧性水平差异明显,山东省快速发展为高韧性水平;增加了 4 个较高韧性水平城市,即黄河中部城市内蒙古、陕西、河南、四川,这由于丰富的人口资源、完善的产业结构带动经济的快速增长,在交通基础设施建设、社会发展、环境共治等方面取得了良好的成效,有效地提高了城市韧性水平;但黄河上游青海、

甘肃、宁夏由于可用自然资源较为匮乏、基础设施建设困难,经济发展增速较缓,影响了城市韧性水平的发展。2020 年,黄河上游地区的青海、甘肃、宁夏和中游地区的山西有了较快的发展,从较低韧性水平发展为较高韧性水平;河南和四川也由较高韧性水平发展为同山东省一样的高韧性水平,说明其抵御外来干扰的能力和自我恢复能力更强。西部和中省份受国家西部大开发战略和“一带一路”倡议等影响,改善了中、西部省区的环境、交通等基础设施条件,使经济基础相对落后的省份城市韧性水平得以加快发展,与黄河下游东部地区的差距逐渐缩小。

5 黄河流域城市韧性水平影响因素分析

通过运用障碍度模型对 2006—2020 年的各省份的韧性水平障碍因素进行识别,可以判断出各省份相邻年份的部分主要障碍因素具有一定共性,因此选取 2006 年、2020 年排名前 5 的障碍因素进行展示,见表 2。

从总体上看,研究期内影响黄河流域绿色发展前 5 的障碍指标,按照频次出现较高的依次是: D_{32} R&D 经费内部支出(出现 33 次,覆盖面 91%)、 D_{17} 经济密度(出现 22 次,覆盖面 81%)、 D_{33} 本年城市市政公用设施建设固定资产投资完成额(出现 26 次,覆盖面 69.4%)、 D_{25} 财政收入和 D_{27} 社会保障和就业,对应指标层为响应韧性中的恢复和适应能力,状态韧性中的城市环境资源和经济状态,可以看出,经济状态和创新能力是和是黄河流域城市韧

表 2 各省份城市韧性水平障碍因子指标排序

省份	年份	障碍因子指标排序				
		1	2	3	4	5
山西	2006	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{25}	D_{27}
	2020	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{25}	D_{12}
内蒙古	2006	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{25}	D_{27}
	2020	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{25}	D_{27}
山东	2006	D_{32}	D_{17}	D_{25}	D_{33}	D_{27}
	2020	D_{14}	D_{35}	D_{28}	D_{10}	D_{30}
河南	2006	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{25}	D_{27}
	2020	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{30}	D_{12}
四川	2006	D_{32}	D_{17}	D_{25}	D_{33}	D_{27}
	2020	D_{17}	D_{32}	D_{30}	D_{12}	D_{25}
陕西	2006	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{25}	D_{27}
	2020	D_{32}	D_{17}	D_{25}	D_{12}	D_{30}
甘肃	2006	D_{32}	D_{17}	D_{25}	D_{33}	D_{27}
	2020	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{25}	D_{30}
青海	2006	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{25}	D_{27}
	2020	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{25}	D_{27}
宁夏	2006	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{25}	D_{27}
	2020	D_{32}	D_{17}	D_{33}	D_{25}	D_{27}

性发展最大障碍因素,当城市遭到人为灾害或自然灾害侵袭时,雄厚的经济实力为城市灾后恢复和发展提供必要的经济基础和物质保障。

不同省份来看:位于黄河下游的山东省城市韧性水平的障碍因素随时间较大变化。2012年R&D经费内部支出(D_{32})和经济密度(D_{17})对其韧性发展的障碍作用较大,山东省经济状态不足以支持城市韧性的发展,但随着时间的变化,山东省的经济密度和经济创新能力提升,其障碍作用逐渐减弱;2020年以来,城市人口密度(D_{14})和人均拥有公共图书馆藏量(D_{35})成为阻碍山东城市韧性发展最大的因素,说明随着人口数量增多,面临的人口压力逐渐增大,社会人口问题成为制约城市韧性发展的重要因素。

四川、河南和陕西障碍因子变化情况类似,四川省的城市韧性发展最初受R&D经费内部支出(D_{32})和经济密度(D_{17})影响最大,但随着时间的推移,排名前5的障碍因子发生了变化,即本年城市市政公用设施建设固定资产投资完成额(D_{33})和社会保障和就业(D_{27})指标被固体废物利用率(D_{30})和电力消费量(D_{12}),说明这3个省份随着社会经济的发展,遇到灾情的保障能力和灾后城市基础设施建设能力逐年增加,但同时城市发展也会产生如能源消耗量大、废气和废水处理压力大等问题。

山西和内蒙古障碍度变化不明显,主要在排名前5的障碍度次序上的改变,青海和宁夏障碍因子没有变化。总的来看,这些省份的主要障碍因素来源几乎相同,其中响应韧性的障碍度最高,状态韧性位于其后,出现较为频繁的状态韧性障碍因素为经济密度(D_{17}),响应韧性的障碍因素为R&D经费内部支出(D_{32})、本年城市市政公用设施建设固定资产投资完成额(D_{33})、财政收入(D_{25})。可以看出,青海和宁夏、内蒙古受限于地理位置偏远、生态环境脆弱等方面,经济基础相对薄弱,缺少充足的资金来支持科技创新的投入。山西和甘肃在2020年固体废物利用率(D_{30})和电力消费量(D_{12})的障碍度变大进入前5,山西的经济发展主要依靠资源密集型产业,环境保护压力较大,除了需要在经济和基础设施建设方面发展,在能源利用技术与环境保护方面有所提高,增强城市系统的自我修复能力,强化城市抗击各种风险干扰的能力。

6 结论与建议

基于PSR模型评价黄河流域城市韧性水平,运用综合指数法测算城市韧性评价指数,通过核密度

估计和空间分析探索了城市韧性水平的时空分异特征,依据障碍度模型识别影响黄河流域城市韧性水平的因素,得出如下结论,并提出相应建议。

黄河流域城市韧性水平整体呈现上升趋势。其中山东、河南、四川韧性水平的提升更加明显;黄河流域城市韧性水平的空间差异显著,在空间上总体呈现“东高西低,南高北低”的格局,即黄河流域东部省份韧性水平总体高于西部省份,黄河流域南部省份韧性水平总体高于北部省份,其中山东省城市韧性发展水平相对较高。因此未来在促进黄河流域城市韧性发展水平稳步提升的同时,需要缩小不同省份间的绝对差异,减弱极化程度。

从障碍因子分析来看,影响黄河流域城市韧性水平的主要障碍因子分别为R&D经费内部支出、经济密度、本年城市市政公用设施建设固定资产投资完成额、财政收入、社会保障和就业,表明黄河流域城市韧性发展水平是经济状态、创新能力和保障能力等多重干扰综合作用的结果。因此,未来要将提升城市经济实力、创新能力和社会保障能力作为各个省份发展城市韧性水平的主要目标。

参考文献

- [1] ALBERTI M, MARZLUFF J M, SHULENBERGER E, et al. Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems[J]. *BioScience*, 2003, 53(12): 1169-1179.
- [2] City resilience framework[R]. New York: The Rockefeller Foundation and ARUP, 2014: 928.
- [3] 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, 39(10): 1717-1731.
- [4] JOERIN J, SHAW R, TAKEUCHI Y, et al. Action-oriented resilience assessment of communities in Chennai, India [J]. *Environmental Hazards*, 2012, 11(3): 226-241.
- [5] 张振, 张以晨, 张继权, 等. 基于熵权法和TOPSIS模型的城市韧性评估: 以长春市为例[J]. *灾害学*, 2023, 38(1): 213-219.
- [6] 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, 34(2): 72-79.
- [7] 缪惠全, 王乃玉, 汪英俊, 等. 基于灾后恢复过程解析的城市韧性评价体系[J]. *自然灾害学报*, 2021, 30(1): 10-27.
- [8] 孔子强, 张玉红. 基于PSR模型的扎龙湿地生态承载力评价及预测[J]. *哈尔滨师范大学自然科学学报*, 2022, 38(1): 54-62.
- [9] 焦柳丹, 邓佳丽, 吴雅, 等. 基于PSR+云模型的城市韧性水平评价研究[J]. *生态经济*, 2022, 38(5): 114-120.
- [10] 肖翠仙. 中国城市韧性综合评价研究[D]. 南昌: 江西财经大学, 2021.
- [11] 杨睿. 基于PSR模型的临洮县县城基础设施韧性研究

[D]. 兰州:兰州交通大学,2021.

[12] 赵冬月,陈长坤,易亮,等. 城市韧性多因素综合评估模型研究[J]. 中国安全生产科学技术,2022,18(5):54-59.

[13] 季小妹,聂智磊,梁洪艳. 城市韧性的变动评价与影响因素分析:以山东省济南市为例[J]. 科学与管理,2022,42(3):87-94.

Urban Resilience Assessment of Yellow River Basin Based on PSR Model

LI Boya, SHI Weiliang

(School of Statistics,Xi'an University of Finance and Economics,Xi'an 710100,China)

Abstract: With the risk of city facing uncertain factors increasing gradually, resilience is gradually applied to urban risk management as a new concept. The PSR (pressure-state-response) model is used to evaluate the level of urban resilience in the Yellow River basin. Based on the kernel density function and obstacle degree model, the temporal and spatial distribution characteristics of urban resilience and its influencing factors in the Yellow River basin are studied. The results show that the urban resilience level of the Yellow River basin shows an upward trend from 2006 to 2020, with a spatial pattern of “High in the east and low in the west, high in the south and low in the north”. The main obstacle factors affecting urban resilience in the Yellow River basin are the result of comprehensive effects of economic status, innovation ability and guarantee ability.

Keywords: urban resilience; toughness evaluation; PSR (pressure-state-response) model; kernel density estimation; obstacle analysis