

# 副省级城市综合韧性评价及障碍因子识别

何叶荣, 刘欢迎

(安徽建筑大学 经济与管理学院, 安徽 合肥 230022)

**[摘要]** 为了提升副省级城市韧性,探索其可持续发展路径。该文以15个副省级城市为研究对象,运用改进的CRITIC-熵权组合赋权法、TOPSIS法、方差分解法、障碍度模型对2011—2020年15个副省级城市综合韧性进行评价,并对其障碍因子进行识别分析。结果显示:15个副省级城市综合韧性在2011—2020年间呈现波动上升的趋势,整体形势较好;各副省级城市综合韧性、分项韧性排名存在明显差异;从方差分解结果来看,宁波、成都、长春、哈尔滨四个城市的经济韧性和生态韧性对综合韧性的贡献度最大,而其余副省级城市则是经济韧性和社会韧性的贡献度最大;从障碍度结果分析,经济系统和社会系统是制约副省级城市韧性提升的主要障碍系统,对于具体指标,每百人公共图书馆藏书( $b_3$ )和一般公共预算收入( $a_4$ )是大部分副省级城市的主要障碍因子。未来,各副省级城市应依据发展情况着力补齐短板,从完善社会应急保障体系、扩大社会文化产业影响力和增加科教领域的投入等方面增强城市韧性,推动副省级城市实力整体提升。

**[关键词]** 城市韧性;CRITIC-熵权组合赋权法;TOPSIS评价模型;方差分解法;障碍度模型

doi:10.3969/j.issn.1673-9477.2023.03.005

**[中图分类号]** F299.2

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1673-9477(2023)03-0032-10

随着中国城镇化进程快速发展,各种要素在城市高度集聚,城市已然成为各类风险的高发地。因此,为了提高城市抵御不确定冲击和扰动的能力,城市韧性逐渐成为国内外学者研究的重点。

2020年11月,《中共中央关于制定国民经济和社会发展的第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》首次提出建设“韧性城市”。2022年10月,党的二十大提出“打造宜居、韧性、智慧城市”。在此背景下,副省级城市作为城市体系核心,能够带动周围地区经济发展,推进区域经济繁荣,其稳定发展在全面推动区域乃至全国协调发展中发挥重要作用。同时,相对于其他城市,副省级城市具有覆盖面广、代表性强和级别统一等特点,因此,评价分析副省级城市韧性及其障碍因子,对探析不同类型城市韧性发展状况以及保障中国城市高质量发展具有重要的现实意义。

## 一、文献综述

“韧性”一词源自拉丁语“Resilio”,最初指的是“回弹到初始状态”。1973年加拿大学者霍林(Holling)<sup>[1]</sup>提出“生态韧性”,用于描述自然系统复原稳态的能力。在工程韧性和生态韧性基础上,

Holling(2001)<sup>[2]</sup>和Gunderson(2003)<sup>[3]</sup>提出了演进韧性概念,成为城市韧性研究的主要理论基础。此后,国内外的学者不断丰富城市韧性的概念内涵。一般来说,城市韧性是指城市系统为了应对危机和干扰,通过自我调节与更新,获得动态平衡与恢复成长的能力<sup>[4]</sup>。据已有文献分析,目前对城市韧性的研究主要集中在城市韧性内涵和评价两个方面。针对城市韧性内涵的辨析,Martin(2012)<sup>[5]</sup>通过梳理复杂适应系统理论,归纳了城市韧性的相关内容,认为城市韧性主要涉及抵抗力、恢复力、再组织力、更新力四个维度。但部分学者发现,抵抗力和恢复力之间存在联系,在评价指标选择方面难以彻底分离。因此,暴向平等(2021)<sup>[6]</sup>从抵抗恢复力、适应调整力、创新转型力等三个层面构建指标体系对内蒙古城市韧性进行评价。张鹏等(2018)<sup>[7]</sup>强调城市韧性可分解成经济、社会、生态、工程等多个方面,其实质在于城市面临风险时,主动探求适应性的调整途径。

目前,学者对于城市韧性评价主要集中在三个方面。一是评价路径上,Ribeiro等(2019)<sup>[8]</sup>从社会、制度、经济、自然、物理五个层面测算城市韧性。周铭毅等(2023)<sup>[9]</sup>基于经济、社会、环境、管理四个维度,对广东省洪涝灾害韧性进行评价;修春亮等

**[投稿日期]** 2023-06-27

**[基金项目]** 教育部规划基金项目(编号:21YJA630027)

**[作者简介]** 何叶荣(1971-),女,安徽霍邱人,博士,教授,研究方向:风险管理。

(2018)<sup>[10]</sup>从抵御恢复力、适应调整力、转型创新力等三个层面构建城市韧性研究框架,评价大连各县市区的城市韧性。二是评价方法上,主要采用空间研究方法和非空间研究方法,前者主要有 Kernel 密度估计、Dagum 基尼系数、耦合协调分析等,后者主要有熵值法<sup>[11-12]</sup>、层次分析法<sup>[13]</sup>、熵权-TOPSIS 法<sup>[14]</sup>。三是研究区域上,已有城市韧性评价对象以城市群<sup>[13-14]</sup>、特定地区城市<sup>[15-16]</sup>居多。

识别阻碍城市韧性提升的影响因素,直接关系到城市针对性政策的制定。借助障碍度模型可快速明晰关键影响指标,厘清制约城市韧性提升的主要障碍因子,进而精准把握城市韧性发展的优劣势。如时朋飞等(2023)<sup>[17]</sup>诊断了影响旅游业高质量发展的障碍因子,并对该因子进行管控。

综合以上文献可以看出,现有研究成果为评价城市韧性提供了一定的理论参考,学者普遍从社会、经济、生态等多方面建立评价指标体系,研究深度集中在城市韧性内涵和评价上,缺乏对城市韧性障碍因子的识别和分析。同时,已有研究对象多针对城市群、特定省份,对副省级城市韧性研究文献较少。

基于此,本文以副省级城市为研究对象,从经济、社会、生态、基础设施等四个维度构建城市韧性评价体系。使用 CRITIC-熵权组合法对评价指标客观赋权,利用 TOPSIS 法对城市韧性科学评估,借助方差分解法分析各子系统对城市综合韧性的贡献度。同时,进一步探究影响城市韧性提升的障碍因子,以期对副省级城市增强韧性提供参考。

## 二、研究区域和研究方法

### (一) 研究区域概况

本文选择深圳、广州、厦门、宁波、杭州、武汉、成都、西安、南京、青岛、济南、大连、沈阳、长春、哈尔滨 15 个副省级城市进行研究。副省级城市作为副省级建制的省直辖市,与其他城市相比,副省级城市拥有相对独特的行政等级、庞大的经济体量、丰富的管理经验等优势。

### (二) 研究方法

#### 1. 基于改进的 CRITIC-熵权法确定指标权重

CRITIC 法是 Diakoulaki(1995)提出的一种客观赋权方法。其思想是基于评价指标的对比强度和指标之间的冲突性来综合衡量指标的客观权重。对比强度的大小用标准差表示,冲突性用相关系数衡量。近年来学者们发现标准差带有量纲,相关系数可能出现负值,但实质上冲突性只与相关系数的绝对大

小有关,而与正负无关。<sup>[18]</sup>据此,本文对传统的 CRITIC 方法的算法公式进行了两方面的优化:一是用标准差系数代替标准差,二是对相关系数取绝对值。

另外,传统的 CRITIC 方法没有考虑指标间的离散性,而熵权法正是依据指标间信息的离散程度实现赋权。鉴于此,本文选择使用 CRITIC-熵权组合赋权法计算城市韧性的权重。

假设有  $n$  个评价对象, $m$  个评价指标,原始数据为  $X_{ij}$ ,  $i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, m$ 。

首先对数据进行标准化处理:

$$X_{ij}^* = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

$$X_{ij}^* = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

其中, $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$  分别是第  $j$  项评价指标的最大值和最小值, $X_{ij}^*$  是标准化的数据。

第  $j$  项指标的信息量为  $C_j$ :

$$C_j = \frac{S_j}{x} \sum_{i=1}^n (1 - |r_{ij}|) \quad (3)$$

其中, $S_j$ 、 $\bar{X}_j$  分别是第  $j$  项评价指标的标准差和平均值, $r_{ij}$  是第  $i$  项指标与第  $j$  项指标的相关系数。

计算第  $j$  项指标的权重:

$$W_1 = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^m C_j} \quad (4)$$

根据熵权法计算权重,首先计算标准化后的城市韧性各评价指标  $X_{ij}^*$  出现的概率:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}^*}{\sum_{i=1}^n X_{ij}^*} \quad (5)$$

其次计算评价指标的信息熵:

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (6)$$

然后计算第  $j$  项指标的权重:

$$W_2 = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^m (1 - E_j)} \quad (7)$$

最后计算第  $j$  项指标的组合权重:

$$W_j = \beta W_1 + \beta W_2 \quad (8)$$

参考前人研究, $\beta$  取 0.5<sup>[18]</sup>,即本文假定两种赋权方法具有相同的重要性。

#### 2. TOPSIS 评估方法

Hwang 和 Yoon 于 1981 年首次提出 TOPSIS 方

法,该方法通过比较各评价对象与最优解、最劣解的相对距离进行排序<sup>[19]</sup>。本文使用 CRITIC-熵权组合赋权法测度各指标的权重,再利用 TOPSIS 法评估副省级城市韧性发展水平,使其结果更加科学。

根据学者傅为忠<sup>[18]</sup>的做法,计算评价指标加权矩阵  $V$ :

$$V = \begin{pmatrix} V_{11} & \cdots & V_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{n1} & \cdots & V_{nm} \end{pmatrix} \quad (9)$$

其中,  $V_{ij} = X_{ij}^* \cdot W_j$ ,  $W_j$  为第  $j$  项指标的组权重。

确定正理想解和负理想解:

$$V^+ = (V_1^+, V_2^+, \dots, V_m^+) \\ = \{\max V_{ij} \mid j \in J_1, \min V_{ij} \mid j \in J_2\} \quad (10)$$

$$V^- = (V_1^-, V_2^-, \dots, V_m^-) \\ = \{\min V_{ij} \mid j \in J_1, \max V_{ij} \mid j \in J_2\} \quad (11)$$

其中,  $J_1$  属于正向指标集合,  $J_2$  属于负向指标集合。

首先计算欧式距离  $S_i^+$  和  $S_i^-$ :

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (12)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (13)$$

其次计算各评价对象与理想解的相对接近度  $\delta_i$ :

$$\delta_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (14)$$

其中,  $0 < \delta_i < 1$ ,  $\delta_i$  越大表明年份  $i$  的城市韧性水平越优。

### 3. 方差分解法

副省级城市综合韧性 ( $C$ ) 分为经济韧性 ( $C_1$ )、社会韧性 ( $C_2$ )、生态韧性 ( $C_3$ )、基础设施韧性 ( $C_4$ ) 四个部分。四者得分的加和即为副省级城市综合韧性得分。因此,借助方差分解法可以清晰地衡量这四个部分对副省级城市的综合贡献率<sup>[20]</sup>,具体公式如下:

$$\text{var}(C) = \text{cov}(C, C_1 + C_2 + C_3 + C_4) \quad (15)$$

$$= \text{cov}(C, C_1) + \text{cov}(C, C_2) + \text{cov}(C, C_3) \\ + \text{cov}(C, C_4) \quad (16)$$

等式两边同时除以  $\text{var}(C)$ :

$$1 = \frac{\text{cov}(C, C_1)}{\text{var}(C)} + \frac{\text{cov}(C, C_2)}{\text{var}(C)} + \frac{\text{cov}(C, C_3)}{\text{var}(C)} \\ + \frac{\text{cov}(C, C_4)}{\text{var}(C)} \quad (17)$$

### 4. 障碍度模型

本文借助障碍度模型综合测算城市韧性各评价指标体系的障碍度,找出限制城市韧性进一步提升的关键因素,明晰关键障碍因子的影响程度,以期制定科学、合理的政策提供参考。具体公式如下:

$$F_j = f_j \times W_j, V_j = 1 - E_j \quad (18)$$

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;  $F_j$  为因子贡献度,反映第  $j$  项指标对副省级城市韧性水平的贡献程度;  $V_j$  为指标偏离度,代表第  $j$  项指标与副省级城市韧性水平目标之间的差距。

第  $i$  个指标对城市韧性的障碍度 ( $y_j$ ) 计算公式如下:

$$y_j = \frac{F_j \times V_j}{\sum_{i=1}^n (F_j \times V_j)} \times 100\% \quad (19)$$

准则层城市韧性障碍度 ( $Y_j$ ) 计算公式如下:

$$Y_j = \sum y_{ij} \quad (20)$$

## 三、数据来源与城市韧性评价指标体系

### (一) 数据来源

上述 15 个副省级城市的数据主要来源于 2012—2021 年的《中国城市统计年鉴》,以及各地级市统计年鉴等。个别年份缺失的数据,本文利用插值法补全。

### (二) 城市韧性评价指标体系

在考虑城市韧性的内涵,并结合已有研究成果的基础上,本文从经济韧性、社会韧性、生态韧性和基础设施韧性四个维度,选取 23 个指标构建副省级城市韧性评价指标体系,详见表 1。

## 四、副省级城市综合韧性评价分析

### (一) 指标权重分析

依据公式 (1) — (8) 对副省级城市 2011—2020 年的数据进行赋权,如表 2 所示。

根据表 2,准则层社会韧性、经济韧性、基础韧性权重分别为 0.322、0.316、0.205。表明社会韧性是驱动城市韧性提高的首要子系统,经济和基础设施对城市韧性发展水平也有较大影响,生态韧性的权重为 0.165,表明改善生态环境是一个漫长的过程,目前在城市韧性发展过程中影响作用并不明显。指标层人均公园绿地面积 ( $c_2$ )、每百人公共图书馆藏书 ( $b_3$ )、每万人在校大学生数 ( $b_4$ ) 位列前 3,分别达到了 0.102、0.100、0.072。表明这 3 项指标在影响

表 1 城市韧性评价指标体系

准则层	代码	指标层	指标含义	指标单位	属性
经济韧性 A	a <sub>1</sub>	地区生产总值	城市经济实力	亿元	正
	a <sub>2</sub>	人均地区生产总值	人均经济实力	元	正
	a <sub>3</sub>	城市区域第三产业占比	经济空间稳定性	%	正
	a <sub>4</sub>	一般公共预算收入	风险应对能力	亿元	正
	a <sub>5</sub>	城镇居民人均可支配收入	居民收入水平	元	正
	a <sub>6</sub>	直接利用外资	经济活力水平	亿美元	正
社会韧性 B	b <sub>1</sub>	每万人拥有卫生机构床位数	医疗救助能力	张	正
	b <sub>2</sub>	每万人拥有的医生数	社会应急能力	人	正
	b <sub>3</sub>	每百人公共图书馆藏书	居民受教育程度	册	正
	b <sub>4</sub>	每万人在校大学生数	风险应对能力	人	正
	b <sub>5</sub>	每千人高校学生拥有教师数	社会保障能力	人	正
	b <sub>6</sub>	教育支出占公共预算支出比例	社会创新能力	%	正
	b <sub>7</sub>	自然增长率	社会人口资源	%	负
生态韧性 C	c <sub>1</sub>	市辖区建成区绿化覆盖率	生态适应能力	%	正
	c <sub>2</sub>	人均公园绿地面积	生态绿化水平	平方米/人	正
	c <sub>3</sub>	工业烟(粉)尘排放量	大气污染强度	万吨	负
	c <sub>4</sub>	工业二氧化硫排放量	大气污染强度	吨	负
	c <sub>5</sub>	工业废水排放量	河流污染强度	万吨	负
基础设施韧性 D	d <sub>1</sub>	污水处理厂集中处理率	污染治理能力	%	正
	d <sub>2</sub>	市辖区人均城市道路面积	交通运行能力	人	正
	d <sub>3</sub>	市辖区每万人拥有排水管道长	城市能源能力	千米	正
	d <sub>4</sub>	每万人拥有公共汽车数	城市交通能力	辆	正
	d <sub>5</sub>	市区人均日生活用水量	城市供水现状	立方米	负

表 2 副省级城市韧性权重

准则层	指标层	CRITIC 法赋权 W1	熵权法赋权 W2	CRITIC-熵权法组合赋权 W	总计
经济韧性 A	a <sub>1</sub>	0.050	0.061	0.056	0.316
	a <sub>2</sub>	0.039	0.042	0.041	
	a <sub>3</sub>	0.044	0.035	0.040	
	a <sub>4</sub>	0.059	0.087	0.073	
	a <sub>5</sub>	0.044	0.038	0.041	
	a <sub>6</sub>	0.066	0.063	0.065	
社会韧性 B	b <sub>1</sub>	0.035	0.023	0.029	0.322
	b <sub>2</sub>	0.039	0.047	0.043	
	b <sub>3</sub>	0.078	0.121	0.100	
	b <sub>4</sub>	0.075	0.068	0.072	
	b <sub>5</sub>	0.035	0.016	0.026	
	b <sub>6</sub>	0.037	0.016	0.027	
	b <sub>7</sub>	0.030	0.020	0.025	
生态韧性 C	c <sub>1</sub>	0.036	0.025	0.031	0.165
	c <sub>2</sub>	0.080	0.124	0.102	
	c <sub>3</sub>	0.023	0.011	0.017	
	c <sub>4</sub>	0.010	0.002	0.006	
	c <sub>5</sub>	0.015	0.003	0.009	
基础设施韧性 D	d <sub>1</sub>	0.026	0.011	0.019	0.205
	d <sub>2</sub>	0.043	0.033	0.038	
	d <sub>3</sub>	0.058	0.073	0.066	
	d <sub>4</sub>	0.065	0.076	0.071	
	d <sub>5</sub>	0.015	0.007	0.011	



城市韧性过程中起主要作用,且这些指标是效益型指标,其值越大,城市韧性水平越高。

此外,两种方法测算的权重值差距不大,说明CRITIC-熵权组合赋权法,使结果更加有效<sup>[18]</sup>。

(二)城市综合韧性水平分析

根据公式(9)—(12)对城市韧性进行测度,评价结果如表3、表4。

表3 副省级城市综合韧性评价结果

城市	年份									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
深圳	0.598	0.608	0.609	0.614	0.622	0.639	0.648	0.664	0.666	0.657
广州	0.383	0.424	0.468	0.471	0.479	0.493	0.517	0.558	0.577	0.490
厦门	0.329	0.346	0.350	0.355	0.362	0.378	0.394	0.403	0.415	0.352
宁波	0.252	0.255	0.269	0.284	0.288	0.318	0.337	0.351	0.368	0.346
杭州	0.311	0.329	0.337	0.363	0.390	0.420	0.440	0.459	0.476	0.435
武汉	0.318	0.342	0.361	0.380	0.409	0.433	0.410	0.434	0.454	0.442
成都	0.295	0.320	0.343	0.343	0.355	0.360	0.362	0.384	0.417	0.392
西安	0.278	0.316	0.336	0.329	0.325	0.335	0.341	0.347	0.382	0.377
南京	0.346	0.373	0.373	0.375	0.392	0.416	0.415	0.435	0.480	0.444
青岛	0.320	0.317	0.336	0.351	0.354	0.381	0.368	0.393	0.396	0.383
济南	0.289	0.309	0.336	0.343	0.353	0.376	0.394	0.395	0.401	0.386
大连	0.337	0.345	0.354	0.360	0.296	0.319	0.336	0.350	0.321	0.300
沈阳	0.285	0.297	0.304	0.295	0.304	0.310	0.315	0.324	0.333	0.315
长春	0.232	0.253	0.249	0.264	0.263	0.281	0.285	0.304	0.305	0.291
哈尔滨	0.232	0.257	0.252	0.252	0.264	0.277	0.291	0.307	0.299	0.287

表4 城市综合韧性平均值排名表

城市	深圳	广州	南京	武汉	杭州	厦门	青岛	济南
城市韧性	0.633	0.486	0.405	0.398	0.396	0.368	0.360	0.358
排名	1	2	3	4	5	6	7	8
城市	成都	西安	大连	沈阳	宁波	长春	哈尔滨	
城市韧性	0.357	0.337	0.332	0.308	0.307	0.273	0.272	
排名	9	10	11	12	13	14	15	

由表3、表4可以看出,2011—2019年间,副省级城市韧性呈现稳步上升的态势,但2020年15个副省级城市韧性都有所下降。为深入明晰各城市韧性演化趋势,参考学者吴文洁<sup>[20]</sup>的研究,将表3中2011—2020年间副省级城市综合韧性数值做四舍五入处理。可以看出,深圳、广州综合韧性基本上大于0.5,属于“高韧性型”城市。深圳和广州地理位置优越,综合实力雄厚。南京、杭州、武汉、厦门综合韧性大致在0.4—0.5之间,属于“中高韧性型”城市。南京和杭州作为长三角城市群中心城市,经济活跃,发展机会较多,城市韧性水平相对较高。武汉不仅具有独特的区位优势,同时也是众多高校和研究机构的聚集地,人才资源丰富,科技创新氛围浓厚,城市综合韧性水平相对较高,位居第四名。与其他“中高韧性型”城市相比,厦门经济体量较小,支柱型企业不强,因此,城市综合韧性不如南京、武汉、杭州。成都、青岛、济南、西安、宁波、大

连、沈阳综合韧性基本上处于0.3—0.4之间,属于“中低韧性型”城市。其中,相比于青岛,济南地理位置和城市硬件设施水平较弱,但济南凭借省会超强资源聚集的优势,后期城市韧性发展迅速。西安产业规模相对较小,产业链不健全,城市韧性相对较低。宁波是我国重要的港口开放城市,“港口经济圈”的建设大大提高了宁波的竞争力和辐射力。但是宁波经济活力相对不足,缺乏创新业态和创新企业,高教资源较弱,综合城市韧性较低。大连具有独特区位优势,工业基础深厚,2011—2014年城市韧性水平不断提高,但2015年以后,大连面临外资撤资增加、招商引资发展滞缓等困境。随着大连市政府利好政策的出台,后期城市韧性呈现上升趋势。长春、哈尔滨综合韧性得分大致在0.2—0.3之间,属于“低韧性型”城市。相比于其他副省级城市,地域优势较弱,经济发展受限,城市韧性水平较低。

### (三) 城市分项韧性水平分析

为分析各副省级城市综合韧性水平,依据公式

(1) — (9) 测算出 2011—2020 年各副省级城市综合韧性和各分项韧性的平均得分及排名,如下表 5 所示。

表 5 2011—2020 年副省级城市综合韧性和分项韧性平均得分及排名情况

城市	综合韧性	排名	经济韧性	排名	社会韧性	排名	生态韧性	排名	基础设施韧性	排名
深圳	0.633	1	0.192	1	0.202	1	0.137	1	0.146	1
广州	0.486	2	0.167	2	0.165	2	0.089	2	0.063	4
厦门	0.368	6	0.061	13	0.111	8	0.063	3	0.061	5
宁波	0.307	13	0.094	8	0.063	15	0.049	12	0.064	3
杭州	0.396	5	0.137	3	0.129	6	0.053	8	0.055	9
武汉	0.398	4	0.121	4	0.141	4	0.050	10	0.058	6
成都	0.357	9	0.113	6	0.102	9	0.055	7	0.057	7
西安	0.337	10	0.077	10	0.113	7	0.050	11	0.043	14
南京	0.405	3	0.117	5	0.146	3	0.062	5	0.051	11
青岛	0.360	7	0.109	7	0.078	13	0.063	4	0.073	2
济南	0.358	8	0.074	11	0.137	5	0.044	14	0.056	8
大连	0.332	11	0.088	9	0.089	11	0.057	6	0.050	12
沈阳	0.308	12	0.066	12	0.094	10	0.053	9	0.045	13
长春	0.273	14	0.033	15	0.079	12	0.049	13	0.054	10
哈尔滨	0.272	15	0.052	14	0.075	14	0.035	15	0.039	15

根据表 5 可以看出,副省级城市各分项韧性之间存在显著差异。经济韧性方面,深圳、广州、杭州、武汉、南京市场规模较大、经济发展迅速,而厦门、沈阳、长春、哈尔滨因经济体量偏小、科技创新能力不足、龙头企业实力不强,经济韧性水平排名靠后。社会韧性方面,深圳、广州、南京、武汉、济南等城市社会公共服务能力较强,社会资源充足,社会韧性处在领先地位,而宁波、青岛高校资源缺乏,人才资源流失严重,产业发展水平较弱,社会韧性水平较低。生态韧性方面,深圳、广州、厦门、青岛、南京等城市生态环境具有明显优势,而宁波、济南产业结构不合理,重污染领域企业较多,污染负荷偏高,制约着宁波、济南生态韧性水平的提升。基础设施韧性方面,深圳、青岛、宁波、广州、厦门基础设施较完善,而西安、南京人口规模庞大,对比其他副省级城市,城市规模较小,人均资源相对不足,基础设施韧性水平较低。长春、哈尔滨因城市区位不占优势,各分项韧性排名靠后。

除此之外,为辨析副省级城市综合韧性差距来源,利用方差分解法对副省级城市综合韧性进行分解,见下图 1。

由图 1 所示,除宁波、成都、长春、哈尔滨外,经济韧性和社会韧性对其余副省级城市的综合韧性贡献最大,说明这些城市的经济发展态势向好,社会保障体系较为完善。宁波、成都、长春、哈尔滨都是经济韧性和生态韧性对综合韧性的贡献度最大,表明

这些城市在发展经济的同时,不断改善当地生态环境,增强生态韧性。

## 五、城市韧性障碍因子分析

在分析副省级城市韧性水平变化的基础上,本文将进一步对影响副省级城市韧性提升的障碍因子进行识别分析,为提高副省级城市韧性水平提供参考。

### (一) 准则层障碍因子分析

由公式(15) — (17) 计算出 2011—2020 年副省级城市韧性准则层障碍度,结果见下表 6。

由表 6 可以看出,2011—2020 年 15 个副省级城市经济韧性障碍度呈现下降趋势,而社会韧性、生态韧性、基础设施韧性障碍度呈现缓慢上升态势。经济韧性障碍度从 41.43% 下降到 31.72%,降低幅度为 23.44%,社会韧性、生态韧性、基础设施韧性障碍度涨幅分别为 11.11%、16.36%、30.17%,其中,基础设施韧性障碍度涨幅最快。2017—2020 年,社会韧性子系统超越经济韧性子系统,成为障碍度最大的准则层,表明社会韧性已经成为制约副省级城市韧性提升的首要因素。根据表 6,2011—2020 年,经济韧性、社会韧性是影响副省级城市韧性的两大障碍子系统,基础设施韧性障碍度虽然不高,但涨幅却是社会韧性的两倍多,说明副省级城市提高经济和社会发展水平的同时,还需要重点关注基础设施建设。

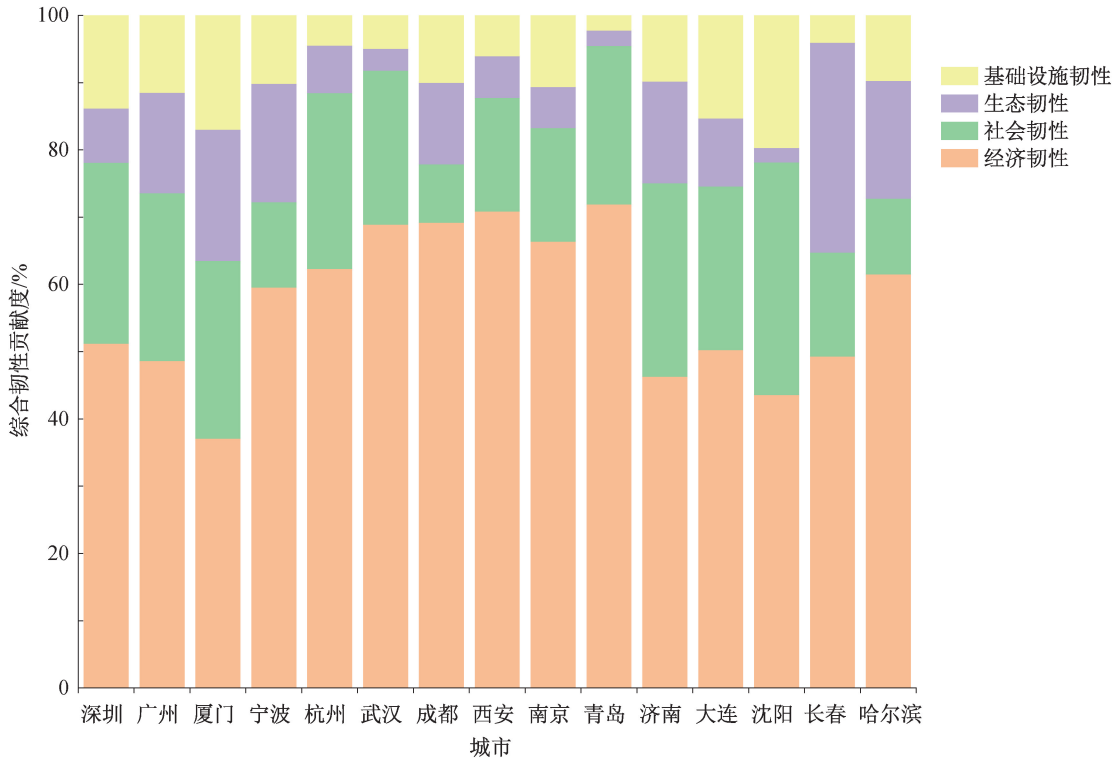


图1 副省级城市综合韧性方差分解

表6 2011—2020年准则层障碍度

年份	障碍度			
	经济维度	社会维度	生态维度	基础设施维度
2011	41.43	35.37	8.74	14.45
2012	40.92	34.70	8.81	15.57
2013	39.64	35.88	9.09	15.39
2014	39.11	35.97	9.44	15.49
2015	38.43	36.08	9.57	15.92
2016	37.61	36.44	9.46	16.50
2017	36.00	37.05	9.71	17.24
2018	34.92	37.84	9.89	17.35
2019	33.74	37.86	10.29	18.11
2020	31.72	39.30	10.17	18.81

(二) 指标层障碍因子分析

由公式(15)—(16)测算出2020年副省级城市韧性指标层障碍度,见下表7。

为深入辨析近期评价指标对副省级城市韧性的影响,以2020年数据为研究样本,计算并筛选出各副省级城市韧性障碍度排名前五的评价指标,见表7。

根据表7可以看出,每百人公共图书馆藏书( $b_3$ )、一般公共预算收入( $a_4$ )是大多数副省级城市的主要障碍因子,不同类型城市的主要障碍因子存在差异。

(1)高韧性型城市中,每万人在校大学生数( $b_4$ )、直接利用外资( $a_6$ )是制约深圳韧性发展的主要

障碍因子。面对日益复杂的内外部环境,深圳应该加强人才引进和培养工作,发展高水平对外开放格局。广州的第一障碍因素是每百人公共图书馆藏书( $b_3$ ),说明文化产业发展制约广州城市韧性的提升。

(2)中高韧性型城市中,每百人公共图书馆藏书( $b_3$ )是杭州、武汉的首要障碍因子,其中,每万人拥有公共汽车数( $d_4$ )、市辖区每万人拥有的排水管道长度( $d_3$ )是杭州、武汉的第四、第五障碍因子,说明基础设施对这两个城市韧性提升具有重要作用。每百人公共图书馆藏书( $b_3$ )、每万人在校大学生数( $b_4$ )是影响厦门城市韧性的主要障碍因子,表明厦门不仅要注重文化公共服务,还要加强人才资源管理。

(3)中低韧性型城市中,每百人公共图书馆藏书( $b_3$ )、人均公园绿地面积( $c_2$ )是成都的主要障碍因子,说明成都应该提高社会公共文化服务能力,改善人居环境。每百人公共图书馆藏书( $b_3$ )、每万人在校大学生数( $b_4$ )是制约青岛、宁波城市韧性提升的主要障碍因素,表明青岛、宁波需要持续完善文化产业建设和高校教育工作。西安、济南、大连、沈阳的主要障碍因子均为每百人公共图书馆藏书( $b_3$ )、一般公共预算收入( $a_4$ )。

(4)低韧性型城市包括长春、哈尔滨,两个副省级城市障碍因子几乎相同,这可能因为长春、哈尔滨地区经济以重型工业和国有企业为主,生态环境较差,外循环能力较弱,经济活力相对不足。

表7 2020年副城市韧性主要障碍因子和障碍度

城市	障碍因子和障碍度	1	2	3	4	5
深圳	障碍因素	b <sub>4</sub>	a <sub>6</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>3</sub>
	障碍度(%)	29.40	11.10	9.10	8.70	7.80
广州	障碍因素	b <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	a <sub>4</sub>	c <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>
	障碍度(%)	20.20	10.70	10.40	10.30	8.20
厦门	障碍因素	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>6</sub>	c <sub>2</sub>
	障碍度(%)	14.70	10.70	10.30	9.00	8.10
宁波	障碍因素	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	a <sub>6</sub>	c <sub>2</sub>	a <sub>4</sub>
	障碍度(%)	14.40	11.30	9.10	8.40	8.00
杭州	障碍因素	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>3</sub>
	障碍度(%)	17.10	12.60	10.40	9.00	8.00
武汉	障碍因素	b <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>3</sub>
	障碍度(%)	18.00	11.30	10.50	9.60	8.10
成都	障碍因素	b <sub>3</sub>	c <sub>2</sub>	a <sub>4</sub>	b <sub>4</sub>	d <sub>4</sub>
	障碍度(%)	14.90	9.60	8.90	8.70	8.20
西安	障碍因素	b <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>3</sub>
	障碍度(%)	17.5	11.30	9.30	8.00	7.30
南京	障碍因素	b <sub>3</sub>	c <sub>2</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>6</sub>	d <sub>4</sub>
	障碍度(%)	16.50	10.20	9.50	9.40	9.20
青岛	障碍因素	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	a <sub>4</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>4</sub>
	障碍度(%)	17.80	10.60	9.60	8.20	7.50
济南	障碍因素	b <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>6</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>4</sub>
	障碍度(%)	15.90	11.00	10.40	9.20	8.00
大连	障碍因素	b <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>6</sub>	b <sub>4</sub>	c <sub>2</sub>
	障碍度(%)	13.70	9.70	9.50	8.80	7.9
沈阳	障碍因素	b <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>6</sub>	b <sub>4</sub>	c <sub>2</sub>
	障碍度(%)	13.70	10.00	9.80	8.60	7.80
长春	障碍因素	b <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>6</sub>	b <sub>4</sub>	c <sub>2</sub>
	障碍度(%)	14.10	10.50	9.60	7.80	7.60
哈尔滨	障碍因素	b <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>6</sub>	b <sub>4</sub>	d <sub>4</sub>
	障碍度(%)	14.80	10.50	9.40	7.00	6.70

## 六、结论及建议

### (一) 结论

本文利用 CRITIC-熵权组合赋权法、TOPSIS 评价法、方差分解法、障碍度模型对 2011—2020 年 15 个副省级城市韧性进行测度评价,得出以下结论。

(1) 2011—2019 年,各副省级城市综合韧性呈现波动上升的趋势,而 2020 年副省级城市韧性都有所下降。根据副省级城市综合韧性变化情况,高韧

性型城市仅包括深圳、广州,副省级城市总体韧性表现为中高韧性和中低韧性状态,“低韧性型”城市仅为长春、哈尔滨。

(2) 从分项韧性来看,各副省级城市各分项韧性之间存在显著差异。深圳和广州在四个子系统排名均靠前,此外,杭州、武汉经济韧性排名靠前;南京、武汉社会韧性排名靠前。厦门、青岛生态韧性排名靠前;宁波、青岛基础设施排名靠前。除此之外,从方差分解的结果来看,宁波、成都、长春、哈尔滨是经



济韧性和生态韧性对综合韧性的贡献度最大,而其余副省级城市则是经济韧性和社会韧性贡献度最大。

(3) 根据障碍度结果,经济和社会系统是阻碍副省级城市韧性增强的主要子系统,从具体指标来看,每百人公共图书馆藏书( $b_3$ )、一般公共预算收入( $a_4$ )是大部分副省级城市的主要障碍因子。

## (二) 建议

根据以上研究成果,本文建议从以下几个方面来提升副省级城市韧性:

(1) 副省级城市应尽快完善社会保险制度,尤其是不断完善社会公共服务保障制度,扩大文化事业普及范围;同时,要加强高校教育建设工作,不断完善人才引进和孵化保障体系,特别是“低韧性型”城市要重视文化产业管理和人才培养工作。

(2) 副省级城市要优化产业结构,推动经济多元化。尤其是“中低韧性型”城市和“低韧性型”城市要完善协同创新制度,增加在科技、教育领域的投入,推动科学成果创造性转化。

(3) 副省级城市要重视基础设施功能的冗余度和多样性,尤其是杭州、武汉等“中高韧性”型城市。从短期来看,副省级城市要加大对基础设施的资金投入,更新改造闲置资源。从长期来看,要优化调整空间结构,实现副省级城市合理空间布局,增强其基础设施韧性。

(4) 副省级城市需要根据主要障碍因子制定政策。例如深圳提高直接利用外资能力、增加高校学生比重来提升城市韧性;长春和哈尔滨则需要增加公共图书馆藏书量和一般公共预算收入来提升城市韧性。

## 参考文献

[1] HOLLING C S. Resilience and Stability of Ecological Systems [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4 (1): 1-23.

[2] HOLLING C S. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems [J]. Ecosystems, 2001, 4 (5): 390-405.

[3] GUNDERSON L H. Adaptive Dancing: Interactions Between Social Resilience and Ecological Crises [M]. // Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change. Cambridge University Press, 2003: 33-52.

[4] 陶希东. 韧性城市: 内涵认知、国际经验与中国策略 [J]. 人民论坛·学术前沿, 2022(21): 79-89.

[5] MARTIN R. Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessionary Shocks [J]. Journal of Economic Geography, 2012, 12(1): 1-32.

[6] 暴向平, 张学波. 内蒙古经济韧性时空演化与影响因素分析 [J]. 资源开发与市场, 2021, 37(9): 1059-1065.

[7] 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.

[8] Paulo Jorge Gomes Ribeiro, Luís António Pena Jardim Gonçalves. Urban Resilience: A Conceptual Framework [J]. Sustainable Cities and Society, 2019, 50: 101625-101625.

[9] 周铭毅, 尚志海, 蔡灼芬, 等. 基于 VIKOR 方法的广东省城市洪涝灾害韧性评估 [J]. 灾害学, 2023, 38(1): 206-212.

[10] 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, 73(12): 2315-2328.

[11] 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, 28(6): 77-87.

[12] 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.

[13] 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, 26(1): 82-91.

[14] 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, 40(12): 2000-2009.

[15] 孙亚南, 尤晓彤. 城市韧性的水平测度及其时空演化规律——以江苏省为例 [J]. 南京社会科学, 2021(7): 31-40.

[16] 郭羽羽, 罗福周, 钟兴润. 基于熵权-正态云模型的城市安全韧性评估研究 [J]. 灾害学, 2021, 36(4): 168-174.

[17] 时朋飞, 曹钰晗, 龙荟冰, 等. 我国旅游业高质量发展水平测度、空间分异及障碍因子诊断 [J]. 经济地理, 2023, 43(2): 201-210.

[18] 傅为忠, 储刘平. 长三角一体化视角下制造业高质量发展评价研究——基于改进的 CRITIC-熵权法组合权重的 TOPSIS 评价模型 [J]. 工业技术经济, 2020, 39(9): 145-152.

[19] 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.

[20] 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, 39(4): 89-94.

## Comprehensive Resilience Assessment of Sub-Provincial Cities and Identification of Barrier Factors

HE Yerong, LIU Huanying

(School of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Hefei, Anhui 230022, China)

**Abstract:** In order to enhance the resilience of sub-provincial cities in China and explore their sustainable development paths, this paper takes 15 sub-provincial cities as research objects and assesses their comprehensive resilience from 2011 to 2020 via the improved CRITIC-entropy weight combination method, TOPSIS method, variance decomposition method and barrier degree model, thus identifying and analyzing their barrier factors. The results show that: there has been a fluctuating upward trend and a relatively good situation in terms of their comprehensive resilience; there exist significant ranking differences in terms of their comprehensive resilience and sub-divided resilience factors; based on the variance decomposition results, the economic and ecological resilience contributes to the comprehensive resilience the most in the cities such as Ningbo, Chengdu, Changchun, and Harbin while the economic and social resilience makes the largest contribution among the remaining sub-provincial cities; based on the analysis of the barrier degree results, the economic system and social system are the main barriers restricting the resilience improvement of sub-provincial cities, specifically, public-library book collections per 100 people (b3) and general public budget revenue (a4) are the main barrier factors for most sub-provincial cities. In the future, sub-provincial cities should focus on making up for their drawbacks according to their development situation, and enhance their resilience by improving their social emergency guarantee systems, expanding the influence of social and cultural industries and increasing investment in the field of science and education. In this sense, the comprehensive power of sub-provincial cities can be enhanced.

**Key Words:** urban resilience; CRITIC-entropy weight combination method; TOPSIS evaluation model; variance decomposition method; barrier degree model