

# “一带一路”倡议背景下哈萨克斯坦地区综合脆弱性的空间分异特征分析

李心晴<sup>1</sup>, 徐新良<sup>2</sup>, 张鹏鹏<sup>1</sup>, 张力小<sup>1\*</sup>, Tolybayeva Diana<sup>1</sup>

(1. 北京师范大学环境学院环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

**【摘要】** 系统评估沿线国家环境社会系统的发展状态, 识别典型地区的脆弱性特征, 对于绿色“一带一路”建设至关重要。本文集成了脆弱性与恢复力的概念内涵, 构建了综合脆弱性评价指标体系, 利用TOPSIS法和障碍度模型对哈萨克斯坦各州的综合脆弱性进行系统评价, 分析其空间分异特征和影响因素。结果显示: ①哈萨克斯坦综合脆弱性总体上处于中度水平, 空间上呈现西高东低的特点, 西部各要素脆弱性均处于中高位, 东部整体脆弱性相对较低, 中部则呈现多样性特征; ②要素间关系复杂, 脆弱性降低的瓶颈因素主要集中在资源使用和保障、社会系统保障等方面; ③系统提升哈萨克斯坦环境社会系统的韧性, 需要强化产业结构转型、基础设施建设与生态环境保护, 在这些方面中国可以提供强有力的合作条件与经验。

**【关键词】** “一带一路”倡议; 综合脆弱性; TOPSIS; 障碍度模型; 哈萨克斯坦

**【中图分类号】** F120.4; F13/17 (361)-45

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1674-6252 (2020) 03-0107-07

**【DOI】** 10.16868/j.cnki.1674-6252.2020.03.107

## 引言

“一带一路”倡议是我国为推动经济全球化深入发展而提出的国际区域经济合作倡议<sup>[1]</sup>。哈萨克斯坦是首个与中国在“一带一路”框架下签订双边合作协议的国家<sup>[2]</sup>, 双方已取得多方面合作成果。哈萨克斯坦是能源与资源富集区, 也是多重地区机制的重叠区<sup>[3]</sup>, 其环境社会系统有着潜在的易受损性特征。系统评估和分析包括哈萨克斯坦等沿线国家环境社会系统的发展状态, 识别典型地区的脆弱性特征, 对于建设绿色“一带一路”至关重要。

脆弱性和恢复力的概念源于自然灾害领域<sup>[4]</sup>, 在社会科学中常以“脆弱性”“恢复力”或“脆弱性—恢复力”为研究内容, 对某些具有特定属性的地区(资源型城市<sup>[5,6]</sup>、沿海地区<sup>[7,8]</sup>、干旱地区<sup>[9-11]</sup>等)或复合系统(社会—生态<sup>[12,13]</sup>、环境—经济—社会<sup>[14,15]</sup>等)进行评估。然而, 目前研究对脆弱性和恢复力的概念界定仍然存在较大差异。对二者的表述主要有两种观点<sup>[16]</sup>: Folke等认为脆弱性和恢复力是同一问题的两个方面, 即脆弱性是被破坏的可能性, 恢复力是抵御和复原的能力<sup>[17]</sup>; 而Buckle等则把二者看作某

一系统属性, 认为增强恢复力有利于强化系统承受能力, 而降低脆弱性只是在这一行为下产生的反应性结果<sup>[18]</sup>。由此可见, 二者的概念边界较为模糊, 可以说, 恢复力与脆弱性概念内涵中描述自我恢复状态的属性<sup>[19]</sup>相重叠, 在开展具体评价时往往出现指标含义的重复。

本文借鉴脆弱性评价中较为成熟的“暴露性—敏感性—适应能力”准则, 集成脆弱性与恢复力内涵, 提出综合脆弱性概念, 即认为恢复力可作为脆弱性评价准则中适应能力属性的延伸。基于此, 本文构建了包含恢复力属性的综合脆弱性评价指标体系, 利用TOPSIS法和障碍度模型对哈萨克斯坦各州的综合脆弱性进行系统评价, 分析其空间分异特征和影响因素。

## 1 指标体系与数据来源

### 1.1 研究区概况

哈萨克斯坦位于亚洲中部, 是世界上最大的内陆国, 国土面积约270万km<sup>2</sup>。行政区划上划分为14个州, 2个直辖市。边界上与中国、俄罗斯、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦和土库曼斯坦五国接壤, 欧亚大

**资助项目:** 中国科学院A类战略性先导科技专项资助(XDA20010302)。

**作者简介:** 李心晴(1996—), 女, 硕士, 主要从事城市生态系统核算与模拟研究, E-mail: lxq182127@163.com。

**\* 责任作者:** 张力小(1977—), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事城市生态系统分析与协同管理等研究, E-mail: zhanglixiao@bnu.edu.cn。

陆的地理中心点 (78°E, 50°N) 位于其境内, 使该国成为连接东西向和南北向各国的重要节点<sup>[20]</sup>。

作为中亚地区相对较富的国家, 哈萨克斯坦的 GDP 总量约占中亚五国的 66%, 人均 GDP 达到发达国家水准。丰富的能源储备是该国经济发展的主要依托, 截至 2009 年 1 月 1 日, 已探明的石油储量约 41.1 亿 t、天然气 2.4 万亿 m<sup>3</sup><sup>[20]</sup>, 是中亚地区的能源大动脉。

虽然哈萨克斯坦社会经济发展显示出了巨大的发展潜力, 但同时也受到多方面制约: ①经济发展高度依靠资源矿产, 易受到国际市场冲击, 资源分布的不均加剧了地区经济发展的不平衡<sup>[21]</sup>, 极易产生社会不稳定因素; ②基础设施分布不均, 老化问题严重, 道路运输能力不足以支撑快速的经济增长<sup>[22]</sup>, 瓶颈作用明显; ③属能源密集型经济发展模式, 资源消耗量大, 工业部门能耗是经济合作与发展组织 (OECD) 国家平均水平的 2~3 倍, 人均 CO<sub>2</sub> 排放量是其 1.3 倍<sup>[23]</sup>, 减排压力凸显; ④生态环境本底脆弱, 沙漠、荒漠和半荒漠土地占全国面积的 90%, 跨境水资源量占全国水资源总量 40% 以上, 受上游国家影响较大, 工业废料及核污染问题也未得到妥善处理, 存在极大的生态环境安全隐患。

## 1.2 指标体系

从综合脆弱性概念出发, 考虑指标体系的科学性、可行性, 对数据进行筛选整合, 构建指标体系。以综合脆弱性为目标层 (A), 以经济脆弱性、社会脆弱性、生态环境脆弱性和资源脆弱性为子目标层 (B<sub>1</sub>~B<sub>4</sub>), 下分 9 个准则层 (C<sub>1</sub>~C<sub>9</sub>) 和 40 个评价指标 (z<sub>1</sub>~z<sub>40</sub>) 的指标体系, 并利用均方差法确定各指标权重, 如表 1 所示。

## 1.3 数据来源

本文的研究范围为哈萨克斯坦全域 14 个州, 数据主要来自哈萨克斯坦各类统计年鉴、社会经济报告、环境统计公报等官方统计资料, “一带一路”数据库和国家科技基础条件平台—国家地球系统科学数据共享平台 (<http://www.geodata.cn>) 等公开资料, 评价时段为 2017 年。

## 2 研究方法

### 2.1 TOPSIS 评价法

TOPSIS 是一种逼近理想解的排序法, 其基本原

理是构建多属性问题各指标的最优解和最劣解, 对各指标与最优解和最劣解的相对接近程度进行计算以评价各方案优劣<sup>[24]</sup>, 可以避免区域评价中难以获得可参照最优解的问题。计算步骤如下<sup>[25]</sup>:

(1) 假设有  $m$  个评价对象, 每个评价对象有  $n$  个评价指标, 构建原始数据矩阵:

$$X = (x_{ij})_{m \times n} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中:  $x_{ij}$  为指标实际值;  $m$  为评价区域总数;  $n$  为指标数。

(2) 对矩阵进行标准化处理。正向指标和逆向指标的计算公式分别为:

$$X'_{ij} = (x_{ij} - \min X_j) / (\max X_j - \min X_j) \text{ (正向)} \quad (2)$$

$$X'_{ij} = (\max X_j - x_{ij}) / (\max X_j - \min X_j) \text{ (负向)} \quad (3)$$

式中:  $X'_{ij}$  表示第  $i$  个城市第  $j$  项评价指标标准化后的数值;  $\min X_j$  和  $\max X_j$  分别为所有区域中第  $j$  项评价指标的最小值和最大值。

(3) 指标权重的确定。采用均方差法确定评价指标权重  $W_j$ <sup>[24]</sup>, 公式为:

$$\sigma_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X'_{ij} - \overline{X'_{ij}})^2}; W_j = \sigma_j / \sum_{j=1}^n \sigma_j \quad (4)$$

式中:  $\overline{X'_{ij}}$  为各指标标准化的均值;  $\sigma_j$  为指标  $j$  的均方差;  $W_j$  为指标  $j$  的权重。

(4) 确定正理想解  $Z^+$  和负理想解  $Z^-$ 。公式为:

$$Z^+ = (x^+)_{1 \times n}; Z^- = (x^-)_{1 \times n} \quad (5)$$

式中:  $Z^+ = (\max x_{i1}, \max x_{i2}, \dots, \max x_{in})$ ,  $Z^- = (\min x_{i1}, \min x_{i2}, \dots, \min x_{in})$ 。

(5) 计算评价对象到正理想解和负理想解的距离, 计算公式为:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j (Z_j^+ - X'_{ij})^2}; D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j (Z_j^- - X'_{ij})^2} \quad (6)$$

式中:  $D_i^+$  为评价对象到正理想解的距离;  $D_i^-$  为评价对象到负理想解的距离。

(6) 计算各评价对象与最佳方案的接近程度  $C_i$ 。公式为:

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (7)$$

式中:  $C_i$  越大, 表示评价对象状态越优。

### 2.2 障碍度模型

障碍度模型主要通过考察子目标层 B、准则层 C

表1 哈萨克斯坦综合脆弱性评价指标体系

目标层	子目标层	准则层	指标层	指向	说明	权重
综合脆弱性 A	经济脆弱性 B <sub>1</sub>	经济结构脆弱性 C <sub>1</sub>	工业产值占 GDP 比重 z <sub>1</sub>	敏感性 (+)	产业结构	0.038 0
			矿业产值占 GDP 比重 z <sub>2</sub>	敏感性 (+)	产业结构	0.035 2
			进出口总额 z <sub>3</sub> / 亿美元	敏感性 (-)	对外依存度	0.031 5
		经济发展脆弱性 C <sub>2</sub>	地区 GDPz <sub>4</sub> / 亿美元	敏感性 (-)	经济总量	0.013 8
			人均 GDPz <sub>5</sub> / (美元 / 人)	适应能力 (-)	发展水平	0.022 3
			固定资产投资额 z <sub>6</sub> / 亿美元	适应能力 (-)	科技技术更新能力	0.019 0
		经济创新脆弱性 C <sub>3</sub>	科教支出 z <sub>7</sub> / 亿美元	适应能力 (-)	科技创新潜力	0.032 5
			R&D 经费 z <sub>8</sub> / 十万美元	适应能力 (-)	科学技术发展潜力	0.015 1
		社会脆弱性 B <sub>2</sub>	社会发展脆弱性 C <sub>4</sub>	人口密度 z <sub>9</sub> / (人 / km <sup>2</sup> )	敏感性 (+)	人口压力
	人均可支配收入 z <sub>10</sub> / 美元			敏感性 (-)	生活水平	0.021 9
	失业率 z <sub>11</sub>			暴露性 (+)	社会不稳定因素	0.015 4
	社会保障脆弱性 C <sub>5</sub>		人均道路长度 z <sub>12</sub> / (km/ 人)	适应能力 (-)	道路建设水平	0.027 0
			万人拥有公共汽车数 z <sub>13</sub> / 辆	适应能力 (-)	交通硬件供给水平	0.016 5
			万人拥有病床数 z <sub>14</sub> / 床	适应能力 (-)	医疗设施保障能力	0.044 1
			邮政业务总量 z <sub>15</sub> / 十万美元	适应能力 (-)	公共服务供给能力	0.028 4
			公路密度 z <sub>16</sub> / (km/km <sup>2</sup> )	适应能力 (-)	道路建设投入力度	0.049 4
			万人卫生技术人员数 z <sub>17</sub> / 人	适应能力 (-)	医疗服务能力	0.016 7
	生态环境脆弱性 B <sub>3</sub>	生态脆弱性 C <sub>6</sub>	自然灾害发生次数 z <sub>18</sub> / 次	暴露性 (+)	受灾程度	0.016 9
			人均绿地面积 z <sub>19</sub> / (hm <sup>2</sup> / 人)	适应能力 (-)	人居生态恢复潜力	0.034 3
			城市绿化率 z <sub>20</sub>	适应能力 (-)	城市生态恢复潜力	0.041 5
			森林覆盖率 z <sub>21</sub>	适应能力 (-)	自然生态恢复潜力	0.031 4
		环境脆弱性 C <sub>7</sub>	冻土面积 z <sub>22</sub> / km <sup>2</sup>	敏感性 (+)	自然条件水平	0.0091
			工业废水排放量 z <sub>23</sub> / 百万 m <sup>3</sup>	暴露性 (+)	水环境压力	0.011 0
			工业二氧化硫排放量 z <sub>24</sub> / 万 t	暴露性 (+)	大气环境压力	0.015 8
			工业烟尘排放量 z <sub>25</sub> / 万 t	暴露性 (+)	大气环境压力	0.015 8
			危险废物 z <sub>26</sub> / 千 t	暴露性 (+)	废物处理环境压力	0.018 4
	资源脆弱性 B <sub>4</sub>	资源使用脆弱性 C <sub>8</sub>	碳排放效率 z <sub>27</sub> / (t/ 万美元)	敏感性 (+)	综合环境压力	0.015 2
			化肥用量 z <sub>28</sub> / (t/hm <sup>2</sup> )	敏感性 (+)	农业生产环境压力	0.034 0
			污水集中处理率 z <sub>29</sub>	适应能力 (-)	环境修复能力	0.011 6
			环境治理投资 z <sub>30</sub> / 十万美元	适应能力 (-)	环境修复潜力	0.031 6
	资源保障脆弱性 C <sub>9</sub>		能源消耗弹性系数 z <sub>31</sub>	敏感性 (+)	能源使用强度	0.011 5
		千美元 GDP 能耗 z <sub>32</sub> / (吨标准油 / 千美元)	敏感性 (+)	能源利用效率	0.034 8	
		千美元 GDP 电耗 z <sub>33</sub> / (kW · h / 千美元)	敏感性 (+)	能源利用效率	0.018 1	
千美元 GDP 水耗 z <sub>34</sub> / (m <sup>3</sup> / 千美元)		敏感性 (+)	能源利用效率	0.018 2		
新能源发电占比 z <sub>35</sub>		适应能力 (-)	能源替代力度	0.049 3		
人均水资源拥有量 z <sub>36</sub> / (m <sup>3</sup> / 人)		敏感性 (-)	水资源使用潜力	0.025 4		
人均粮食产量 z <sub>37</sub> / (t / 人)		敏感性 (-)	资源供给潜力	0.033 6		
人均耕地面积 z <sub>38</sub> / (hm <sup>2</sup> / 人)	敏感性 (-)	耕地资源现状	0.045 1			
发电量 z <sub>39</sub> / (亿 kW · h)	适应能力 (-)	清洁能源供给能力	0.018 5			
纯净水供应量 z <sub>40</sub> / 万 m <sup>3</sup>	适应能力 (-)	基础资源保障能力	0.017 8			

及指标层 z 对各州综合脆弱性分布差异的影响程度, 为减缓脆弱性提供路径指引, 计算公式如下:

$$\text{障碍度: } a_{ij} = \frac{W_j \times X'_{ij}}{\sum_{j=1}^{40} (W_j \times X'_{ij})} \times 100\% \quad (8)$$

式中,  $a_{ij}$  为第  $i$  个州第  $j$  个指标的障碍度, 表示第  $j$  个指标对于该州综合脆弱性的影响程度;  $W_j$  为第  $j$  项指标的权重 (表 1);  $X'_{ij}$  表示第  $i$  个城市第  $j$  项评价指标的标准化后的数值;  $a_{ij}$  越大, 说明第  $j$  项指标对于降低综合脆弱性的阻碍程度越大。

### 3 结果与分析

#### 3.1 综合脆弱性评价结果

哈萨克斯坦综合脆弱性指数主要分布在 0.44~0.60, 平均值为 0.52, 基本上处于中度脆弱性水平。利用 SPSS 进行正态性检验,  $P$  值大于 0.05, 说明各州综合脆弱性评价结果符合正态分布。从空间分布来看(图 1), 哈萨克斯坦的综合脆弱性存在较为明显的东西向差异, 阿特劳州脆弱性最高、东哈萨克斯坦州最低, 与中哈合作由东向西的拓展延伸呈现基

本对应的横向变化。

#### 3.2 子目标层各要素脆弱性评价结果

图 2 显示了子目标层 B 各要素脆弱性指数的空间分布情况, 颜色较深的区域表示脆弱性较高。西部地区是哈萨克斯坦的主要石油开采区, 经济实力强劲, 但结构单一, 矿业产值占地区总产值约 65%。货物运输网络发达, 但大多集中在开采地区, 区域高速公路的密度低于全国平均水平<sup>[26]</sup>, 不如与俄罗斯、中国接壤的东北部地区交通运输网络发达, 再加上绿化、森林和耕地保有率不高, 各要素脆弱性均处在中高值区。东部地区各要素的脆弱性评估结果相对较好, 经济与外界联系密切, 基础设施建设明显优于中西部, 除巴甫洛达尔州的生态环境和资源脆弱性位于高值区外, 其他均较好, 其中东哈萨克斯坦州表现出了明显优势, 各要素脆弱性得分均较低。中部地区各要素脆弱性评价结果相对复杂且分散, 部分呈连片分布, 经济脆

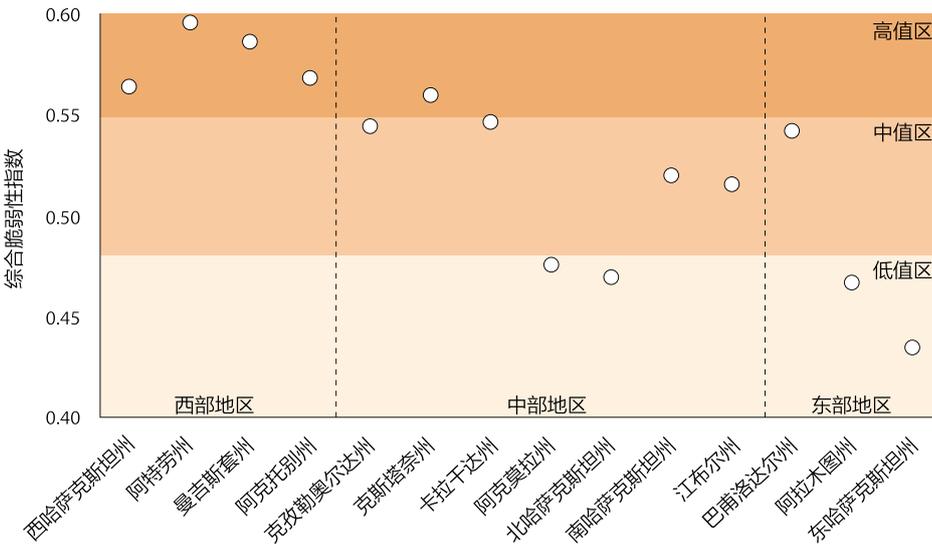


图 1 哈萨克斯坦综合脆弱性评价空间分布情况

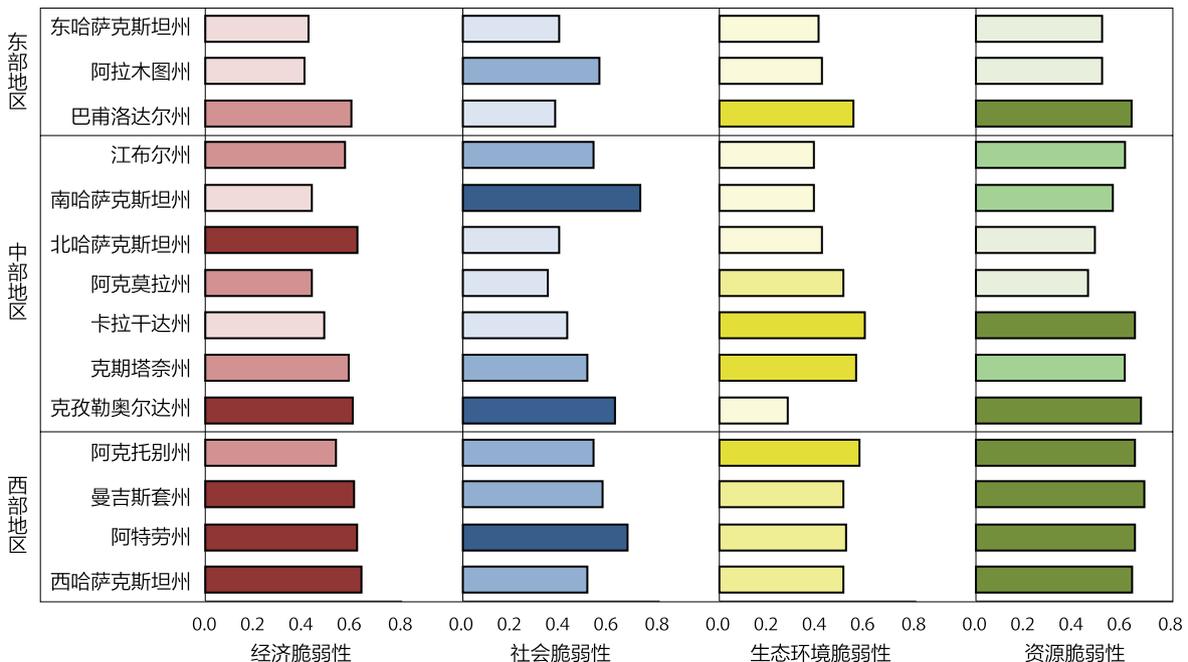


图 2 哈萨克斯坦分要素脆弱性分级空间分布情况

弱性高、低值区的州各约占 29%，社会脆弱性大致呈现由北向南加剧的趋势，生态环境和资源要素则以脆弱性最高的卡拉干达州为基准向南北发散。

### 3.3 哈萨克斯坦脆弱性关键因素识别

#### 3.3.1 脆弱性关联关系识别

子目标层 B 要素间的皮尔逊相关系数显示 (表 2)，在置信度 0.05 的水平下，各要素相关关系不明显，仅社会和生态环境脆弱性的相关性通过检验，相关系数为 -0.71，说明社会脆弱性较高的州一般生态环境脆弱性较低。此外，除资源和社会脆弱性为正向相关外均为负向相关，整体上反映了要素间脆弱性关联关系的复杂性。就回归系数而言，资源脆弱性对综合脆弱性的贡献最大，较社会脆弱性高出约 8%，生态环境和经济脆弱性居二、三位。

表 2 分要素脆弱性统计分析结果

皮尔逊相关性分析		经济脆弱性	社会脆弱性	生态环境脆弱性	资源脆弱性
经济脆弱性	相关性	1.00	-0.48	-0.08	-0.30
	显著性	—	0.10	0.81	0.32
社会脆弱性	相关性	-0.48	1.00	-0.71	0.04
	显著性	0.10	—	0.01	0.90
生态环境脆弱性	相关性	-0.08	-0.71	1.00	-0.34
	显著性	0.81	0.01	—	0.26
资源脆弱性	相关性	-0.30	0.04	-0.34	1.00
	显著性	0.32	0.90	0.26	—
回归系数		0.22	0.21	0.24	0.29
(综合脆弱性为因变量)		调整后 $R^2=0.99$ , $P$ 值 =0.00, 常量 =0.02			

#### 3.3.2 脆弱性减缓的关键因素识别

对指标层障碍度排序，在各州排名前 10 位的障碍因子中 (表 3)，人均绿地面积 ( $z_{19}$ )、人均耕地面积 ( $z_{38}$ )、公路密度 ( $z_{16}$ )、新能源发电占比 ( $z_{35}$ )、人均粮食产量 ( $z_{37}$ ) 和城市绿化率 ( $z_{20}$ ) 分别出现了 12 次、12 次、11 次、11 次、11 次、10 次，森林覆盖率 ( $z_{21}$ )、环境治理投资 ( $z_{30}$ )、科教支出 ( $z_7$ )、万人拥有病床数 ( $z_{14}$ )、进出口总额 ( $z_3$ ) 及人均 GDP ( $z_5$ ) 位列其后。由于这些指标对降低脆弱性起到正向作用，因此关注生态环境健康，加强基础设施建设，提高资源使用效率是哈萨克斯坦脆弱性减缓的关键之一。

就空间分布而言，西部受社会保障脆弱性 ( $C_5$ ) 相关指标的影响最大，东部对从属于资源保障脆弱性 ( $C_9$ ) 和社会保障脆弱性 ( $C_5$ ) 的指标反应敏感，中部地区对改善生态脆弱性 ( $C_6$ ) 和资源使用脆弱性 ( $C_8$ ) 的需求最紧迫。人均耕地面积 ( $z_{38}$ ) 作为共同的影响脆弱性的障碍因子，需要受到全国范围的重视。另外，西部地区应在促进新能源开发、增加粮食产量、优化生态环境、完善道路基础设施建设以及调整产业结构等方面做出努力，中部地区则应同时关注科研经费支出情况，以提高创新能力，东部应侧重提高粮食的保障能力和城市环境的改良。

## 4 结论与建议

哈萨克斯坦综合脆弱性处于中度水平，符合正态分布，空间上存在明显的东西向差异，西部脆弱性指

表 3 哈萨克斯坦各州主要指标障碍度

指标排序	西部				中部						东部			
	西哈萨克 斯坦州	阿特 劳州	曼吉斯 套州	阿克托 别州	克斯塔 奈州	克孜勒奥 尔达州	北哈萨克 斯坦州	阿克莫 拉州	卡拉干 达州	南哈萨克 斯坦州	江布 尔州	巴甫洛 达尔州	阿拉木 图州	东哈萨克 斯坦州
1	$z_{35}$	$z_{35}$	$z_{35}$	$z_{35}$	$z_{35}$	$z_{16}$	$z_{35}$	$z_{35}$	$z_{35}$	$z_{38}$	$z_{35}$	$z_{35}$	$z_{14}$	$z_{38}$
2	$z_{16}$	$z_{38}$	$z_{16}$	$z_{16}$	$z_{38}$	$z_{35}$	$z_7$	$z_{20}$	$z_{16}$	$z_{14}$	$z_{38}$	$z_{38}$	$z_{38}$	$z_{14}$
3	$z_{38}$	$z_{16}$	$z_{38}$	$z_{20}$	$z_{20}$	$z_{38}$	$z_3$	$z_7$	$z_{20}$	$z_{16}$	$z_{14}$	$z_{20}$	$z_{30}$	$z_{16}$
4	$z_{20}$	$z_{14}$	$z_{20}$	$z_{38}$	$z_{16}$	$z_{37}$	$z_{30}$	$z_{30}$	$z_{38}$	$z_{37}$	$z_{37}$	$z_{32}$	$z_{37}$	$z_{37}$
5	$z_{19}$	$z_{20}$	$z_{19}$	$z_{19}$	$z_7$	$z_3$	$z_{19}$	$z_{19}$	$z_{19}$	$z_{19}$	$z_{30}$	$z_7$	$z_{19}$	$z_{19}$
6	$z_1$	$z_1$	$z_{37}$	$z_{28}$	$z_{19}$	$z_{30}$	$z_{36}$	$z_3$	$z_{37}$	$z_{30}$	$z_3$	$z_{19}$	$z_5$	$z_{30}$
7	$z_{37}$	$z_2$	$z_{32}$	$z_{14}$	$z_{21}$	$z_{15}$	$z_{20}$	$z_{21}$	$z_{32}$	$z_{12}$	$z_{16}$	$z_{37}$	$z_{20}$	$z_{12}$
8	$z_2$	$z_{19}$	$z_3$	$z_{37}$	$z_{30}$	$z_7$	$z_{15}$	$z_{36}$	$z_{21}$	$z_{32}$	$z_{19}$	$z_1$	$z_{36}$	$z_{32}$
9	$z_{21}$	$z_{37}$	$z_{21}$	$z_{21}$	$z_3$	$z_5$	$z_{21}$	$z_{15}$	$z_7$	$z_5$	$z_7$	$z_{21}$	$z_3$	$z_5$
10	$z_7$	$z_{21}$	$z_{15}$	$z_1$	$z_{36}$	$z_{14}$	$z_5$	$z_5$	$z_{36}$	$z_{10}$	$z_5$	$z_{16}$	$z_{10}$	$z_{10}$

注：红色、蓝色、黄色、绿色分别表示该指标从属于经济、社会、生态环境和资源脆弱性要素

数较大,主要受资源脆弱性( $B_4$ )影响最大。中部地区子目标层要素脆弱性更分散,经济脆弱性以中值为主,社会脆弱性南高北低,位于中心位置的卡拉干达州的生态环境和资源脆弱性均较低;西部地区各要素脆弱性均位于中高值区;东部地区整体脆弱性得分较低。影响脆弱性减缓的关键因素集中在资源使用和保障、社会保障等方面。通过上述综合脆弱性评价,不难发现,在未来“一带一路”倡议下开展合作,应强化如下方面:

(1) 加强基础设施建设,提升能源发展潜力。能源矿产资源开发是哈萨克斯坦社会经济发展的主要支撑,但受到基础设施与技术水平的制约,对各要素脆弱性均产生较大影响。通过中哈能源与基础社会方面的合作,可以大幅提升基础设施建设和维护的水平,处理能源运输网络密集区拥堵和管道破损等问题,优化能源产业的发展质量。

(2) 优化贸易结构,推动多元化贸易策略。当前哈萨克斯坦主要能源贸易对象是俄罗斯(70%),过于单一的贸易依赖不利于适应国际市场。哈萨克斯坦将石油多元化出口作为既定国策,推动本国贸易区域的多元化。“一带一路”倡议经济带与哈方所提出的“光明大道”新经济计划契合,可为中哈两国产业升级改造和区域经济合作<sup>[21]</sup>提供服务。粮食产业合作也是中哈经济合作中最具潜力的项目<sup>[27]</sup>,耕地面积和粮食产量都是影响脆弱性的障碍因子。哈萨克斯坦粮食生产受跨境水资源配置和生产技术落后的制约,农业生产率不高,中哈双方可建设农业双边合作机制建设,以促进现代化农业发展模式的形成。

(3) 强化生态环境保护,推动绿色发展。分析结果显示,哈萨克斯坦面临与中国前些年相似的环境污染、生态破坏等问题,而中国这些年的环境治理工作,可以为其提供治理经验和技術援助。中国的沙漠绿洲建设、水源保护、治理和垃圾分类处理的实践经验,生态环境机构改组和环保教育普及的方式方法,与哈萨克斯坦的生态环境保护理念相契合。应继续推动哈方“绿色桥梁”伙伴计划与中方“绿色丝路”的对接,深化合作,“内外结合,以外促内”,推进产业结构转型和技术革新,共同推动高质量和绿色发展。

(4) 激发市场活力,促进区域统筹发展。哈萨克斯坦受到各势力的交织影响,建立良好的国际关系有利于迈入国际市场。因此哈方应尽可能地趋利避害,完善和稳定招商引资的法律法规,激发市场活力,创造稳定发展环境。结果显示,脆弱性障碍因子呈现区域邻接特征。因此,哈方或可借鉴中国京津冀、珠三

角等地的发展经验,以区域为单位统筹规划,瞄准造成脆弱性高的要素,形成内部协调与联动。

总体来看,中哈双方的合作空间很大,哈萨克斯坦应把握发展机遇,充分做好与中国“互联互通”的准备。本研究结果说明,基础设施的建设和多元贸易的开展在中哈合作中具有相对优先性,而这一特征在其他沿线国家中或许同样存在。需要说明的是,世界经济格局的动荡、传统和非传统安全风险的交织、信任赤字和贸易壁垒等问题制约“一带一路”倡议的深度推进,而对沿线国家开展综合脆弱性分析,量体裁衣地辅助改善当地发展环境,有助于树立大国形象与威信,增强各方信心,减少合作阻力,保障合作的连续性和可持续性。

## 参考文献

- [1] 刘卫东.“一带一路”战略的科学内涵与科学问题[J].地理科学进展,2015,34(5):538-544.
- [2] 于敏,柏娜,茹蕾.哈萨克斯坦农业发展及中哈农业合作前景分析[J].世界农业,2018(1):60-64,99.
- [3] 美丽(TURSYNBAYEVA GAZIZA).“一带一路”对哈萨克斯坦的经济影响分析[D].南京:南京大学,2018.
- [4] JANSSEN M A, SCHOON M L, KE W M, et al. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change[J]. Global environmental change, 2006, 16(3): 240-252.
- [5] 张梅,罗怀良,陈林.资源型城市脆弱性评价——以攀枝花市为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(5):1170-1178.
- [6] WANG D L, ZHENG J P, SONG X F, et al. Assessing industrial ecosystem vulnerability in the coal mining area under economic fluctuations[J]. Journal of cleaner production, 2017, 142: 4019-4031.
- [7] SONG J, CHANG Z, LI W F, et al. Resilience-vulnerability balance to urban flooding: a case study in a densely populated coastal city in China[J]. Cities, 2019, 95: 102381.
- [8] HUANG X, JIN H D, BAI H. Vulnerability assessment of China's coastal cities based on DEA cross-efficiency model[J]. International journal of disaster risk reduction, 2019, 36: 101091.
- [9] HANNAFORD M J. Long-term drivers of vulnerability and resilience to drought in the Zambezi-Save area of southern Africa, 1505-1830[J]. Global and planetary change, 2018, 166: 94-106.
- [10] KAMALI B, ABBASPOUR K C, WEHRLI B, et al. Drought vulnerability assessment of maize in Sub-Saharan Africa: insights from physical and social perspectives[J]. Global and planetary change, 2018, 162: 266-274.
- [11] KESHAVARZ M, MALEKSAEIDI H, KARAMI E. Livelihood vulnerability to drought: a case of rural Iran[J]. International journal of disaster risk reduction, 2017, 21: 223-230.

- [12] PANDEY R, BARDSLEY D K. Social-ecological vulnerability to climate change in the Nepali Himalaya[J]. Applied geography, 2015, 64: 74-86.
- [13] 温晓金, 杨新军, 王子侨. 多适应目标下的山地城市社会—生态系统脆弱性评价 [J]. 地理研究, 2016, 35(2): 299-312.
- [14] 陈晓红, 周宏浩, 王秀. 基于生态文明的县域环境-经济-社会耦合脆弱性与协调性研究--以黑龙江省齐齐哈尔市为例 [J]. 人文地理, 2018, 33(1): 94-101.
- [15] DUMITRAȘCU M, MOCANU I, MITRICĂ B, et al. The assessment of socio-economic vulnerability to drought in Southern Romania (Oltenia Plain)[J]. International journal of disaster risk reduction, 2018, 27: 142-154.
- [16] 李福夺, 杨兴洪. 山东省农业旱灾恢复力评估研究: 基于社会受灾体的脆弱性与恢复力的关系 [J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2015, 49(1): 153-159.
- [17] 孔凯. 农业干旱灾害风险管理研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
- [18] 郑功成. 灾害经济学 [M]. 北京: 商务印书馆, 2010.
- [19] ADGER W N. Vulnerability[J]. Global environmental change, 2006, 16(3): 268-281.
- [20] 中国-上海合作组织环境保护合作中心. 上海合作组织成员国环境保护研究 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2014.
- [21] RIVOTTI P, KARATAYEV M, MOURÃO Z S, et al. Impact of future energy policy on water resources in Kazakhstan[J]. Energy strategy reviews, 2019, 24: 261-267.
- [22] 李宁, 李欢. 试析哈萨克斯坦在丝绸之路经济带建设中的优势与劣势 [J]. 伊犁师范学院学报(社会科学版), 2016, 35(1): 62-66.
- [23] BOGDANOV D, TOKTAROVA A, BREYER C. Transition towards 100% renewable power and heat supply for energy intensive economies and severe continental climate conditions: case for Kazakhstan[J]. Applied energy, 2019, 253: 113606.
- [24] 李海玲, 马蓓蓓, 薛东前, 等. 丝路经济带背景下我国西北地区城市脆弱性的空间分异与影响因素 [J]. 经济地理, 2018, 38(2): 66-73.
- [25] YANG W C, XU K, LIAN J J, et al. Integrated flood vulnerability assessment approach based on TOPSIS and Shannon entropy methods[J]. Ecological indicators, 2018, 89: 269-280.
- [26] 阿斯拉别克·托科灭托夫, 达丽达·阿拉达别耕瓦夫. 哈萨克斯坦区域发展差异及影响因素分析 [C]// 首届中亚区域研究及汉语教育国际学术研讨会论文集. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2012: 19-22.
- [27] 李宁. 丝绸之路经济带中哈萨克斯坦谷物产业与中国合作探析 [J]. 黑河学院学报, 2018, 9(9): 99-101.

## Spatial Vulnerability Analysis of Kazakhstan Under the Background of the Belt and Road Initiative

LI Xinqing<sup>1</sup>, XU Xinliang<sup>2</sup>, ZHANG Pengpeng<sup>1</sup>, ZHANG Lixiao<sup>1\*</sup>, Tolybayeva Diana<sup>1</sup>

(1. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Systematically evaluating the development status of environmental and social systems and identifying the vulnerability characteristics of typical areas are very essential to promote the Belt and Road Initiative. In this paper, the concept of comprehensive vulnerability was established by combing vulnerability and resilience. The index system was developed based on principle of “*exposure-sensitivity-resilience*” criterion, which then used to evaluate the Kazakhstan. The TOPSIS model and obstacle model were used to evaluate and identify key factors under GIS platform. The results show that the comprehensive vulnerability in Kazakhstan is at moderate level with an obvious spatial difference, namely, higher in the west but lower in the east. Besides, sub-factors have diversified interrelationships, among which there is a negative correlation between social and ecological elements. In the western region, all the factors are categorized in the high value area of vulnerability, while the eastern region shows better and the central region a varied distribution. These results are very informative to Sino-Kazakhstan cooperation, with special focus on transformation of industrial structure, diversified trade of energy and food, infrastructure construction, as well ecological environment protection and new energy development.

**Keywords:** the Belt and Road Initiative; comprehensive vulnerability; TOPSIS; obstacle model; Kazakhstan