城市韧性水平评估及障碍因子诊断

——以山东省为例

詹惠馨[1]，林英华[1,2]

（1. 聊城大学地理与环境学院，聊城 252000；2. 聊城大学黄河学研究院，聊城 252000）

摘要： 选取2012—2021年山东省16个地级市为研究对象，运用熵值法评估城市韧性水平，重心-标准差椭圆分析城市韧性空间动态演进，障碍度模型探究影响城市韧性的制约性因素。结果表明：山东省城市韧性水平呈起步-波动-提升三阶段特征，政策、经济、组织、生态子系统协同驱动；空间上形成济南-青岛双核引领格局，经历扩散-集聚的动态平衡；障碍度呈资本-产业-人才铁三角锁定特征，年末金融机构存款余额、第三产业占比、万人在校大学生数为核心瓶颈，数字基建滞后成为新兴矛盾。

关键词： 山东省；城市韧性；时空演变；障碍因子

中图分类号： TU984；F299.2；F124 **文献标志码：** A **文章编号：** 1671－1807(2026)04－0223－08

近年来，全球气候变化导致极端天气事件频发，城市面临着前所未有的自然灾害威胁。同时伴随着全球城市化进程的加快，人口和产业向城市集聚导致资源消耗加剧，经济全球化使城市间依赖性增强，但同时也放大了城市系统性风险[1]。联合国2016年的《新城市议程》明确提出“建设更具韧性城市”的目标，世界银行也将城市韧性纳入“全球城市可持续发展指标体系”，强调通过系统性治理提升城市应对复杂风险的能力。“十四五”规划进一步将“提升城市韧性”作为推动高质量发展的重要抓手，提出“统筹发展和安全”的战略要求[2]。山东省作为中国东部沿海经济大省，既是黄河流域生态保护和高质量发展战略的重要支点，也是连接京津冀与长三角的枢纽区域[3]。其沿海港口与内陆城市共同构成“海陆联动”的交通枢纽，承担全国约20%的沿海货运量，山东省城市韧性水平不仅关乎本省的可持续发展，更对黄河流域生态保护、区域协同创新、海洋强国建设等国家战略的实施具有全局性影响。因此，系统评估山东省城市韧性水平，探索其提升路径，不仅能够为山东乃至黄河流域的城市发展提供科学支撑，也将为全球城市韧性研究贡献中国经验与智慧。

城市韧性的概念最早由生态学家Holing提出[4]，强调生态系统在面对外部扰动时的恢复能力和适应能力，历经灾害管理、可持续发展等阶段[5]，逐步演变为涵盖生态、经济、社会、技术等多维度的综合理念[6]。作为衡量城市系统在面对自然灾害、经济波动、社会冲突等多重风险时的适应能力、恢复能力与可持续发展能力的核心概念[7]，城市韧性近年来在中国学术界和政策实践中受到广泛关注。国内学者们主要通过对韧性城市的内涵与理论基础进行分析梳理，相关研究主要围绕城市减灾与城市受外部抵抗后恢复平稳运行的能力展开[8-10]，部分学者从时间和空间尺度对城市韧性进行实证分析，通常基于城市系统的抵抗风险、风险恢复与调整适应能力[9-11]，以及城市发展特性的经济、社会、生态、基础设施等多元维度来构建综合指标体系[11]，利用层次分析法、熵权法、空间分析、神经网络模型、面板差分法等构建模型开展评价[12-16]。当前已有研究多数聚焦单一城市[17]或特定维度如经济韧性[18-19]、生态韧性[20-22]，缺乏对城市体系的系统性分析。山东省作为黄河流域唯一沿海省份、新旧动能转换综合试验区与海洋强国的战略支点，其城市韧性综合评估对强调沿海城市与内陆城市、资源型城市与新兴城市之间的协同治理有着重要作用。基于此，本文对山东省16个地级城市的城市韧

收稿日期： 2025-09-06

基金项目： 山东省社会科学规划(2016CLYJ02)

作者简介： 詹惠馨(1997—)，女，河南郑州人，硕士研究生，研究方向为区域经济与城乡规划；通信作者林英华(1976—)，女，山东临朐人，博士，副教授，硕士研究生导师，研究方向为区域经济与城乡规划。

性水平进行综合评估，进一步分析山东省城市韧性的动态演化规律，并探究影响城市韧性的主要障碍因子，旨在充实当前中国情境下城市韧性研究的案例库，为完善区域韧性理论提供经验支撑。

1　研究方法与数据来源

1.1　研究方法

1.1.1　指标体系构建

综合现有研究[13,16,23]，为确保城市韧性水平评价的科学性、精确性和完整性，本文从基础设施韧性、经济韧性、组织韧性、生态韧性 4 个维度构建山东省城市韧性评价指标体系，如表 1 所示。基础设施韧性为经济韧性提供物理支撑，经济资源驱动组织韧性发展和生态治理，组织网络协调各系统的协同响应，而生态韧性则为长期可持续性提供基础，通过“物质-经济-组织-生态”的循环反馈机制相互强化。

基础设施系统是城市运行的物理支撑系统，其可靠性直接影响城市在灾害中的抗压能力。选取人均生活用水量、人均生活用电量、互联网宽带接入户数 3 个指标，反映城市基础服务的普及性，衡量电力系统在故障时的备用能力，评估网络连通对灾害中物资运输和人员疏散的效率，代表居民在极端事件中仍能获得基本生活保障的能力，也共同体现城市硬性系统的抗风险能力，是其他维度韧性的物质基础。经济系统决定城市资源调配能力和恢复速度，从而影响社会稳定性。选取人均 GDP、年末金融机构存款余额、第三产业占比 3 个指标，量化经济稳定性并衡量经济修复能力、经济结构抗风险能力以及产业多样性，反映经济的自适应能力，城市在危机中的资源再分配效率和长期恢复潜力。组织系统是城市韧性的软性支撑，其协作能力决定极端事件中的响应效率。选取公共管理与社会保障人员、万人在校大学生人数、城镇职工基本养老保险参保人数 3 个指标，衡量社会资本储备并提升灾害中的互助能力反映多元主体的协作广度，整合更多资源，评估居民对防灾的主动意识，体现城市在危机中的社会动员能力和多元协同效率。生态系统是城市可持续发展的基础，其韧性影响灾害风险与长期宜居性。选取污水处理率、生活垃圾处理率、一般固体废物综合利用率 3 个指标，反映气候调节能力，衡量环境风险控制能力，减少突发危机中的次生灾害，体现生态系统的自我修复能力，增强城市对环境变化的适应性，体现了城市与自然环境的共生关系，为城市韧性提供生态保障。

表 1　山东省城市韧性评价指标体系

目标层	基准层	指标层	单位	属性
城市韧性	基础设施韧性	人均生活用水量(W_1)	L	+
		人均生活用电量(W_2)	kWh	+
		互联网宽带接入用户(W_3)	万户	+
	经济韧性	人均 GDP(X_1)	元	+
		年末金融机构存款余额(X_2)	万元	+
		第三产业占比(X_3)	%	+
	组织韧性	公共管理与社会保障人员(Y_1)	人	+
		万人在校大学生人数(Y_2)	人	+
		城镇职工基本养老保险参保人数(Y_3)	人	+
	生态韧性	污水处理率(Z_1)	%	+
		生活垃圾处理率(Z_2)	%	+
		一般固体废物综合利用率(Z_3)	%	+

1.1.2　熵值法综合评价

熵值法通过数据自身的分布特征来确定权重，减少了主观因素的影响，提高了评价结果的客观性，消除量纲影响，对指标进行正向化和逆向化的标准化处理。

正向指标：

$$Y_{ij}=\frac{X_{ij}-\min X_j}{\max X_j-\min X_j} \tag{1}$$

负向指标：

$$Y_{ij}=\frac{\max X_j-X_{ij}}{\max X_j-\min X_j} \tag{2}$$

式中：Y_{ij} 为指标标准化后的结果；X_{ij} 为山东半岛城市群第 i 个地区第 j 项的指标数值；$\max X_j$ 为指标 j 的最大值；$\min X_j$ 为指标 j 的最小值。

信息熵 e_j 的计算公式为

$$e_j=-\frac{1}{\ln m}\sum_{i=1}^{m}P_{ij}\ln P_{ij} \tag{3}$$

权重 w_j 的计算公式为

$$W_j=\frac{1-e_j}{\sum_{1}^{n}(1-e_j)} \tag{4}$$

城市韧性综合水平 E_i 的计算公式为

$$E_i=\sum_{i=1}^{n}W_j\,Y_{ij} \tag{5}$$

式中：m 为研究年份；n 为指标数量；E_i 取值范围为 [0,1]，数值越大，表明城市韧性水平越高。

1.1.3　重心-标准差椭圆

重心-标准差椭圆法用以衡量空间数据分布方向与变换角度，本文用来分析山东省城市韧性的重心分布与动态变化特征，计算公式为

$$\overline{X}=\frac{\sum_{i=1}^{n}W_iX_i}{\sum_{i=1}^{n}W_i} \tag{6}$$

$$\bar{Y}=\frac{\sum_{i=1}^{n}W_iY_i}{\sum_{i=1}^{n}W_i} \tag{7}$$

$$S=\pi\sigma_X\sigma_Y \tag{8}$$

式中:n 为城市数量;$\bar{X}$ 为城市韧性的平均中心(重心)坐标;(X_i,Y_i)为地理坐标;W_i 为权重;σ_X、σ_Y 分别为沿 X 轴、Y 轴的标准差。

1.1.4 障碍度模型

根据障碍度模型,对影响山东省城市韧性水平的障碍因子分别通过准则层和指标层的测算,并对其排序,计算公式为

$$O_{ij}=\frac{W_j I_{ij}}{\sum_{j=1}^{m}I_{ij}W_j} \tag{9}$$

$$I_{ij}=1-X_{ij} \tag{10}$$

式中:O_{ij} 为第 j 项指标对城市韧性的障碍度;W_j 为第 j 项指标的权重;I_{ij} 为指标的偏离度,用理想值 1 与指标准化值 X_{ij} 的差距表示;m 为指标个数。

1.2 数据来源

以《山东半岛城市群发展规划(2021—2035年)》覆盖的济南、青岛、淄博、枣庄、东营、烟台、潍坊、济宁、泰安、威海、日照、临沂、德州、聊城、滨州及菏泽 16 个地级市作为研究对象。主要数据来源于 2012—2022 年《山东统计年鉴》《中国城市统计年鉴》以及山东省各地级市的统计年鉴和统计公报,个别年份的缺失值使用线性插值法补充。

2 结果与分析

2.1 子系统韧性水平发展特征

根据山东省市韧性评价指标体系,运用熵值法得出山东半岛群 2012—2021 年城市韧性以及子系统韧性水平,如图 1 所示。

整体趋势来看,山东省城市韧性水平呈现持续且显著的增长态势,其韧性水平由 2012 年的 0.206 0 攀升至 2021 年的 0.328 3。2012—2014 年山东省城市韧性处于起步阶段,城市韧性水平从初始的 0.206 0 逐步增长至 0.273 8,2013 年山东省出台《山东省新型城镇化规划(2014—2020 年)》,虽未直接聚焦“城市韧性”表述,但从新型城镇化的内涵出发,对城市基础设施建设、公共服务配置等方面提出要求,为城市韧性的基础能力建设提供了早期政策指引。2015 年出现阶段性下降,城市韧性水平降至 0.250 9,主要原因是短期政策红利集中释放后,进入消化期,而后续如安全生产、应急管理等方面尚未形成有效接力。2016—2021 年山东省城市韧性处于缓步提升阶段,城市韧性水平成功突破 0.266 4。此时,政策协同效应开始凸显,2016 年山东省发布了《山东省“十三五”综合交通运输体系发展规划》,2017 年发布了《山东省“十三五”现代服务业发展规划》等一系列相互配套的政策文件,在产业政策、城市交通与服务规划政策等方面加强协同,推动城市交通、产业、公共服务等各系统之间的联动发展。2020 年受到新冠肺炎疫情等突发公共卫生事件的影响,山东省城市韧性水平的增速减缓,但进一步优化应急管理的组织架构、预案体系与资源调配机制,提升了城市应对突发公共事件的能力。此外,生态治理的深化也发挥了关键作用,2021 年《山东省“十四五”生态环境保护规划》的实施,持续推进污染防治攻坚战、加强生态修复与保护等工作,使得城市韧性水平进一步提升。

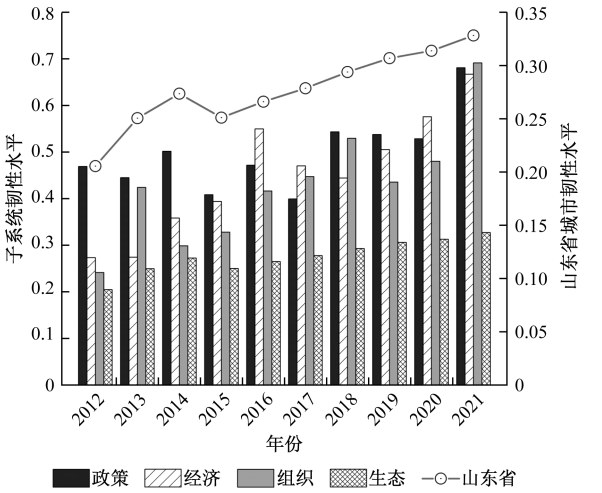


图 1 2012—2021 年山东省城市韧性及子系统韧性水平变化

这种提升是政策、经济、组织、生态等子系统协同作用的结果,各子系统韧性水平的改善共同推动了城市整体韧性的增强。政策韧性整体呈波动上升特征,2014 山东省首次提出“城市安全屏障建设”,推动政策韧性迎来突破点,2018 年山东省城市安全发展将安全韧性纳入城市考核指标,政策工具从“规划引导”转向“刚性约束”,2020 年新冠肺炎疫情后,山东省突发事件应急保障体系建设明确“1 小时应急响应圈”建设目标,政策韧性于 2021 年达峰值 0.681 4。经济韧性呈现阶梯式跨越增长,从 2012 年的 0.274 7 增至 2021 年的 0.667 7,2017—2018 年出现阶段性放缓,2018 年后增幅较大,达到 49.94%。主要原因是 2016 年山东省启动供给侧结构性改革,2018 年实现新旧动能转换,高新技术产业产值占比显著提升,经济抗风险能力显著增强。2020 年推动了产业数字化转型,年数字经济核心产

业增加值占GDP比例提升，经济韧性实现从“要素驱动”向“创新驱动”的跨越。组织韧性呈现稳步协调性增长特征，其中2014年与2019年因基层治理资源不足，组织韧性水平有所下降。2017年山东省深化医药卫生体制改革，强化了公共卫生应急网络，随后推动“城市大脑”建设，2019年下放应急管理权限，社区应急物资储备覆盖率提升，2021年省级应急管理综合平台实现16市全覆盖，社会组织协同效率显著提升，组织系统“弹性冗余”能力实现快速回弹。生态韧性系统呈现滞后性修复增长的趋势，生态子系统的城市韧性长期低于其他子系统，实质上是生态系统“恢复周期长、治理成本高、效益外溢性强”特征的集中体现。生态韧性的滞后性与山东省“重化工业主导”的经济结构密切相关，2012—2018年第二产业占比长期高于45%，生态治理面临“保增长”与“减排放”的双重压力，2020年《黄河流域生态保护和高质量发展规划》推动流域生态修复，生态承载能力逐步改善。

2.2　城市韧性水平发展特征

如表2所示，从城市层面看，2012—2021年山东省16市城市韧性水平呈现总体上升、区域分化、双核心引领的分布特征，同时也反映区域发展不均衡问题突出。济南和青岛的城市韧性水平始终处于较高水平，而聊城、枣庄等城市韧性水平长期处于相对较低水平。从时间变化来看，2012—2021年山东省16市城市韧性水平呈现出总体上升、区域分化、双核心引领的分布特征，同时也反映区域发展不均衡问题突出。济南、青岛年均增长率分别为4.7%、4.3%，尤其是2016年后进入加速增长期，主要原因是济南受益于强省会战略与新旧动能转换先行区建设，而青岛依托“海洋强省”战略，治理资源集聚，两市应急管理财政投入高，城市建设应急响应效率提升较快。临沂、德州的阶段性波动明显，临沂2013—2014年因商贸物流扩张导致城市韧性快速提升，2015年受传统制造业收缩影响有所回落，德州2014年与2020年的两次峰值均与农业产业化政策相关，但长期依赖单一产业的韧性模式抗风险能力较弱，2018年后《山东省乡村振兴战略规划》推动产业融合，两市韧性增速回升，但生态韧性短板仍存。聊城、枣庄长期低于全省平均水平年均增长率不足1.5%，聊城2014—2021年波动幅度仅0.011 0，系统韧性趋于僵化。主要原因是经济基础薄弱，2021年两市人均GDP排名靠后，传统工业占比超半数，新旧动能转换滞后。2020年后才启动韧性城市试点申报，较济南、青岛晚3～5年，公共服务设施密度在省内居于较低水平，组织韧性支撑也相对不足。威海、烟台韧性水平平稳提升，主要依托海洋生态优势，形成“生态-经济”协同模式。东营、滨州生态环境问题较为严重，2018年后的黄河三角洲修复加速了城市韧性提升，但仍受制于资源产业占比高的制约因素。2012—2021年山东省城市韧性呈现核心集聚与边缘滞后的空间格局，本质是经济结构、政策供给、生态基底多维差异的结果，未来需构建分类指导与协同提升的城市韧性建设路径。

表2　2012—2021山东省城市层面城市韧性水平

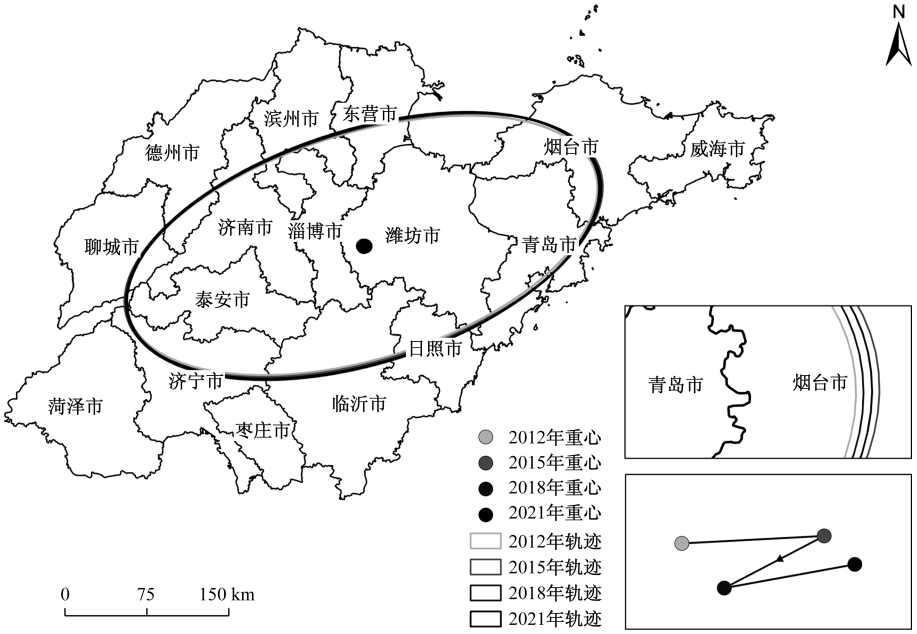
城市	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
滨州	0.175 1	0.222 8	0.206 5	0.221 3	0.238 8	0.264 4	0.294 3	0.297 6	0.314 9	0.327 8
德州	0.137 8	0.160 0	0.230 3	0.167 2	0.175 1	0.182 8	0.198 5	0.210 0	0.215 9	0.224 5
东营	0.160 6	0.218 4	0.190 2	0.203 3	0.214 0	0.223 8	0.243 5	0.221 7	0.225 6	0.247 1
菏泽	0.144 1	0.184 6	0.162 9	0.179 1	0.186 6	0.203 6	0.214 8	0.230 8	0.273 2	0.272 6
济南	0.429 0	0.342 1	0.483 9	0.526 8	0.554 2	0.551 6	0.570 7	0.640 3	0.654 6	0.684 8
济宁	0.190 3	0.234 5	0.224 5	0.231 6	0.242 5	0.269 4	0.286 9	0.284 9	0.291 8	0.297 3
聊城	0.108 5	0.152 1	0.188 4	0.137 0	0.154 5	0.142 8	0.154 3	0.157 7	0.149 3	0.149 4
临沂	0.172 7	0.350 3	0.335 0	0.215 2	0.232 8	0.238 3	0.254 0	0.281 6	0.294 7	0.309 5
青岛	0.407 1	0.438 5	0.546 3	0.501 4	0.515 1	0.548 4	0.575 1	0.596 8	0.608 0	0.627 1
日照	0.109 6	0.155 5	0.138 7	0.145 9	0.152 1	0.169 3	0.185 5	0.201 9	0.198 3	0.214 2
泰安	0.204 3	0.230 0	0.297 4	0.237 3	0.248 8	0.246 6	0.256 9	0.243 5	0.266 9	0.240 3
威海	0.214 1	0.249 2	0.285 8	0.282 2	0.290 9	0.321 9	0.324 0	0.340 3	0.345 6	0.360 6
潍坊	0.260 3	0.322 3	0.300 6	0.258 5	0.282 3	0.312 9	0.331 1	0.363 4	0.334 3	0.396 7
烟台	0.274 4	0.324 7	0.397 4	0.344 6	0.366 4	0.369 4	0.376 2	0.411 8	0.417 3	0.440 3
枣庄	0.099 0	0.149 5	0.122 3	0.129 6	0.144 3	0.143 6	0.159 8	0.145 4	0.148 9	0.147 5
淄博	0.209 3	0.280 2	0.271 5	0.241 8	0.263 5	0.273 9	0.281 6	0.286 6	0.286 2	0.314 3

2.3 城市韧性空间演化分析

为了进一步解释山东省城市韧性的空间聚集程度以及离散程度方向性的变化,使用 Arcgis10.8 软件对 2012—2021 城市韧性水平进行重心-标准差椭圆分析,如图 2 所示。山东省城市韧性水平标准差椭圆整体沿东北-西南方向延伸,表明韧性空间分布的主导方向为东北-西南,与山东省“东部沿海发达、西部内陆滞后”的经济地理格局高度吻合,也与胶济铁路、京沪高铁等交通干线的产业-人口集聚走向一致。椭圆面积从 2012—2018 年先扩大而后缩小,体现“扩散-集聚”动态平衡,反映了 2012—2018 年韧性空间分布从鲁中核心区向鲁南、鲁西扩散,2018 年后因胶东经济圈增速加快并重新集聚。韧性重心从 2012—2015 年向东北方向移动,到 2018 年有小幅度向西南方向移动,2021 年再次整体向东北偏移,表明鲁中核心区对全省起到了韧性的“稳定器”作用,印证了省会城市在政策资源、经济基础、应急治理等方面的集聚效应。重心长期锚定鲁中地区,椭圆主轴指向胶东,反映济南-青岛双核对全省韧性的控制作用,形成韧性高地。2015 年椭圆扩张对应鲁西政策红利释放,2018 年后收缩体现胶东政策倾斜,验证了“政策试点-资源投入-韧性提升”的空间传导路径。山东省城市韧性的空间格局呈现鲁中、胶东双核引领,东西差异主导、南北均衡提升的特征,未来优化需聚焦东西协调、南北协同及核心辐射作用。

2.4 障碍因子分析

为了进一步分析影响山东省城市韧性制约性因素,选取 2012 年、2015 年、2018 年、2021 年作为数据样本,进行指标层障碍因子分析,结果如表 3 所示。2012—2021 年,山东省城市韧性障碍度呈现主导因素集中化、障碍强度递增化、系统矛盾复杂化的特征。从时序演变看,障碍度排名前三位的因素始终为年末金融机构存款余额、第三产业占比和万人在校大学生人数,年均增长达到 2.3%,成为制约韧性提升的铁三角瓶颈。次要障碍因素则经历公共管理与社会保障人员向互联网宽带接入用户的结构性更替,这反映了数字经济时代生态韧性技术支撑不足的新矛盾。障碍度分布与韧性水平呈现“高-低”对应关系,鲁西地区因第三产业占比和万人大学生数的双重短板,障碍度较胶东地区高百分点,形成“鲁西高障碍-胶东低障碍”的空间分异格局。这种格局本质是“资本-产业-人才”要素在地理空间上的非均衡性分布结果,与山东省“东部沿海发达、西部内陆滞后”的经济地理特征高度吻合。年末金融机构存款余额体现资本配置效率低下的长期约束特征,障碍度从 2012 年的 12.62%持续升至 2021 年的 21.29%,始终位居首位,且与第二名差距从 1.79%扩大至 3.61%,成为最突出瓶颈,主要是因为山东省金融机构存贷比长期低于全国平均水平,未能转化为实体经济投资。这与山东企业融资偏好和金融机构风险偏好直接相关。2021 年山



基于审图号为 GS(2026)2556 号标准地图制作,底图无修改

图 2 2022—2021 山东半省城市韧性标准差椭圆与重心迁移轨迹

表3　城市韧性障碍因子及排名

排序	2012年		2015年		2018年		2021年	
	障碍因素	障碍度/%	障碍因素	障碍度/%	障碍因素	障碍度/%	障碍因素	障碍度/%
1	X_2	12.62	X_2	15.62	X_2	17.33	X_2	21.29
2	X_3	10.83	X_3	12.46	X_3	15.56	X_3	17.68
3	Y_2	10.02	Y_2	12.67	Y_2	14.88	Y_2	15.33
4	Y_1	8.35	Y_1	10.37	W_3	9.33	Y_2	12.88
5	W_3	8.20	W_3	8.55	W_1	7.34	W_3	10.58
6	W_1	5.95	W_2	6.73	W_2	7.22	W_1	7.35

东上市公司数量与科创板上市公司数量与南部发达地区差距较大，高新技术企业股权融资覆盖率不足，资本市场化配置能力薄弱制约经济韧性的资本支撑。第三产业占比从2012年的10.83%升至2021年的17.68%，稳居第二位，主要原因是传统产业锁定效应。山东重工业占比长期居高而高端装备制造、新一代信息技术等战略性新兴产业占比较低，产业结构“重化型”特征显著，第三产业中，批发零售、交通运输等传统服务业占比高，而金融、科技服务等现代服务业占比较低，生产性服务业滞后导致产业链附加值低，制约经济韧性的抗风险能力。万人在校大学生数障碍度从2012年的10.02%升至2021年的15.33%，是组织韧性的首要制约因素，反映人才短板的全域性蔓延。主要是因为山东省高等教育资源分布失衡，山东高校数量虽居全国第三，但优质资源主要集中在济南、青岛，鲁西地区高校经费投入较少，教育资源缺少，导致人力资本“东高西低”的空间分异。同时，山东省存在着人才留存与引进的困境，使得山东高端人才流失，组织韧性的智力支撑不足。互联网宽带接入用户障碍度出现了先增后降再升的趋势，反映数字基建滞后成为新的瓶颈。公共管理与社会保障人员的障碍度下降，得益于山东省深化事业单位改革试点方案，推动的人员结构优化，公共服务效率提升，组织韧性的行政支撑有所改善。人均生活用水与用电量)的障碍度变化较平稳，表明山东在传统基础设施方面的体系较为完善，但由于黄河入海口的生态脆弱性，未来仍需提升生态韧性的基础保障能力。

3　结论与建议

3.1　结论

2012—2021年山东省城市韧性水平从0.206 0持续增长至0.328 3，呈现“起步-波动-提升”三阶段特征，政策韧性从规划引导转向刚性约束，经济韧性通过新旧动能转换实现49.94%增长，组织韧性依托“城市大脑”建设提升协同效率，生态韧性受重化工业制约呈滞后修复，2020年后随黄河流域治理加速改善。空间上呈现双核心引领与区域分化格局，济南、青岛年均增速4.7%、4.3%，依托强省会与海洋战略形成高韧性极核；威海、烟台依托生态经济平稳增长；鲁西城市如聊城、枣庄因经济基础薄弱、政策响应滞后，年均增速不足1.5%，系统韧性僵化。未来需针对经济结构、政策供给、生态基底差异，构建分类协同的韧性提升路径。

2012—2021年山东省城市韧性水平的重心-标准差椭圆分析表明，空间分布呈现双核引领的动态集聚特征。标准差椭圆长期沿东北-西南方向延伸，主导方向稳定。椭圆面积先扩后缩，反映韧性空间经历鲁中核心区向鲁南鲁西扩散再向胶东经济圈再集聚的动态平衡。重心始终锚定鲁中地区，呈东北-西南-东北小幅波动，印证济南-青岛双核的“稳定器”作用及政策资源集聚效应，揭示了山东省城市韧性空间格局为省会胶东双核引领，东西差异主导的特征，未来需通过东西协调、南北协同及核心辐射优化区域韧性协同发展。

山东省城市韧性障碍度分析显示其制约因素呈现核心锁定与强度递增的空间分异特征。年末金融机构存款余额、第三产业占比、万人在校大学生数始终为前三位障碍因子，构成铁三角瓶颈。其中，资本配置效率低下，传统产业锁定与高等教育资源失衡是核心成因。公共管理与社会保障人员转向互联网宽带接入用户，反映数字基建滞后新矛盾，形成鲁西高障碍与胶东低障碍分异格局，公共管理与社会保障人员障碍度下降印证事业单位改革成效；人均水电气等传统基建障碍度平稳，但黄河流域生态脆弱性仍需关注。因此，山东省需通过资本市场化配置、产业高端化转型、人才均衡化布局及数字基建补短板，破解韧性提升的系统性制约。

3.2　建议

基于山东省城市韧性水平发展现状，本文提出以下建议。

针对山东省城市韧性双核引领与东西差异的空间格局，强化政策工具的空间靶向性与区域协同

性。一方面,建立“胶东-鲁西韧性共建区”,通过财政转移支付支持鲁西地区承接胶东产业转移,重点培育聊城化工新材料、枣庄高端装备制造等特色产业集群,降低传统工业占比。另一方面,优化政策试点空间布局,将现有济南、青岛国家韧性试点经验向鲁西推广,实现16市韧性城市试点全覆盖,缩短鲁西与胶东政策响应时差。同时,依托胶济铁路与京沪高铁经济带,建设“1小时应急响应圈”互联互通工程,推动济南-聊城、青岛-枣庄等跨市应急资源共享,提升区域协同抗风险能力。沿胶济铁路布局“韧性产业走廊”,在潍坊、淄博等节点城市建设区域韧性枢纽,强化双核对鲁中、鲁南的辐射带动。针对黄河流域生态脆弱性,实施生态经济协同修复工程,在东营、滨州推进湿地保护与生态旅游融合发展,将生态韧性指标纳入地方政府考核,推动鲁北地区生态优势转化为经济韧性。

在资本要素方面,深化金融改革提升山东省金融机构存贷比,设立新旧动能转换基金,重点支持中小企业股权融资,推动科创板上市公司数量提升。推广青岛财富管理金融综合改革试验区经验,在济南、烟台试点科技金融专营机构。在产业升级方面,实施传统产业焕新+新兴产业培育双路径,对钢铁、化工等行业开展绿色化、智能化改造,推动重化工业占比降低,同时聚焦新一代信息技术、生物医药,建设人工智能产业集群、海洋生物医药基地等。在人才均衡化方面,优化高等教育资源布局,提升鲁西高校经费投入占比,推动齐鲁人才回流,对返乡创业的硕士及以上人才给予人才补贴,建立济南、青岛与鲁西城市的“人才对口支援”机制,提升人才留存率。

针对数字基建滞后与生态韧性短板,以新型基础设施建设和生态治理现代化为突破口。在数字赋能层面,加快5G基站、工业互联网平台等新型基建布局,未来实现16市主城区5G网络全覆盖,提升工业互联网平台连接率。推广济南与青岛的智慧应急经验,建设省级韧性城市数字孪生平台,整合应急管理、生态环境等领域数据,提升风险监测预警覆盖率。在鲁西实施“数字乡村振兴工程”,实现县域电商服务中心全覆盖,弥合城乡数字鸿沟。在生态筑基方面,以黄河流域生态保护和高质量发展战略为引领,实施节水行动,在东营、滨州推进黄河三角洲湿地生态补水工程,提升突破年生态修复面积。建立生态产品价值实现机制,实行试点海洋碳汇交易,将生态韧性提升与绿色经济发展协同推进,构建“生态-经济”良性循环的韧性发展模式。通过以上策略,可以系统性的破解山东省城市韧性的空间分异与要素制约,推动“双核引领”向“全域协同”演进,为黄河流域韧性城市建设提供示范路径。

参考文献

[1] 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.

[2] 王少剑,崔子恬,林靖杰,等. 珠三角地区城镇化与生态韧性的耦合协调研究[J]. 地理学报,2021,76(4):973-991.

[3] 栾志理. 精明收缩:城市再生与空间优化[M]. 北京:中国社会科学出版社. 2023.

[4] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems [J]. Annual Review of Ecology and Systematics,1973,4(1):1-23.

[5] 李广东,关洛桐,刘志涛. 国际城市韧性研究:过程视角下的韧性框架和系统综述[J]. 城市问题,2024(10):4-16.

[6] 陈玉梅,李康晨. 国外公共管理视角下韧性城市研究进展与实践探析[J]. 中国行政管理,2017(1):137-143.

[7] 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.

[8] 李志远,冯学钢,杨瑜,等. 长三角城市群城市韧性与旅游产业协同效应及交互响应[J]. 经济地理,2025,45(3):64-75.

[9] 臧鑫宇,王峤. 城市韧性的概念演进、研究内容与发展趋势[J]. 科技导报,2019,37(22):94-104.

[10] 郑艳,王文军,潘家华. 低碳韧性城市:理念、途径与政策选择[J]. 城市发展研究,2013,20(3):10-14.

[11] 倪晓露,黎兴强. 韧性城市评价体系的三种类型及其新的发展方向[J]. 国际城市规划,2021,36(3):76-82.

[12] 彭翀,左沛文,李月雯,等. 城市空间多风险耦合及规划的韧性应对[J]. 城市规划学刊,2024(5):88-97.

[13] 刘彦平. 城市韧性系统发展测度——基于中国288个城市的实证研究[J]. 城市发展研究,2021,28(6):93-100.

[14] 薛飞,张念慈,夏楚瑜,等. 城市生态韧性水平空间评估及其驱动力——以北京市通州区为例[J]. 生态学报,2023,43(16):6810-6823.

[15] 周倩,刘德林. 长三角城市群城市韧性与城镇化水平耦合协调发展研究[J]. 水土保持研究,2020,27(4):286-292.

[16] 李刚,徐波. 中国城市韧性水平的测度及提升路径[J]. 山东科技大学学报(社会科学版),2018,20(2):83-89.

[17] 梁丹阳,姚爽. 基于熵值法和GIS的辽宁省城市韧性评价研究[J]. 科技和产业,2023,23(12):49-55.

[18] 赫国胜,燕佳妮. 数字金融对城市经济韧性的影响——基于空间计量模型的实证分析[J]. 经济问题探索,2023(3):97-110.

[19] 刘明显，吴晨昕. 金融科技、金融监管与城市经济韧性[J]. 科技和产业，2023，23(23)：64-69.
[20] 夏楚瑜，董照樱子，陈彬. 城市生态韧性时空变化及情景模拟研究——以杭州市为例[J]. 生态学报，2022，42(1)：116-126.
[21] 彭钰. 黄河流域旅游经济与城市生态韧性的协同测度及交互响应[J]. 科技和产业，2024，24(15)：94-99.
[22] 王松茂，牛金兰. 山东省城市生态韧性的动态演化及障碍因子分析[J]. 经济地理，2022，42(8)：51-56.
[23] 张思思，马晓钰，崔琪. 中国城市韧性的时空动态演变及影响因素分析[J]. 统计与决策，2023，39(3)：110-111.

Assessment of Urban Resilience Levels and Diagnosis of Barriers: A Case Study of Shandong Province

ZHAN Huixin[1], LIN Yinghua[1,2]

(1. School of Geography and Environment, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China;
2. Yellow River Research Institute, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China)

Abstract: Taking 16 cities in Shandong Province from 2012 to 2021 as an example, the entropy method was employed to assess urban resilience levels, using center-of-gravity and standard deviation ellipse to analyze track spatial dynamics of resilience evolution, and an obstacle degree model was used to investigate constraints affecting urban resilience. Results indicate that urban resilience in Shandong Province exhibits a three-stage trajectory such as initial development, fluctuation and enhancement. This evolution is synergistically driven by policy, economic, organizational and ecological subsystems. Spatially, a dual-core leadership pattern centered on Jinan and Qingdao has emerged, maintaining a dynamic equilibrium between diffusion and agglomeration. Constraints manifest as a locked iron triangle of capital, industry and talent. Key bottlenecks at year-end include financial institution deposit balances, tertiary industry share and university enrollment per ca-pita. Lagging digital infrastructure has emerged as a new contradiction.

Keywords: Shandong Province; urban resilience; spatiotemporal evolution; barrier factors