

中国省会城市韧性变化及影响因素研究

刘玲娜¹ 雷涯邻^{1, 21}

(1 中国地质大学(北京)经济管理学院, 北京 100083;

2 北京化工大学经济管理学院, 北京 100029)

【摘要】: 以中国 30 个省会城市作为研究对象, 基于改进后的 CRITIC 模型测算 1998—2017 年省会城市韧性的变化, 并结合面板数据 VAR 模型探究气温、降水等气候因素对于城市韧性的影响。结果显示: 在时间上, 过去 20 年 30 个省会城市韧性水平总体呈上升趋势, 韧性水平较高的城市为北京、广州、上海和南京; 在空间上, 省会城市韧性水平从相对均衡逐渐演化为东部高、西部低, 南部高、北部低的特征, 并从 2003 年之后表现地更为明显; 从气候因素对城市韧性的影响来看, 降水量的增加反而会促进城市韧性的提升, 并在第 2 年达到正向效应的峰值; 气温的升高则在前 2.5 年对城市韧性产生较大的负向影响。

【关键词】: 城市韧性 时空演变 面板数据 VAR 模型 气候因素

城市韧性是指城市在遭受外部冲击后表现出的反弹能力以及面对极端灾害时的防范、响应和恢复能力, 由治理韧性、经济韧性、社会韧性和生态韧性等多个维度组成。由于人口城镇化、经济城镇化和土地城镇化的不断发展, 城市韧性不仅是城市安全的重要内容, 也是城市可持续发展和高质量发展的重要内容。2012 年联合国气候变化专门委员会 (IPCC) 发布了《管理极端事件及灾害风险, 推进适应气候变化》特别报告, 指出国际社会气候变化将增加灾害风险发生的不确定性。世界范围内的国家和组织的决策者意识到应对灾害风险的重要性。2015 年, 联合国首脑会议审议通过“改变我们的世界: 2030 年可持续发展议程”, 提出了 17 个关于可持续发展的目标, 其中共有 4 个目标内容涉及“韧性”。

由于城市韧性由多个维度组成, 如何对其进行评价就成为韧性城市建设中的核心问题。现有的城市韧性评价框架并未形成统一的评价框架和评价体系, 其主要包含以下 5 类研究框架: 韧性能力指标框架、美国洛克菲勒基金会绩效式评价框架、日本北九州城市中心设计的城市韧性评价框架、韧性适应转型评估框架、联合国大学环境与人类安全研究超大韧性城市框架。但是上述研究框架应用到我国研究过程中都存在一定局限性。

我国对于城市韧性研究起步较晚, 在 2012 年北京大学建筑与景观学院的年度论坛上, 城市韧性被首次提出应用到城市研究中^[1]。现阶段我国城市韧性的研究侧重于应对城市灾害韧性的评价^[2], 近年来部分学者开始关注城市韧性的综合评价^[3], 仅少数学者关注气候因素对城市韧性的影响^[4]。

国外学者对于城市韧性评价框架研究相对丰富, 但实际框架体系较难应用到我国城市韧性评价, 导致现阶段研究大多集中于城市灾害韧性, 少数学者探索和评估城市韧性。缺乏上述相关研究在一定程度上制约了城市韧性对于我国城市发展的积极作用。因此, 本文通过定量化方法测度中国省会城市韧性, 分析探讨不同城市韧性水平发展差异和气候因素对城市韧性演变趋势的

作者简介: 刘玲娜(通信作者), 经济学博士, 中国地质大学(北京)经济管理学院博士后, 研究方向: 城市可持续发展; 雷涯邻, 管理学博士, 北京化工大学经济管理学院教授, 研究方向: 资源环境经济学。

基金项目: 中国博士后科学基金项目——“应急管理背景下资源型城市韧性提升机制与路径”(项目编号: 2021M692999; 项目负责人: 刘玲娜) 成果之一

影响。

1 中国省会城市韧性评价的理论框架与指标体系

1.1 理论框架

1.1.1 系统理论

由于城市韧性是一个涉及社会、经济、工程和生态等多个领域的复杂系统，该系统内部各要素之间相互作用，发挥各自的功能。系统论认为系统包含整体性、动态性和开放性。基于系统理论，评价中首先需要从整体的角度考察城市韧性下各个系统发展的差异，力求找到当前城市韧性发展中的薄弱环节；其次要从时间及空间的角度反映城市韧性的动态变化。由于城市的基本属性就是开放性，表现为与外部自然环境、外部其他城市之间存在资源、技术和建设水平的差异性，而这种不平衡性是促进城市韧性发展的动力，因此在实际操作中应充分考虑这些差异。

1.1.2 可持续发展理论

城市韧性成为实现联合国可持续发展目标中“建设包容、安全、有抵御灾害能力的城市和社区”目标的重要手段。在社会方面，城市韧性更注重通过减少犯罪来努力实现社会安全，针对发展中的弱势群体制定应对风险的措施。在经济方面，城市韧性侧重城市经济结构必须多样化才能有效应对未知的压力和风险，使损失降低到最小化。在工程方面，城市韧性关注扰动来临时城市是否拥有完善的基础设施保障居民生活和城市的正常运行。

1.2 指标体系

本文的评价体系基于 2013 年洛克菲勒基金会提出用于指导城市韧性评价的思想^[6]，选取社会、经济、工程和生态 4 个维度。社会韧性中重点关注人类发展，具体涵盖人口、就业、医疗、教育、创新和文化等 6 个方面。经济韧性相关指标中，具体涵盖居民收入、经济发展、产业结构等多个方面。工程韧性相关指标具体涵盖电力、交通、基础设施、避难面积及创新水平等方面。由于生态韧性与城市生态系统密不可分，生态韧性选取资源利用水平和环境治理能力等相关指标。指标评价体系见表 1。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 指标权重计算

CRITIC 是由 Diakoulaki 提出的一种客观赋权法，在评价指标中能够更好地考虑评价指标间的对比强度及其冲突性^[6]。但是，传统的 CRITIC 模型未考虑指标的离散程度，仅用标准差来衡量对比强度。本研究基于改进后的 CRITIC 模型^[6]，在原有数列仅用标准差反映对比强度的基础上进一步引入平均数，用标准差和平均数的比值综合反映指标的对比强度和离散程度。改进后的差异程度公式为：

$$d_j = \frac{\sigma_j}{\bar{x}_j} \quad (1)$$

其中 d_j 表示第 j 个指标的差异程度, σ_j 为标准差, x_j^- 为该指标的平均数。

表 1 中国城市韧性评价体系

准则层-I	准则层-II	决策层	权重	单位	指向
城市社会系统	人类发展水平	城镇化率	a_1	%	正向
(URS)		人口自然增长率	a_2	%	正向
		人口老龄化程度	a_3	%	负向
	社会发展水平	离婚人员数量	a_4	人	负向
		R&D 人员数量	a_5	人	正向
		艺术文艺活动	a_6	个	正向
		期末失业率	a_7	%	负向
	社会治理水平	每万人社区数量	a_8	万人	正向
		医院床位数量	a_9	个	正向
		每万人本专科学生在校生数量	a_{10}	万人	正向
城市经济系统	经济禀赋	规模以上工业企业数	b_1	个	正向
(URE)		居民存款占居民总收入比重	b_2	%	正向
		社会消费品零售总额	b_3	万元	正向
		旅游收入	b_4	万元	正向
		固定资产投资	b_5	万元	正向
		人均 GDP	b_6	元	正向
		城镇恩格尔系数	b_7	%	负向
	经济结构	第三产业贡献率	b_8	%	正向
		外贸依存度	b_9	%	负向
城市工程系统	基础设施水平	全社会用电量	c_1	万千瓦小时	正向
(URT)		公路线路里程	c_2	公里	正向
		供水管道长度	c_3	公里	正向
		人均避难场所面积	c_4	平方米/人	正向
		公共交通客运量	c_5	万人次	正向

		个人汽车拥有量	c ₆	辆	正向
		全市移动电话用户	c ₇	万户	正向
		互联网用户	c ₈	万户	正向
	技术创新能力	农业机械总动力	c ₉	万千瓦	正向
		专利授权量	c ₁₀	件	正向
城市生态系统	资源利用水平	能源效率	d ₁	吨标煤/万元	正向
(URC)		人均水资源	d ₂	立方米/人	正向
		生活垃圾无害化处理率	d ₃	%	正向
	环境治理能力	绿化覆盖率	d ₄	%	正向
		污水处理率	d ₅	%	正向
		工业固体废物利用率	d ₆	%	正向
		PM10 浓度	d ₇	微克/立方米	负向
		二氧化硫排放量	d ₈	万吨	负向

确定指标对体系的影响，其数学表达式为：

$$c_k = \delta_k \sum_{j=1}^n (1 - |r_{jk}|), k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

c_k 表示 k 个评价指标对相应体系的影响程度， δ_k 表示第 k 个评价指标的标准差，当 c_k 值越大，说明第 k 个评价指标对该体系的影响程度就越大，该指标的相对重要性就越明显，反之越小； $|r_{jk}|$ 表示第 j 个评价指标与第 k 个评价指标之间的相关系数。

确定指标的权重，即将差异性系数归一化处理，则：

$$W_k = \frac{C_k}{\sum_{k=1}^n C_k}, k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

W_k 为 k 个评价指标的客观权重。

2.1.2 城市韧性测度模型

在城市韧性测度模型中， A_1, A_2, A_3, A_4 分别代表城市社会、经济、工程、生态韧性权重，UR 代表城市韧性总体水平，URS 代表

城市社会韧性水平，URE 代表城市经济韧性水平，URT 代表城市工程韧性水平，URC 代表城市生态韧性水平。由此，城市韧性总体最终测算表达式为：

$$UR = A_1 \times URS + A_2 \times URE + A_3 \times URT + A_4 \times URC$$

(4)

2.2 面板数据 VAR 模型

面板 VAR 模型由 Douglas 等^[7]提出。在数据特点方面，该模型不仅包含了更多样本，还克服截面数据可能存在的异方差问题
和时间序列数据可能存在的自相关问题，避免由于忽略变量而产生的有偏估计^[8]。本文建立省会城市韧性的面板向量自回归模型，
探讨气候变化对于省会城市韧性的影响，相关指标主要选取气温与降水因素^[8]。具体模型如下：

$$y_t = a_1 y_{t-1} + \cdots a_p y_{t-p} + p_t, t = 1, 2, \cdots T$$

(5)

其中 y_t 是 k 维内生变量列向量； p 为滞后阶数， T 为样本量； p_t 是 k 维扰动列向量。

2.2.1 面板数据的单位根检验

通过采用面板单位根检验的方法。本文同时利用 Levin-Lin-Chu 检验 (LLC 检验) 和 Im-Pesaran-Shin 检验 (IPS 检验) 方法对
变量进行检验，结果表明原始变量或差分后的变量平稳，结果见表 2。

基于单位根检验结果，变量序列单位根分为原序列平稳和一阶差分后平稳。不符合非平稳序列的协整检验条件，因此在本研
究中不进行协整检验，直接采用一阶差分平稳的方式进行后续分析。

表 2 变量的单位根检验

变量	检验方式	
	LLC 检验	IPS 检验
UR	-15.9429*** (1)	-12.4609*** (1)
x ₁	-8.93781*** (0)	-6.33521*** (0)
x ₂	-14.3219*** (1)	-11.3603*** (1)

注：***表示变量的显著性 p 值在 1% 的显著性下显著。(0)、(1) 分别指原始序列平稳、原始序列不平稳但基于序列的一阶差分
后达到平稳。下同。

2.2.2 最优滞后期的选择

由于所选的滞后期越长，VAR 模型的自由度越低、解释力也就越差，但是滞后阶数过短也会使检验结果不可靠，因此需要选取合适的滞后期。滞后期选择的准则主要有贝叶斯信息量准则(BIC)、赤池信息量准则(AIC)和汉南-奎因信息量准则(HQIC)。三种准则的判定结果如表 3 和表 4 所示。从结果可以看出，基于面板数据的 VAR 模型结果在三种准则下，均判定 UR 与 x_1 、 x_2 之间的最优滞后期为 3 期。这表明气温和降水对省会城市韧性产生了长时间影响。

表 3 x_1 与 UR 滞后期选择

滞后期	BIC	AIC	HQ
1	1.28e-07	-10.19190	-10.16225*
2	1.28e-07	-10.19445	-10.14504
3	1.26e-07*	-10.21448*	-10.14531*

表 4 x_2 与 UR 滞后期选择

滞后期	BIC	AIC	HQ
1	5.02e-07	-8.829558	-8.799913
2	4.92e-07	-8.849414	-8.800005
3	4.71e-07*	8.892030*	8.822857*

2.3 数据来源

本文数据主要来源于国家统计局、中国城市统计年鉴、各省市统计局网站、各省市统计年鉴、各省市统计公报等。其中，环境数据主要来源于中华人民共和国生态环境部网站、各省市《环境保护公报》；能源数据主要来源于中国能源统计年鉴；人口数据主要来源于中国人口统计年鉴；专利数据来源于国家知识产权局、城市统计年鉴，极少数缺失数据则使用插补法拟合数据。

3 中国省会城市韧性的演变趋势及影响因素分析

3.1 时空演变分析

从整体方面来看，自 1998—2017 年以来，中国省会城市韧性水平整体呈上升趋势，但其变化规律则呈现较大差异，30 个省会城市韧性发展并未形成统一路径(见图 1)。

30 个城市平均韧性从 0.31 上升至 0.51, 增长率为 64.5%, 在过去 20 年间，北京、南京、郑州、广州和成都 4 个城市整体韧性水平超过平均水平，这表明这 5 个城市的韧性在 30 个城市中处于较高和稳定的水平；而杭州、长沙、重庆则后来居上，从低于平均韧性水平的城市赶超成为高于平均韧性水平的城市。自 2012 年国务院批复《中原经济区规划(2012—2020 年)》以来，中原经济区发展中的核心和引领作用在郑州市逐渐显现，郑州航空港经济综合实验区、国家“一带一路”重要节点城市、“郑洛新”国家自主创新示范区等相关城市功能的健全，由经济增长辐射到各个方面，加快了城市韧性的提升。

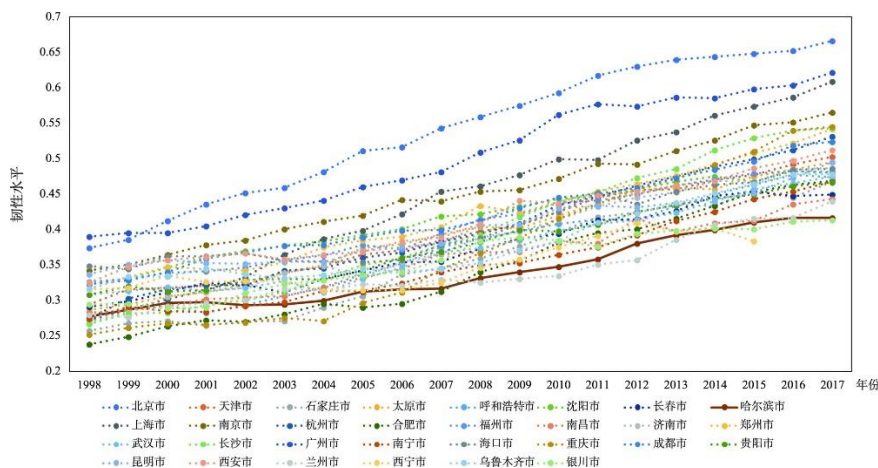


图 1 1998—2017 年中国省会城市韧性发展水平的动态变化

从不同城市变化来看, 1998 年韧性最高的城市为广州, 水平为 0.39; 合肥的韧性水平为 0.24, 位列 30 个城市的最后。2017 年, 韧性水平最高的城市为北京, 水平为 0.67, 较 1998 年相比增幅为 71.79%; 银川韧性为 30 个城市中最低, 其韧性水平变化从 0.29 到 0.41, 增长率达 41.38%。上海市韧性从 1998 年的 0.27 上升至 2017 年的 0.61, 增幅达 123.92%, 为 30 个城市变化幅度最高; 西宁在 1998—2015 年间韧性变化程度最小, 从 0.32 增至 0.38, 增幅为 21.52%。排名靠后的省会城市大多位于东北和西北地区, 与现阶段我国经济发展水平程度较为一致。

在空间方面, 1998—2017 年省会城市韧性整体水平呈现从各区域相对均衡的特征逐渐演化为东部高、西部低, 南部高、北部低的特征, 这一特征从 2003 年之后表现得更为明显。沿海地区的省会城市始终保持较高的韧性水平。长三角和珠三角区域的韧性水平高于京津冀地区的韧性水平。城市韧性在经济带地区依托经济发展带动技术的进步、创新能力的提升、资源配置水平的增强。在区域内部实现了社会、经济、工程和生态要素的梯度转移, 促进了城市韧性综合水平的提升。而东北和西部地区在经济、地理距离的局限下, 生产力、技术水平与发达地区相比存在一定差距。

3.2 气候因素对中国省会城市韧性的影响分析

脉冲响应函数常被用来研究一种变量的变化引起的冲击对其他变量造成短期及长期的影响。本文根据前文面板 VAR 模型的回归结果, 模拟了气温、降水对城市韧性的脉冲响应函数(见图 2)。

图 2(a)为城市韧性对气温的脉冲响应路径。给气温一个正单位的冲击, 其对城市韧性的正向影响存在滞后效应。在前 2.5 年为负向影响, 表明现阶段的气温上升会影响城市韧性, 需进一步加强城市应对气候变化的能力。伴随着气温的变化, 在 3 年达到正向效应的峰值, 对城市韧性的提升有积极作用。

图 2(b)为城市韧性对降水的脉冲响应路径。给降水一个正单位的冲击, 城市韧性与降水在前 2.5 年产生了正向影响, 从 3 年之后出现并一直保持负面效应。对于依靠水资源发展的省会城市来说, 降水的提升能够满足城市发展的同时, 在降水量增加的初期提升城市韧性。与此同时, 自“十二五”以来, 我国城市市政基础设施投入力度持续加大, 累计完成投资 95 万亿, 比“十一五”时期投资增长近 90%, 基础设施能力不断提高也在很大程度上能够保障城市应对极端降水天气带来的破坏的能力。此外, “海绵城市”试点城市的建设对于城市韧性的提升也起到了积极作用。

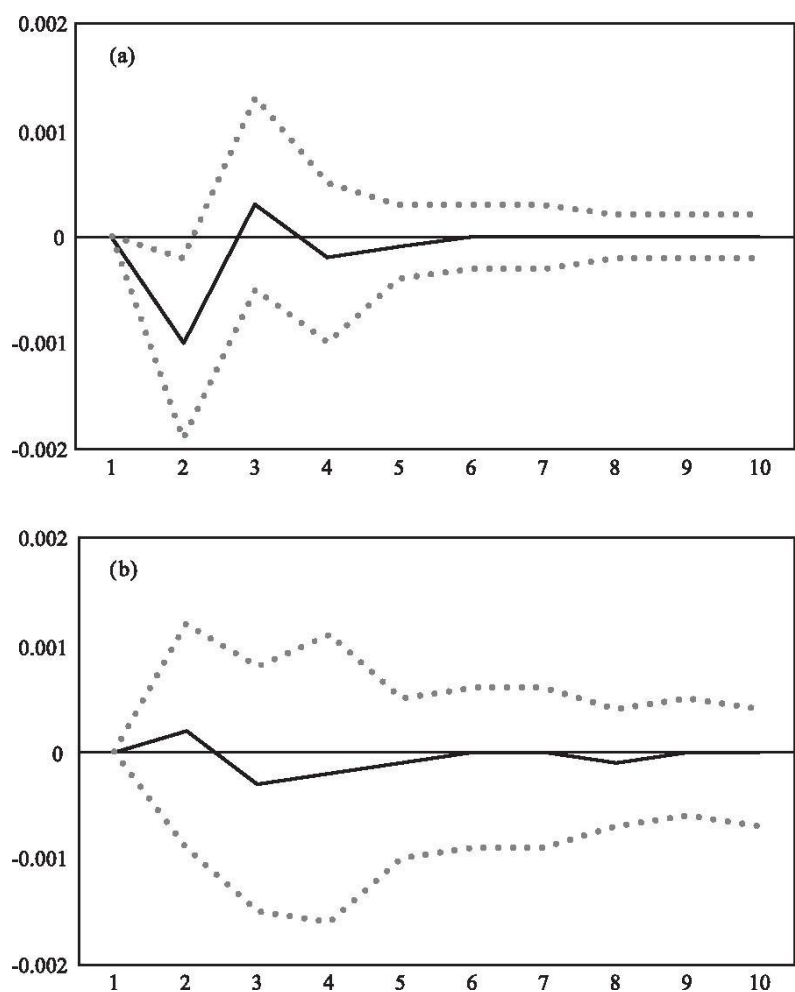


图 2 各变量与城市韧性间的脉冲响应曲线图

4 结论

本文通过梳理城市韧性的研究框架及指标体系，构建以城市社会、经济、工程和生态系统为基础，涵盖 9 个方面 37 个指标的中国城市级别韧性指标体系。在测度 1998—2017 年我国 30 个省会城市韧性水平的基础上，探讨气温、降水对于城市韧性的影响作用，具体结论如下：

在时间上，30 个省会城市韧性的发展并未形成统一路径。截止到 2017 年，韧性水平较高的城市为北京、广州、上海和南京，均处于我国经济发达的地区；城市韧性排名靠后的城市为长春、南昌、兰州、哈尔滨、银川和西宁，这些省会城市大多位于我国东北和西北地区；在空间上，省会城市韧性水平从相对均衡的特征逐渐演化为东部高、西部低，南部高、北部低的特征，这一特征从 2003 年之后表现得更为明显。城市韧性在经济带地区依托经济发展带动技术进步、创新能力的提升、资源配置水平的增强在区域内部实现了多种要素的梯度转移，促进了城市韧性综合水平的提升。

从面板数据 VAR 模型影响因素分析结果来看，降水量的增加在短时间内将会提升城市韧性；气温的升高对城市韧性的提升起到了负面效应。

参考文献：

-
- [1]季曦冉.弹性城市理念下的防洪海绵景观规划设计研究[D].北京:北京交通大学,2018.
- [2]陈德亮,秦大河,效存德,等.气候恢复力及其在极端天气气候灾害管理中的应用[J].气候变化研究进展,2019,15(2):167-177.
- [3]赵丹,杨兵,何永,等.城市韧性评价指标体系探讨——以北京市为例[J].城市与减灾,2019(2):29-34.
- [4]陈轶,葛怡,陈睿山,等.气候变化背景下国外城市韧性研究新进展——基于 citespace 的文献计量分析[J].灾害学,2020,35(2):136-141.
- [5]FOUNDATION R.City resilience framework[EB/OL]. [2021-07-19].[Http://www.rockefeller foundation.org/app/uploads/City-Resilience-Framework1.pdf](http://www.rockefeller foundation.org/app/uploads/City-Resilience-Framework1.pdf),2014.
- [6]张立军,张潇.基于改进 CRITIC 法的加权聚类方法[J].统计与决策,2015(22):65-68.
- [7]HOLTZ-EAKIN D,NEWAY W,ROSEN H S,et al.Estimating Vector Autoregressions with Panel Data[J].Econometrica,1988,56(7):1371-1395.
- [8]KIM D,SONG S K.Measuring changes in urban functional capacity for climate resilience:Perspectives from Korea[J].Futures,2018,102(SEP):89-103.