

引用格式:肖黎明,张颖,戴胜利,等.中国城市经济韧性及其对极端天气的响应[J].资源科学,2026,48(4):981-998.[Xiao L M, Zhang Y, Dai S L, et al. Urban economic resilience in China and its response to extreme weather[J]. Resources Science, 2026, 48(4): 981-998.] DOI: 10.18402/resci.2026.04.16

# 中国城市经济韧性及其对极端天气的响应

肖黎明<sup>1</sup>, 张颖<sup>1</sup>, 戴胜利<sup>2</sup>, 张振华<sup>3</sup>

(1. 山西师范大学经济与管理学院, 太原 030031; 2. 暨南大学公共管理学院/应急管理学院, 广州 510632; 3. 兰州大学经济学院, 730000)

**摘要:**【目的】有效应对极端天气冲击、增强经济韧性已成为经济高质量发展的迫切需要。本文旨在探讨中国城市经济韧性动态演变规律及其对极端天气冲击的具体响应,为迈向高质量发展的中国经济提供理论和经验支持。【方法】本文基于2011—2021年中国280个地级及以上城市的面板数据,利用熵值法测算经济韧性,以极端气候事件发生比率度量极端天气发生频率,进而运用标准差椭圆和PVAR模型,考察经济韧性的时空分异特征及其对极端天气的响应情况。【结果】①中国城市经济韧性整体随时间演化不断增强,在空间分布上整体表现为“东部>中部>西部>东北”;同时,其空间分布呈现出以河南为重心的“东北-西南”向演变趋势。②PVAR模型回归结果显示,无论是全国还是区域层面,城市经济韧性均对极端天气呈现负向响应。③方差分解结果显示,城市经济韧性对极端高温的响应程度最大,极端降水次之,极端低温最小,且不同区域经济韧性对极端天气的响应状态存在异质性。【结论】中国经济韧性整体处于上升状态,但极端天气仍对其构成显著且持续的负向冲击,亟须将气候变化嵌入宏观经济治理体系,增强经济系统抵御与适应气候风险的内生能力,推动经济朝着更具韧性的方向发展。

**关键词:**经济韧性;极端天气;标准差椭圆;PVAR模型;时空演变;响应;中国

DOI: 10.18402/resci.2026.04.16

## 1 引言

建设强大而有韧性的国民经济循环体系是构建新发展格局的内在要求。纵观改革开放以来的发展历程,这种强大的韧性正是中国经济得以从每一次外部冲击中迅速恢复的关键所在。但近年来,持续的气候变暖加剧了大气系统的不稳定性,导致极端天气事件愈发频繁剧烈,对经济活动的威胁也日益凸显<sup>[1]</sup>。数据显示<sup>[1]</sup>,自21世纪以来,我国因极端天气造成的经济损失平均每年高达3000亿元,已严重影响到经济的可持续发展。对此,2022年生态环境部等17部门联合印发《国家适应气候变化战略

2035》,明确提出要进一步强化经济社会系统适应气候变化能力。事实上,经济韧性一直是抵御天气灾害冲击、重塑可持续增长动力的关键支撑。而城市作为动态演化的自然与社会复合载体,承载着人口集聚与经济繁荣的核心功能。因此,面对极端天气冲击日趋频繁与剧烈的现实,系统揭示中国城市经济韧性的时空演变特征及其对极端天气的响应情况,有助于从根本上增强经济系统抵御外部气候冲击的能力,对于美丽中国建设和经济高质量发展具有重要的现实意义。

与本文密切相关的文献主要有两支:①经济韧

收稿日期:2025-02-27;修订日期:2025-11-13

基金项目:国家自然科学基金项目(72304124);山西省哲学社会科学规划重大课题(2024ZD0140);教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目(23JZD019)

作者简介:肖黎明,男,山西吉县人,博士生导师,研究方向为区域绿色创新与发展。E-mail: xiaolm1972@163.com

通讯作者:张振华,男,山东泰安人,教授,研究方向为资源环境治理。E-mail: zhangzhenhua@lzu.edu.cn

注:第二十八届中国科协年会学术论文。

① <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1644982067427384058&wfr=spider&for=pc>。

性的测度及影响因素研究。经济韧性涵盖多个方面,包括产业韧性、组织韧性、能源韧性等<sup>[2-5]</sup>,其界定目前主要有“均衡论”和“演化论”两种观点<sup>[6,7]</sup>。在此基础上,已有研究多采用核心变量法或指标体系法对经济韧性展开测算。其中,核心变量法主要基于不同的外部冲击(国际金融危机、地缘政治风险等),选择GDP、就业人数等敏感性指标进行测算<sup>[8-11]</sup>;而指标体系法因能够全面刻画经济韧性各维度的内涵而深受学者青睐<sup>[12-16]</sup>。此外,鉴于经济韧性的丰富内涵,其影响因素是多元的。已有研究表明,数字经济、创新、集聚以及空间结构等是促进经济韧性提升的重要因素<sup>[17-21]</sup>。同时,相关研究还关注了金融危机、新冠疫情等事件对经济韧性的冲击<sup>[22,23]</sup>,以此为不利冲击下锻造经济韧性提供参考<sup>[24]</sup>。②极端环境事件对地区经济发展及经济韧性的作用效果研究。首先,对地区经济发展的影响。已有研究通常认为极端环境事件会通过破坏基础设施、降低农业产出、影响工业产能,为地区经济发展带来短期波动。如有学者讨论了极端天气对粮食生产的不利后果<sup>[25]</sup>,证实冻害和热浪会造成粮食减产<sup>[26]</sup>,由此影响农业经济。一方面,宏观层面的证据表明,高温天气会显著降低经济增长<sup>[27]</sup>和劳动生产率<sup>[28]</sup>,尤其是暴雨冲击会显著降低城市经济增长率<sup>[1]</sup>;另一方面,微观层面的证据则认为,极端天气会降低公司的市场价值<sup>[29]</sup>,甚至影响国家的经济增长速度<sup>[30]</sup>,由此扩大国家间的贫富差距<sup>[31]</sup>。不仅如此,极端降雨还会促进降雨敏感企业积极调整<sup>[32]</sup>并作用于高管的减持行为<sup>[33]</sup>。可见,极端环境事件会损害经济社会的有序健康发展<sup>[34]</sup>,对经济发展的作用表现出“短期冲击-长期结构转型”的特征,且其强度取决于地区治理能力、保险市场成熟度及技术适应性。基于此,学者进一步从极端环境事件造成的间接经济损失入手,利用投入产出模型以及气候综合变化评估模型中的DICE模型对这一损失进行评估<sup>[35-37]</sup>,并指出极端天气事件风险分析应将间接经济损失评估纳入其中。其次,对经济韧性的影响。直接针对经济韧性的研究还相对较少,但有部分学者关注了其他韧性对极端天气的响应,主要集中于互联网服务韧性<sup>[39]</sup>、供电韧性<sup>[40]</sup>、能源韧性<sup>[41]</sup>、城市韧性<sup>[42]</sup>等对极端天气的响应特征。Peters等<sup>[38]</sup>

直接探讨了城市可持续增长水平对极端天气的响应,发现地方金融结构可以解释城市应对极端天气的抵抗力与恢复力差异。

综上所述,已有研究围绕经济韧性的水平测度、影响因素,以及极端环境事件等外部冲击对经济发展的影响,开展了富有成效的讨论,但仍存在如下不足:首先,现有研究多关注数字经济、创新、集聚和空间结构等经济社会系统内生结构因素对经济韧性的影响,较少考察极端天气的作用,尤其未能明晰经济韧性对极端天气的响应程度。其次,虽有研究关注到了极端环境事件对经济发展的不利后果,但多聚焦其造成的经济社会损害,未进一步探讨经济韧性对极端天气的响应机制,更缺乏对不同区域差异化响应的深入分析。基于此,本文利用中国2011—2021年280个城市的面板数据,在构建经济韧性评价指标体系的基础上,借助标准差椭圆模型剖析中国经济韧性的时空演变特征,进而运用PVAR模型考察不同区域经济韧性对极端天气的响应情况,以期为极端天气下中国城市经济韧性的提升提供经验证据。与已有研究相比,本文可能的边际贡献在于:第一,从外生冲击视角,实证检验经济韧性对极端天气的响应情况,从而拓展了经济韧性影响因素的研究范畴,为经济高质量发展提供实践参考。第二,基于极端天气的类型差异,分析经济韧性对极端天气响应的区域异质性,为差别化制定极端天气冲击下的经济韧性提升政策提供参考依据。

## 2 机理分析

根据适应性循环理论,经济韧性是指经济系统在受到外部冲击后能够有效抵御风险的能力,以及将经济发展水平恢复到冲击发生前的能力,进而适应外部环境变化、重新配置资源,调整产业结构、优化生产经营模式,最终实现转型发展的能力<sup>[14-17]</sup>,即抵抗释放能力、恢复重组能力、调节适应能力与转型发展能力。基于此,本文认为极端天气事件作为一种慢性燃烧的累积性危机,尽管短期内会对经济系统造成破坏,但经济系统会随着危机不断积累而持续进行自我调整,进而通过重新配置资源、转变产业结构来适应外部环境变化,最终实现长期稳定增长。经济系统的韧性结构对极端天气的响应,具

2026年4月

体可从以下几个维度分析:

第一,极端天气下的抵抗释放能力。抵抗释放能力反映了经济系统在灾害冲击下维持基本功能运转的即时应对能力,其中风险吸收与风险抵抗是核心要义。一方面,受极端天气冲击的影响,金融业发展会面临诸多波动,如高温天气导致的电力中断或降水引发的金融基础设施损坏<sup>[34,43]</sup>,这些都会影响信贷供给稳定性。另一方面,极端天气会对居民生活产生多维度负向冲击。在极端高温和极端低温天气的冲击下,户外劳动效率会降低,人力资本产出弹性也会随之下降<sup>[44]</sup>,同时居民的户外消费活动也会受到抑制;此外,极端天气还会与农业减产叠加,引发食品价格波动,进一步削弱消费韧性。而居民储蓄同样会受到极端天气的负向冲击,如在灾后重建阶段,由于应急支出的增加,居民储蓄会被动消耗,尤其是低温灾害导致的能源支出激增与降水引发的财产损失<sup>[45,46]</sup>,会显著降低储蓄缓冲能力。不仅如此,极端天气还可能通过影响供应链而对出口导向型经济体产生非对称冲击,如极端天气可能导致港口运营停滞、交通网络瘫痪等,进而影响出口业务的正常开展。

第二,极端天气下的恢复重组能力。恢复重组能力反映的是在灾害发生后,经济系统恢复增长动能以及要素配置效率再平衡的能力。从具体经济指标来看,人均GDP是衡量经济发展的核心产出指标。在灾害当期,由于直接损失的影响,人均GDP会出现骤降<sup>[47]</sup>。与此同时,宏观产出的冲击进一步传导至劳动力市场,常导致职工平均工资的恢复存在滞后性。这是因为极端天气中的高温会导致劳动生产率下降,由此延缓了收入水平的修复进程。另一方面,极端天气还会通过迫使企业停产减产,加剧结构性失业问题。但值得肯定的是,失业保险在一定程度上凸显了社会保障网络对劳动力市场稳定的支撑效应。此外,恢复重组能力的实现高度依赖财政资源的再分配效率<sup>[48]</sup>,因为财政资源能否高效再分配,直接关系到经济系统能否顺利恢复增长动能、实现要素配置效率再平衡,这一关键因素也为后续分析调节适应能力奠定了基础。

第三,极端天气下的调节适应能力。调节适应能力体现了经济系统通过制度创新与要素重构应

对长期风险的动态能力。在这一能力框架下,多个指标和因素发挥着关键作用。首先,财政自给率是衡量地方政府应急能力的重要指标,因为在极端天气事件发生时,地方政府需要投入大量资金用于救灾,这往往会导致救灾支出激增,进而使财政自给率下降<sup>[49,50]</sup>。其次,固定资产投资总额在灾后阶段呈现出双重属性,具体表现为:它既是恢复重建的被动投入,用于修复受损的基础设施和建筑等;也是主动适应的预防性投资,旨在提升经济系统对未来风险的抵御能力<sup>[23]</sup>。再次,人力资本韧性是调节适应能力的重要组成部分,而健康与教育是作为衡量人力资本韧性的关键指标<sup>[15]</sup>。其中,健康水平直接关系到医疗保障能力,决定了灾害发生时的伤员救治效率;教育水平则塑造了创新潜能储备,为经济系统的长期发展提供人才支撑。最后,极端天气还会通过影响要素配置来干扰经济系统的正常运行。具体而言,高温引发的热射病病例增加会挤占原本就紧张的医疗资源,降低医疗系统的运行效率;而降水导致的校园损毁则会威胁教育的连续性,影响人才培养的进程<sup>[33,36]</sup>。但危机往往也蕴含着机遇,会倒逼智慧医疗系统建设,提升医疗服务的智能化水平,同时推动在线教育模式创新,保障教育在特殊时期的正常开展。

第四,极端天气下的转型发展能力。转型发展能力刻画了经济系统向可持续发展模式跃迁的潜力,揭示了数字化与绿色化转型的双重导向。在极端天气的影响下,互联网通信基础设施呈现出复杂的非线性响应,加速了远程办公、电子商务等数字新业态发展,企业借线上办公维持运营,消费者因出行不便而转战线上购物<sup>[12,14]</sup>。但与此同时,极端天气会直接导致互联网通信基础设施损毁,进而造成短期服务中断,干扰经济活动的正常开展。实际上,极端天气不仅影响互联网通信基础设施,还会对服务业和高污染行业产生作用。从服务业来看,极端天气造成的灾害损失会倒逼其韧性升级(如发展气象保险、应急物流)。而对于高污染行业,为预防灾害而实施的强环境规制政策,可能会加速其退出市场,推动经济结构向更绿色、更可持续的方向调整<sup>[24]</sup>。更为重要的是,在转型发展能力的实现过程中,存在着“破坏性创造”效应,如低温灾害会导

致传统能源需求激增,降水则会加剧城市雨水径流调控压力,这些看似不利的情况,却可能成为推动新能源技术研发与水循环经济模式创新的政策诱因。

### 3 方法与数据

#### 3.1 统计方法

##### 3.1.1 标准差椭圆

参考以往研究<sup>[16]</sup>,本文采用标准差椭圆分析法揭示中国城市经济韧性的空间格局演化特征,相关计算公式为:

(1)重心:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{280} w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

式中: $(x_i, y_i)$ 为城市*i*的经纬度坐标; $w_i$ 为城市*i*的经济韧性值; $(\bar{X}, \bar{Y})$ 为加权平均的重心坐标。

(2)方位角:

$$\tan \theta = \frac{\left( \sum_{i=1}^n w_i^2 \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n w_i^2 \tilde{y}_i^2 \right) + \sqrt{\left( \sum_{i=1}^n w_i^2 \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n w_i^2 \tilde{y}_i^2 \right)^2 + 4 \sum_{i=1}^n w_i^2 \tilde{x}_i \tilde{y}_i}}{\sum_{i=1}^n 2w_i^2 \tilde{x}_i \tilde{y}_i} \quad (2)$$

式中: $\tan \theta$ 为方位角; $\tilde{x}_i, \tilde{y}_i$ 为各点距离重心的相对坐标。

(3)*X*、*Y*轴标准差:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^n (w_i \tilde{x}_i \cos \theta - w_i \tilde{y}_i \sin \theta)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2}}, \quad (3)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^n (w_i \tilde{x}_i \sin \theta + w_i \tilde{y}_i \cos \theta)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2}}$$

式中: $\sigma_x, \sigma_y$ 分别为椭圆*x*轴和*y*轴的标准差。

(4)坐标偏差:

$$x_i^* = x_i - \bar{X}, y_i^* = y_i - \bar{Y} \quad (4)$$

式中, $x_i^*, y_i^*$ 分别为*i*城市到平均重心的经度和纬度偏差。

(5)椭圆面积:

$$S = \pi \sigma_x \sigma_y \quad (5)$$

式中: $S$ 为标准差椭圆的面积; $\sigma_x, \sigma_y$ 分别为椭圆*x*轴和*y*轴的标准差。

##### 3.1.2 面板向量自回归模型(PVAR模型)

PVAR模型能够充分考虑模型中所有变量的滞后项<sup>[51]</sup>,兼具时间序列与面板数据分析的优势,同时有效放宽了VAR模型对时间序列数据长度的严格限制<sup>[52]</sup>。因此,本文运用PVAR模型来考察极端天气对经济韧性的动态影响。模型设定如下:

$$Q_{it} = P_0 + \sum_{j=1}^n P_j Q_{it-j} + \alpha_i + \beta_t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

式中: $Q_{it}$ 为包含经济韧性与极端天气的二维列向量,其中*i*为城市、*t*为年份; $P_0$ 为截距项向量; $n$ 为滞后阶数; $j$ 为滞后期数; $P_j$ 为滞后*j*阶的参数矩阵; $Q_{it-j}$ 为第*j*阶滞后项的 $Q_{it}$ ; $\alpha_i, \beta_t$ 分别为个体固定效应和时间固定效应; $\varepsilon_{it}$ 为随机误差项。

### 3.2 指标测算方法与数据来源

#### 3.2.1 经济韧性测算

目前,学术界多从演化论视角界定经济韧性,认为区域经济韧性本质上是区域经济系统在遭遇外部冲击时,能够有效抵御冲击、恢复自身稳定,并借助持续的适应调节实现经济转型发展的能力<sup>[14-16,22]</sup>。根据这一内涵,参考已有成果<sup>[14]</sup>,同时结合前文机理分析,从抵抗释放能力、恢复重组能力、调节适应能力、转型发展能力4个维度构建经济韧性评价体系(表1),进而采用熵值法<sup>[53]</sup>对城市经济韧性(*er*)进行测算。为确保指标体系构建合理,进行如下说明。

(1)抵抗释放能力。一般而言,区域经济基础影响着某一经济系统应对冲击时的抗压能力与恢复水平<sup>[53]</sup>,且经济总量越大,经济韧性越强<sup>[54]</sup>,因此可从经济系统的总量和结构方面来构建抵抗释放能力指标,具体包含风险吸收能力与风险抵抗能力。其中,在风险吸收能力方面,本文从经济系统整体规模出发<sup>[55]</sup>,选取年末金融机构存贷比与社会消费品零售总额两个指标进行表征。前者是衡量金融机构资金流动性与信贷规模的关键指标,其水平直接影响资金运用效率与盈利能力;后者作为反映宏观经济运行状况的重要变量,其数值高低直接

表1 城市经济韧性综合评价指标体系

Table 1 Comprehensive evaluation indicator system for urban economic resilience

一级指标	二级指标	三级指标	权重	指标属性
抵抗释放能力	风险吸收	年末金融机构存贷比/%	0.011	正向
		社会消费品零售总额/万元	0.119	正向
	风险抵抗	城乡居民储蓄余额/万元	0.118	正向
恢复重组能力	经济增长	外贸依存度/%,即进出口总额占GDP比重	0.002	负向
		人均GDP/元	0.041	正向
		职工平均工资/元	0.014	正向
	经济稳健	城镇登记失业率/%	0.009	负向
		失业保险参保人数/万人	0.161	正向
调节适应能力	组织适应	财政自给率/%,即地方财政收入与地方财政支出的比率	0.030	正向
		固定资产投资总额/万元	0.078	正向
	要素配置	医院、卫生院床位数/张	0.062	正向
		普通高等学校在校学生数/万人	0.169	正向
转型发展能力	信息技术	国际互联网用户数/万户	0.093	正向
		移动电话用户数/万户	0.081	正向
	转型支撑	第三产业占GDP比重/%	0.013	正向
		工业烟粉尘排放量/t	0.000	负向

体现国内消费需求强度。在风险抵抗能力方面,借鉴相关研究<sup>[15]</sup>,从居民生活与对外贸易两个角度选取城乡居民储蓄余额与外贸依存度进行测度。城乡居民储蓄余额能够反映居民经济状况、消费水平及整体抗风险能力,相较于城乡人均收入与消费更具代表性;外贸依存度则用于衡量地区经济对外贸的依赖程度,该值越高,表明经济系统抵御贸易冲击的能力越弱。

(2)恢复重组能力。参考相关研究<sup>[16,56]</sup>,主要从经济增长和经济稳健两个方面选取指标以表征恢复重组能力。具体而言,选取人均GDP与职工平均工资反映经济增长水平,选取城镇登记失业率与失业保险参保人数反映经济稳健程度。这是由于,经济总量与平均工资水平能够分别从宏观与微观层面体现经济发展水平,为经济系统在冲击后实现恢复提供基础。而经济的稳健程度则是影响恢复重组过程能否顺利推进的关键因素。

(3)调节适应能力。经济韧性不仅包括在遭受冲击时的抵抗与恢复能力,还涵盖后续通过积极调节与转型以实现长期可持续发展的能力<sup>[7,23]</sup>。调节适应能力主要体现在组织适应与要素配置两方面。在组织适应方面,借鉴已有研究<sup>[14]</sup>,选取财政自给率与固定资产投资总额进行表征。其中,财政自给率

体现地方政府的财政自主能力,其值越高,越有利于为冲击后的经济调节提供资金支持;固定资产投资总额则反映资本持续投入规模,是经济调节与增长的重要动力。在要素配置方面,选取医院、卫生院床位数与普通高等学校在校学生数进行表征。医疗与教育作为基础性服务行业,既关乎社会福祉,也是推动经济发展的重要力量。

(4)转型发展能力。该能力主要体现在信息技术与转型支撑两个方面。随着数字经济对经济社会发展的引领支撑作用日益凸显<sup>[14]</sup>,本文从信息技术发展的基础阶段切入,选取国际互联网用户数与移动电话用户数以反映经济系统的信息技术水平。在转型支撑方面,选取第三产业占GDP比重与工业烟粉尘排放量进行刻画。产业结构高级化有助于增强经济系统抵御冲击的能力<sup>[54]</sup>,而第三产业作为现代产业体系中的高级业态,正逐步占据主导地位,成为驱动经济增长的关键力量。此外,为实现低碳转型与可持续发展,需将“绿色化”理念深度融入生产生活,因此选取工业烟粉尘排放量这一负向指标,用以反映工业生产过程中的污染降低程度。

### 3.2.2 极端天气测算

参考潘敏等<sup>[57]</sup>的研究方法,重点选取极端高温、极端低温与极端降水作为极端天气的表征指标,并

采用相对阈值法确定各类极端天气事件的阈值。具体而言,以1971—2000年作为气候基准期,利用该时期内气象台站的逐日观测数据,将各年份相同日期的逐日最高温度与逐日最低温度分别按升序排列,将其第90%分位值与第10%分位值分别定义为极端高温阈值与极端低温阈值;极端强降水阈值则通过将基准期内每年大于0的逐日降水量数据按升序排列,并取第95%分位降水量的30年(1971—2000年)平均值得到。在此基础上,若样本期内某城市某日的最高温度、最低温度或降水量超过对应阈值,即判定该日发生相应的极端高温、极端低温或极端降水事件,进而统计得出每一年中3类极端天气事件的发生天数,最终加总计算得到该年极端天气发生频率( $ew$ )<sup>①</sup>。

### 3.2.3 数据来源

鉴于数据可得性以及部分城市在样本期内存在行政区划变更等情况,本文以2011—2021年<sup>②</sup>中国280个地级及以上城市(因数据缺失未包含港澳台地区及西藏自治区)的面板数据作为研究样本。相关原始数据主要源于历年《中国城市统计年鉴》、各城市统计年鉴及年度统计公报等,少量缺失值用线性插值法补充。其中,极端天气数据来自气象台站逐日观测数据。此外,为便于后文分析,进一步将全国划分为东部、中部、西部和东北四大区域<sup>③</sup>。

## 4 结果与分析

### 4.1 经济韧性的时空演变

#### 4.1.1 时序变化

图1展示了2011—2021年全国及各区域城市经济韧性的时序变化。可以看出,研究期内中国城市经济韧性整体呈逐年上升趋势,均值从2011年的0.066上升至2021年的0.108。分区域而言,东部始终与中、西、东北地区保持着断崖式差距,整体表现为东部>中部>西部>东北。考察期内,东部地区均值从2011年的0.097上升至2021年的0.163,增长率

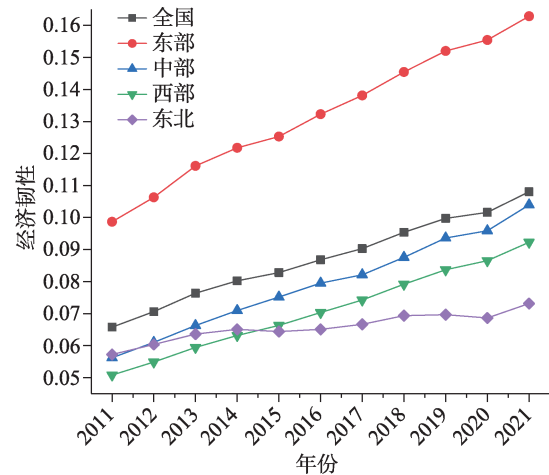


图1 2011—2021年全国及各区域城市经济韧性的时序变化

Figure 1 Temporal changes in urban economic resilience at national and regional levels in China, 2011-2021

为68.04%。相比之下,其他三大区域的经济韧性起点较为接近。2011年,中、西、东北三大区域均值分别为0.056、0.051、0.057。随着中部城市崛起、西部大开发战略的实施,中西部地区逐渐反超东北。其中,中部地区的上升幅度最大,于2021年达到0.104,增长率为84.94%;西部地区上升幅度也较大,2021年为0.092,增长率为81.67%;东北地区在2021年为0.073,增长率仅为27.77%。

#### 4.1.2 空间演变

图2展示了2011—2021年中国城市经济韧性的空间分布<sup>④</sup>。从图2可知,各城市经济韧性均表现出增长态势,但在空间上却存在明显的不平衡现象。其中,处于第五梯队的城市数量始终占总量的一半以上,整体上呈现出“东部>中西部>东北”的分异格局。这在一定程度上说明,经济发展水平较高的城市,其应对外部冲击的能力也相对更强,该结论与已有研究大致相同<sup>[16,58]</sup>。具体来看,2011年与2015年,处于第一梯队的城市为北京、上海、广州和重庆。至2018年与2021年,第一梯队城市数量增

① 将2011—2021年每年的极端气温事件和极端降水事件发生的天数加总,即可得到每年极端气候出现的频次。

② 数据为研究期内可获取的最新数据,能够反映研究期内经济韧性与极端天气的真实关联特征。

③ 四大区域是基于国家统计局的区划标准进行划分的。其中,东部包括北京、上海、广东、浙江、山东、江苏、天津、河北、福建、海南;中部包括安徽、山西、湖北、湖南、河南、江西;西部包括重庆、四川、内蒙古、广西、陕西、宁夏、贵州、云南、甘肃、青海、新疆、西藏;东北地区包括黑龙江、吉林、辽宁。

④ 限于篇幅,仅展示部分年份的经济韧性空间格局。同时,为刻画经济韧性的空间分异,借助ArcGIS 10.5软件中的自然断点功能将各年份的经济韧性划分为5个梯队。

2026年4月

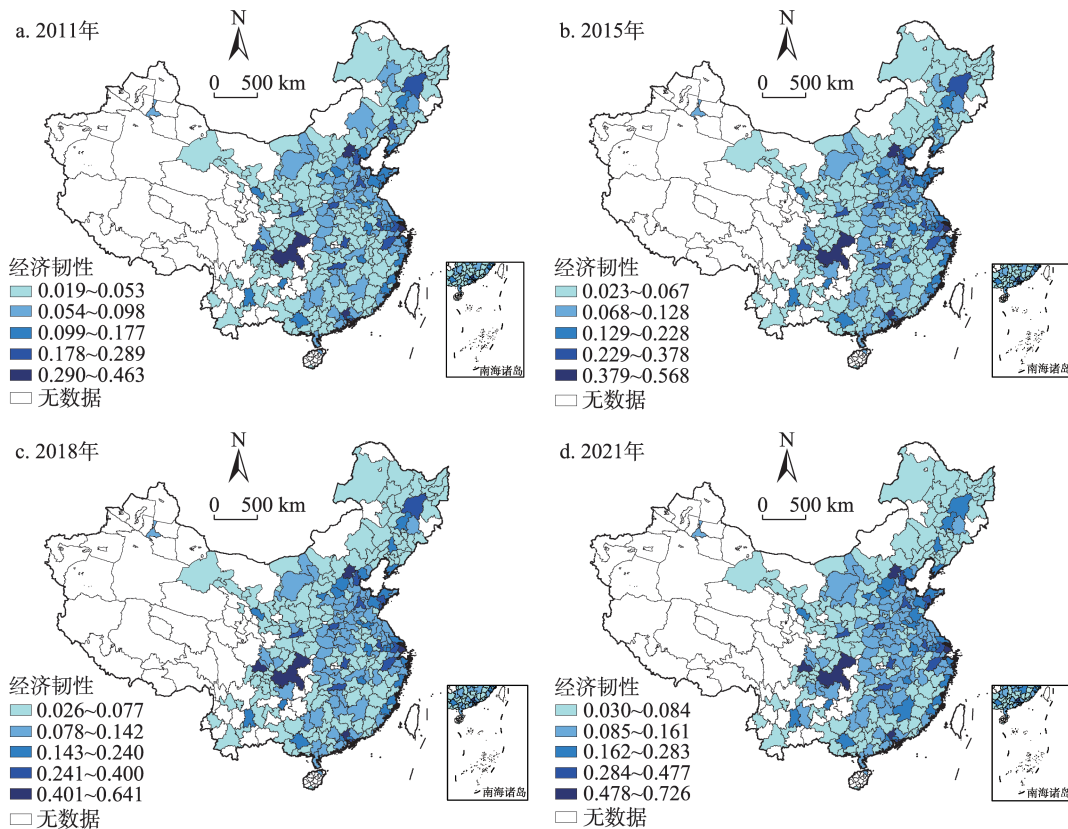


图2 2011—2021年中国城市经济韧性的空间演化

Figure 2 Spatial evolution of urban economic resilience in China, 2011-2021

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2022)1873号的标准地图制作,底图边界无修改。

至5个,包括北京、上海、重庆、广州和成都。在此期间,重庆与成都的经济韧性均有所增强,成都顺利进入第一梯队,而重庆的排名也开始超越广州,升至第三。这一变化可能主要得益于西部大开发战略与成渝地区双城经济圈建设的政策利好叠加。然而,东北地区经济韧性较高的城市数量却持续减少,且所属梯队普遍下降(如哈尔滨、沈阳从第二梯队降至第三梯队),这可能源于该地区传统产业衰退、人口外流以及营商环境有待改善等多重因素<sup>[58]</sup>。

为了更深入地揭示经济韧性的空间演变趋势,进一步借助标准差椭圆分析法进行可视化表达。由图3可知,2011—2021年中国城市经济韧性的重心地理坐标介于114°41'E—115°07'E和32°19'N—32°44'N之间,始终位于河南省内。在此期间,重心位置呈现持续向西移动的趋势,反映出西部地区在西部大开发等政策支持下,经济韧性普遍增强<sup>[22]</sup>。从移动距离与方向来看,重心总计迁移了63.973

km,年均迁移约6.398 km。而重心迁移方向按照迁移距离大小排序为“西偏南(59.898 km)>西偏北(4.075 km)”,总体上呈现出“西偏南”迁移趋势。这表明,西南地区城市经济韧性的高值比例在不断上升。同时,样本期内重心南移距离超过了西移距离,说明南北差距对经济韧性不平衡的影响要大于东中西部之间的横向差距。可能的原因在于,近年来南北经济差距逐渐扩大,已成为中国地区间经济发展不平衡的主要动因<sup>[59]</sup>,并逐步形成“经济增速南快北慢、经济总量占比南升北降”的双重格局<sup>[60]</sup>。这一格局使南方城市经济的恢复与重组能力明显优于北方。南方的经济结构多以劳动密集型和人才密集型产业为主,相较于北方以资本和资源密集型产业为主导的模式,南方城市在就业吸纳能力上远超北方;而北方高度依赖投资拉动的重化工业价值链,也使其经济缺乏韧性<sup>[59]</sup>。此外,自改革开放以来,南方城市逐步营造出优良的营商环境,政商关系实现“亲”上加“清”,同时积极培育新兴产业<sup>[61]</sup>,显

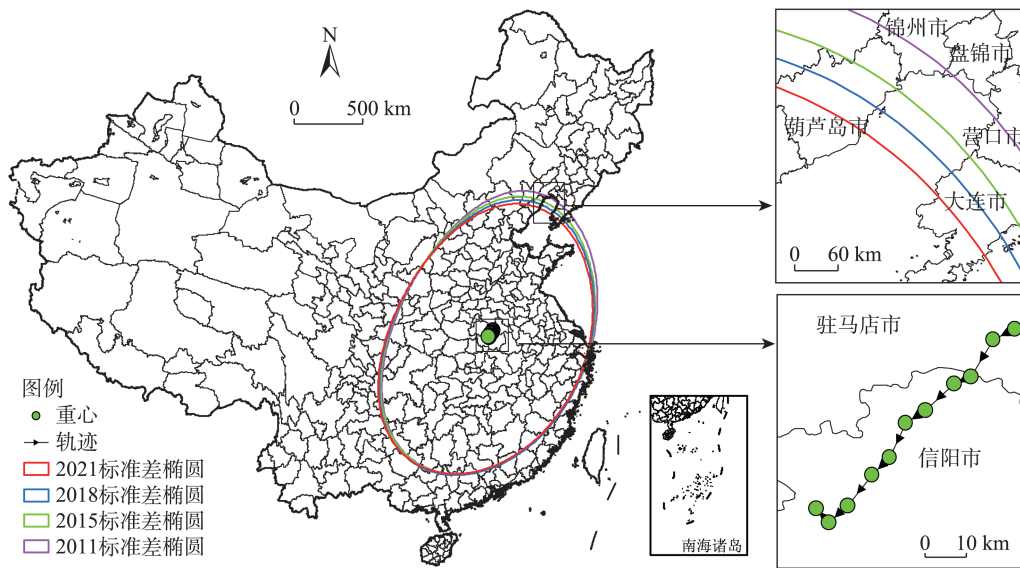


图3 2011—2021年中国城市经济韧性的标准差椭圆

Figure 3 Standard deviation ellipse of urban economic resilience in China, 2011-2021

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2022)1873号的标准地图制作,底图边界无修改。

著提升了其创新与变革能力,这些因素共同为其经济韧性的增强提供了重要支撑。

从标准差椭圆的各项参数来看,2011—2021年的标准差椭圆面积表现为缩小趋势,从232.804万 $\text{km}^2$ 缩小到221.458万 $\text{km}^2$ 。长半轴呈波动下降之势,从1045.070 km下降到1000.910 km,短半轴则表现出先升后降,由2011年的709.120 km波动下降至2021年的704.320 km。这表明城市经济韧性的空间集聚效应显著,逐渐呈现出不断收缩的趋势。方位角呈现上升趋势,于2021年达到 $45.90^\circ$ ,较2011年增长5.01%,表明中国城市经济韧性在空间上呈现出以“东北—西南”方向为主要轴向的分布格局,且标准差椭圆整体呈顺时针方向旋转。而短轴与长轴标准距离的比值则波动上升,表明椭圆形态趋圆,反映出中国城市经济韧性的空间分布均质性正持续增强。

#### 4.2 极端天气的时空演变

图4展示了2011—2021年全国及各区域城市极端天气发生频率的时序变化。从全国层面来看(图4a),研究期内中国极端天气发生频率呈现波动下降趋势,均值从2011年的0.300下降至2021年的0.298。从区域层面来看(图4a),东部、中部、西部及

东北地区的极端天气均值分别为0.280、0.264、0.278、0.293,存在较为明显的地区差异,呈现出“东北最高,东、西部次之,中部最低”的空间格局特征。分年份来看,2012年东北地区一跃成为极端天气发生频率最高的区域,当年降水量为近62年最多,气温也整体偏低。同年,第15号超强台风“布拉万”自辽东半岛登陆,随后脱离海岸线,深入内陆并袭击哈尔滨;该台风强度大、环流范围广,导致经济损失高达31.3亿美元<sup>⑤</sup>。总体而言,目前极端天气事件仍未得到有效缓解,其对经济与生态的破坏仍在持续,甚至可能进一步加剧。

从极端天气的细分类(极端高温、极端低温、极端降水)来看,图4b显示,在全球气候持续变暖的背景下,全国极端高温事件的发生频率在波动中逐年攀升,从2011年的0.141上升至2021年的0.183,增长率为29.79%。分地区来看,中部地区上升幅度最大,高达47.71%;东部次之,为42.60%;西部和东北地区则分别为17.78%和12.79%。此外,东部地区极端高温的发生频率也是最高的,其次为中西部地区,东北地区最低。现实中,在全球气候变暖背景下,阶段性大气环流异常是区域高温天气形成的直接原因。在此类环流配置下,副热带高压系统核心

<sup>⑤</sup> <https://baike.baidu.com/item/%E5%8F%B0%E9%A3%8E%E5%B8%83%E6%8B%89%E4%B8%87/1775374>。

2026年4月

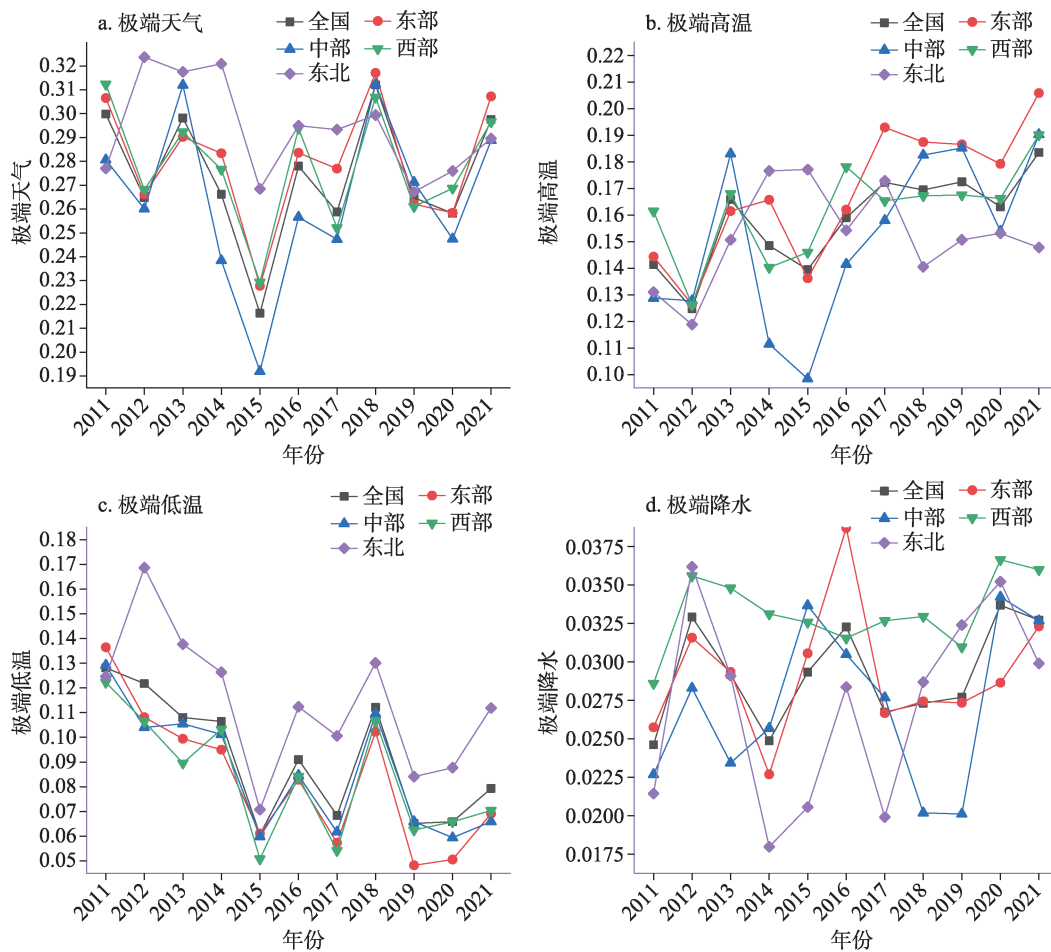


图4 2011—2021年全国及各区域城市极端天气事件发生频率的时序变化

Figure 4 Temporal changes in frequency of extreme weather events at national and regional levels in China, 2011-2021

覆盖的江浙沪地区成为高温强度最大的核心区,导致极端高温事件在长江中下游与华南地区更为常见<sup>[38]</sup>。图4c显示,全国极端低温事件的发生频率呈波动下降趋势,从2011年的0.128下降至2021年的0.079,降幅为38.28%。分区域来看,各区域下降幅度依次递减,具体表现为东部(49.36%)>中部(48.99%)>西部(42.41%)>东北(10.16%)。整体而言,当前全球气候变化导致极端暖事件增多,而极端冷事件减少,但冷事件的强度并未减弱,这在东北地区表现得尤为明显,该地区近年来持续刷新最低气温纪录。图4d显示,全国极端降水事件的发生频率呈波动变化,累计变化幅度达32.93%。分区域来看,整体发生频率呈现中部(44.12%)、东北(39.47%)、西部(25.87%)、东部(25.50%)依次递减;而2021年当年频率由高至低排序则为西部、中部、东部、东北。

综上所述,样本观测期内城市经济韧性呈现稳步上升态势,而极端天气则表现出波动下降趋势。整体上,极端天气对经济韧性的影响大致呈现“冲击—响应—适应—转型”的动态演进特征。具体而言,在研究期内,极端天气在短期内可能会对经济韧性产生负向冲击,削弱经济系统的稳定性与恢复能力;但从长期来看,随着经济主体不断经历极端天气状况,各类主体逐步积累应对经验,并通过调整产业结构、优化资源配置、提升管理水平等方式不断增强适应能力,最终推动经济向更具韧性的方向转型。因此,可初步判断经济韧性对极端天气存在响应关系,下文将运用计量模型对这一关系进行更为严格的实证检验。

### 4.3 经济韧性对极端天气总体的响应

#### 4.3.1 平稳性检验

在运用PVAR模型实证检验经济韧性对极端天

气的响应之前,需要对相关变量进行平稳性检验,以确保后续分析的有效性。基于此,本文首先采用LLC检验、IPS检验、HT检验3种方法,对各变量数据进行单位根检验。结果显示,经济韧性(*er*)与极端天气(*ew*)这两个变量均拒绝“存在单位根”的原假设,表明二者均为平稳序列。同时,两个变量也都通过了Kao检验、Pedroni检验和Westerlund检验<sup>⑥</sup>,说明经济韧性与极端天气之间存在长期均衡关系。

4.3.2 模型GMM参数估计

为保证模型参数估计的准确性,需进一步确定相关变量的最优滞后阶数。根据AIC、BIC与HQIC准则,全国、中部及西部地区的最优滞后阶数均为1,而东部地区为5,东北地区为2。在此基础上,利用GMM方法构建PVAR模型对经济韧性与极端天气进行回归分析,回归结果见表2。表2显示,在全国层面,滞后1期的经济韧性对自身具有显著的正向促进效应,表明前期较高的经济韧性有助于推动后期的进一步提升,呈现自我增强特征。而经济韧性对滞后1期极端天气的响应显著为负,表明极端天气对经济韧性具有一定的阻滞作用。在区域层面,四大地区滞后相应期数的经济韧性均对自身表现出正向响应,其中除东北地区不显著外,其余地

表2 PVAR模型GMM估计结果

Table 2 GMM estimation results of PVAR model

区域	变量	<i>er</i>	
		系数	Z值
全国	L. <i>ew</i>	-0.036**	-1.93
	L. <i>er</i>	0.812***	93.14
东部	L5. <i>ew</i>	-0.021**	-2.46
	L5. <i>er</i>	0.332***	5.29
中部	L. <i>ew</i>	-0.059**	-2.12
	L. <i>er</i>	0.826***	82.72
西部	L. <i>ew</i>	-0.028	-0.79
	L. <i>er</i>	0.822***	40.11
东北	L2. <i>ew</i>	-0.020***	-3.02
	L2. <i>er</i>	0.002	0.03

区均在1%水平上显著。经济韧性对相应滞后期数的极端天气则普遍呈现负向响应,具体表现为东部和中部地区在5%水平上显著,东北地区在1%水平上显著,而西部地区的响应不显著。

4.3.3 脉冲响应分析

脉冲函数反映了一个变量对其他变量的瞬时影响和长期影响,有助于深入诠释变量间动态关系。本文将冲击作用期限设定为10期,通过200次蒙特卡罗模拟脉冲响应轨迹,并结合脉冲响应图来考察经济韧性与极端天气间的响应关系。图5展示了全国层面的脉冲响应结果。由图5a可知,经济韧

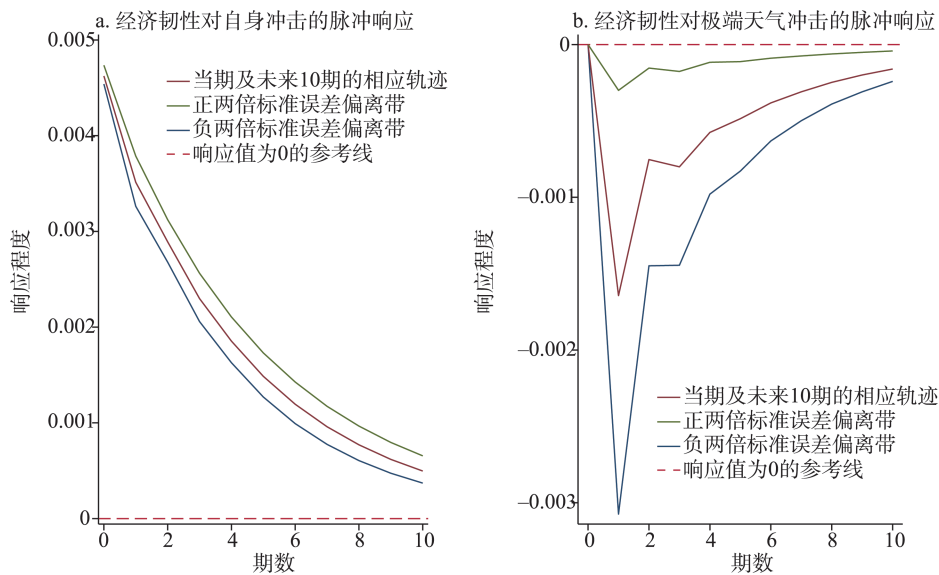


图5 全国经济韧性对极端天气的脉冲响应

Figure 5 Impulse response of national economic resilience to extreme weather

⑥ 限于篇幅,单位根检验结果及其最优滞后阶数未在文中展示,留存备案。

2026年4月

性在自身的一个标准差冲击下,其正向响应随时间推移逐渐降低,最终趋于平稳并无限接近于0。而当经济韧性受到极端天气一个标准差的冲击后(图5b),其响应值在当期为0,随后迅速转负,于第1期达到峰值后,负向影响持续收窄,整体呈现“急剧下降—缓慢上升—渐趋平稳”的态势。该结论与Peters等<sup>[38]</sup>的研究基本吻合,即极端降水事件不仅会带来即时损害,还将在事件发生后的数年间持续阻碍城市发展进程。

图6展示了各区域的脉冲响应结果。从经济韧性对极端天气的响应结果来看(图6a-6d),东部、中部、西部及东北地区经济韧性的响应均呈现负向趋弱态势,且当期响应值均为0。其中,东部地区经济韧性的负向响应持续时间较长,于第7期达到最大负值后逐步向0收敛,表明东部城市经济韧性受到极端天气的持续抑制;中部地区经济韧性的响应形态与全国层面最为接近,整体呈现“V”型走势,在第1期达到最大负值后影响逐步减弱并趋于稳定,但其响应强度高于全国水平;西部地区经济韧性的响应轨迹呈“W”型波动,同样在第1期达到最大负值,

随后在起伏中逐渐收敛至0;东北地区经济韧性则表现出“上升—下降—趋稳”的变化过程,在受到极端天气一个标准差冲击后,其响应首先表现为正向,于第1期达到峰值,随后影响逐步减弱并转为负向,至第4期达到最大负值后最终向0趋近。

#### 4.4 方差分解

进一步地,本文采用方差分解方法测算经济韧性对极端天气的响应程度(表3)。由表3可知,第10期时模型中经济韧性与极端天气的波动态势渐趋平稳,即二者关系趋于均衡,由此也验证了PVAR模型的稳健性。从全国层面来看,在预测期内,经济韧性对极端天气的响应开始显现并稳定在7.9%。这一结果表明,经济韧性对极端天气冲击的响应具有统计显著性且持续存在。分区域来看,经济韧性对极端天气的响应程度存在地区差异性,其中东部最大(35.3%),中部(28.2%)次之,东北(7.9%)和西部(5.0%)相对较小。

#### 4.5 经济韧性对极端高温、极端低温、极端降水的响应

考虑到极端天气事件具有较强的区域性,进一

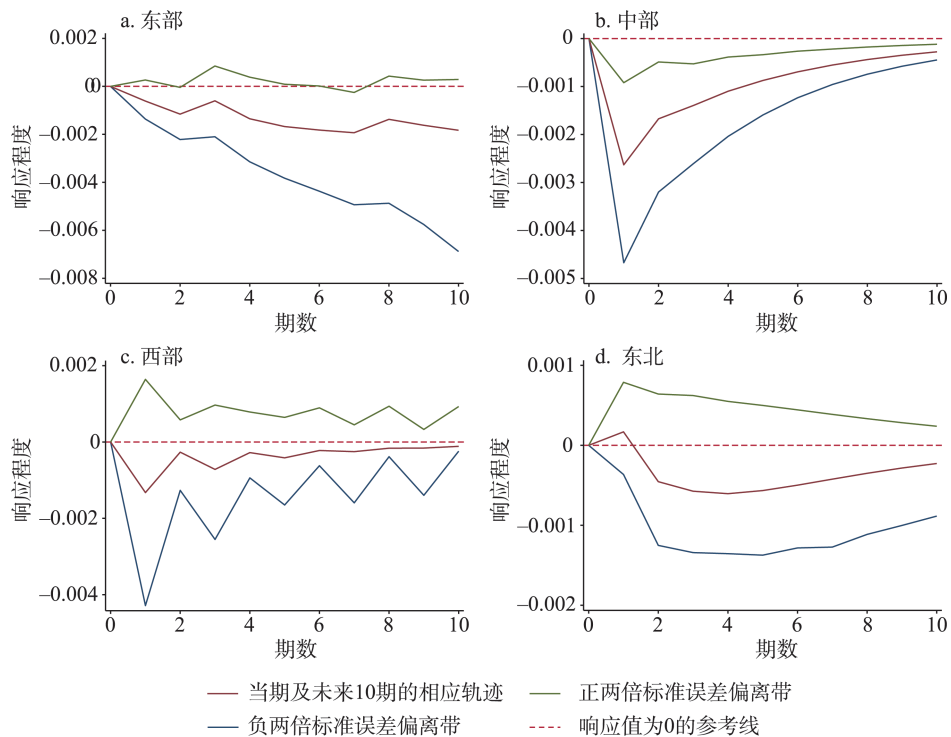


图6 各区域经济韧性对极端天气的脉冲响应

Figure 6 Impulse response of regional economic resilience to extreme weather

表3 全国及各区域经济韧性对极端天气响应的方差预测结果

Table 3 Variance prediction results of national and regional economic resilience in response to extreme weather

变量	期数	全国	东部	中部	西部	东北
<i>er</i>	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>er</i>	2	0.074	0.014	0.222	0.056	0.002
<i>er</i>	3	0.072	0.056	0.249	0.046	0.013
<i>er</i>	4	0.076	0.067	0.264	0.052	0.028
<i>er</i>	5	0.077	0.117	0.272	0.050	0.043
<i>er</i>	6	0.078	0.181	0.276	0.051	0.055
<i>er</i>	7	0.078	0.244	0.279	0.050	0.065
<i>er</i>	8	0.078	0.295	0.280	0.050	0.072
<i>er</i>	9	0.079	0.318	0.281	0.050	0.076
<i>er</i>	10	0.079	0.353	0.282	0.050	0.079

步将极端天气按类型细分为极端高温(*eh*)、极端低温(*el*)和极端降水(*ep*),并分别考察经济韧性对其的响应程度。

首先,根据AIC、BIC与HQIC准则,确定全国经济韧性对极端高温、极端低温、极端降水的最优滞后阶数为4阶,东、中、西、东北依次为4、4、2、1阶。然后,代入相关数据对PVAR模型进行GMM估计(表4)。由表4可得,全国与中部地区,经济韧性对极端高温、极端低温、极端降水均有显著的负向响应。东部和西部地区,经济韧性仅对极端低温与极端降水的增加呈现显著的负向响应,而对极端高温的响应不显著。东北地区,经济韧性对极端高温、极端低温、极端降水的响应均不明显。

图7展示了全国及各区域经济韧性对3类细分极端天气的脉冲响应结果。在全国层面,经济韧性对极端高温、极端低温与极端降水的脉冲响应值在整个模拟期内均为负值,且影响具有持续性。在区域层面,经济韧性对极端高温的响应强度呈现东部、中部、东北、西部依次递减的格局;对极端低温与极端降水的响应强度则表现为东部、中部、西部、东北

逐步递减。可见,较之于其他地区,东部地区经济韧性对各类极端天气的响应更为显著。这可能源于,2008年金融危机后,东部地区面临收入水平上升但增速放缓的困境,一定程度上陷入“中等收入陷阱”<sup>[22]</sup>;加之该地区对外开放程度高,沿海经济增长高度依赖对外贸易<sup>[62]</sup>,因而在应对外部冲击时更为脆弱。

为考察全国及各区域经济韧性所受到的单位冲击中,不同类型极端天气的贡献比重,进一步采用方差分解方法进行分析。本文将观测期设定为10期,表5展示了第1期、第5期和第10期的方差分解结果。从全国层面看,经济韧性所受到的一个单位冲击中,*eh*、*el*、*ep*的贡献率在第1期均为0;此后,*eh*、*ep*的贡献率整体上升,至第10期分别达到42.7%和13.4%,而*el*的贡献率则呈现先升后降的趋势,最终在第10期稳定于5.9%。总体来看,极端高温与极端降水事件对经济韧性的冲击较大。从区域层面看,各区域经济韧性所受到的一个单位冲击中,不同类型极端天气的贡献率存在差异。其中,极端高温(*eh*)的贡献率在第10期呈现东部

表4 极端天气类型与经济韧性之间关系的PVAR模型GMM估计结果

Table 4 GMM estimation results of PVAR model on relationship between extreme weather types and economic resilience

区域	变量	<i>eh</i>		<i>el</i>		<i>ep</i>	
		系数	Z值	系数	Z值	系数	Z值
全国	L4. <i>er</i>	-0.175***	-11.38	-0.056**	-2.11	-0.480***	-7.96
东部	L4. <i>er</i>	-0.041	-1.25	-0.101**	-1.99	-0.465***	-4.25
中部	L4. <i>er</i>	-0.025***	-3.28	-0.088***	-3.00	-0.068***	-4.08
西部	L2. <i>er</i>	-0.009	-0.78	-0.033***	-4.68	-0.039**	-1.98
东北	L. <i>er</i>	-0.017	-0.40	0.006	0.30	0.017	0.21

2026年4月

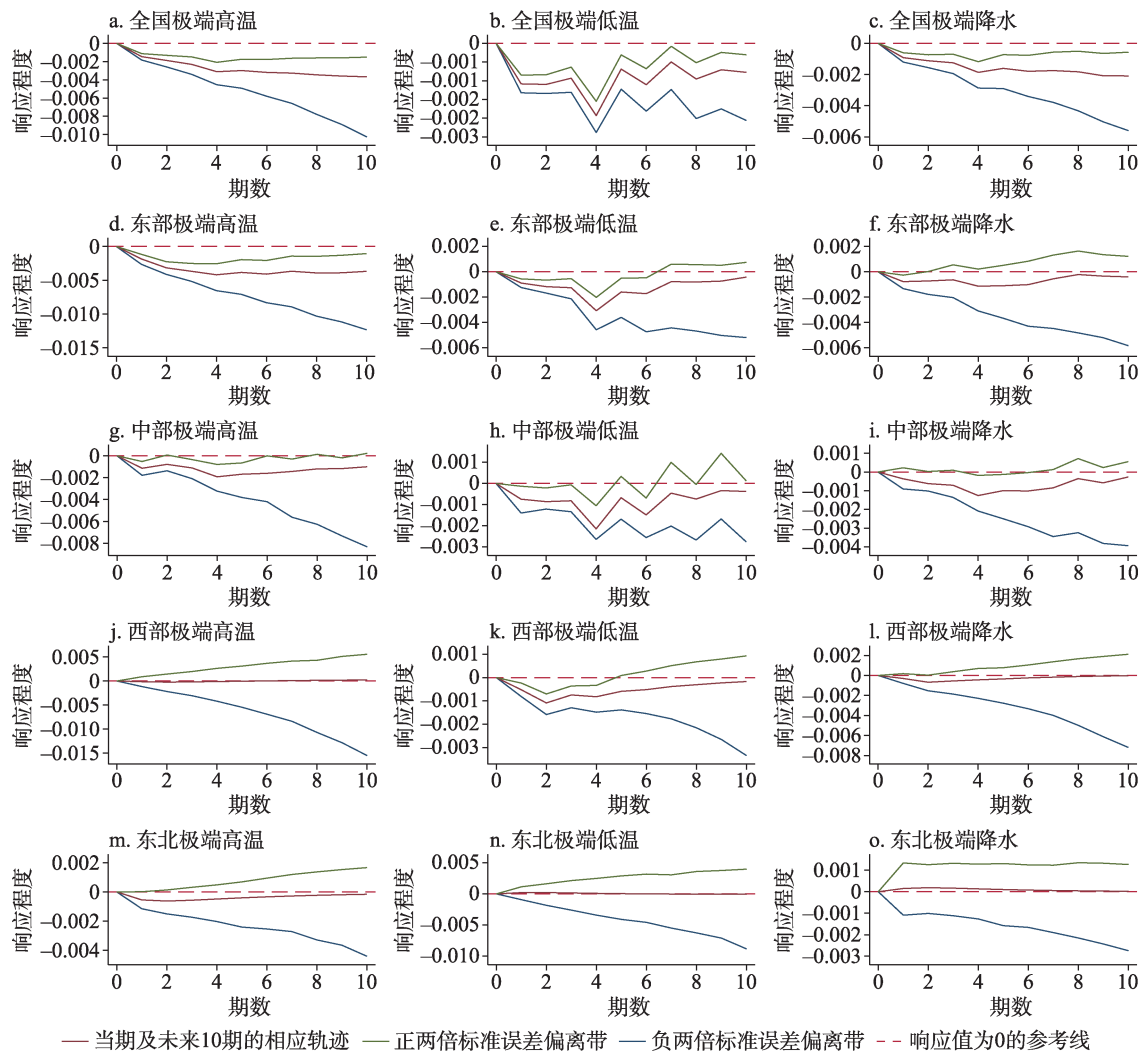


图7 全国及各区域经济韧性对极端天气类型的脉冲响应

Figure 7 Impulse response of national and regional economic resilience to extreme weather types

(36.2%)、中部(28%)、东北(5.2%)、西部(0.5%)依次递减的格局;极端低温(*el*)的贡献率在第10期分别为东部(8.5%)、中部(16.5%)、西部(10.7%)、东北(0.4%);极端降水(*ep*)的贡献率在第10期则表现为中部(9.5%)>西部(3.7%)>东部(2.3%)>东北(0.4%)。

上述实证结果表明,在全国及区域层面,经济韧性对极端天气普遍呈现负向响应,且响应程度较强;但随着时间的推移,经济韧性对极端天气的负向响应不断减小,最终向0值收敛。此外,方差分解结果显示,经济韧性对极端高温的响应最为明显,对极端降水的响应次之,对极端低温的响应最小,但这一响应程度在不同区域间具有显著的异质性。

这也再度表明,短期内,极端天气会对经济系统造成破坏,削弱其稳定性与恢复能力,不利于经济韧性提升。然而,从长期来看,随着经济主体不断经历极端天气事件,各类主体将逐步积累应对经验,通过调整产业结构、优化资源配置、提升管理水平等举措,不断增强自身的适应能力,最终推动经济朝着更具韧性的方向发展。

## 5 结论与政策启示

### 5.1 结论

本文通过探究2011—2021年中国城市经济韧性的时空演变特征及其对极端天气的响应,得出主要结论为:

(1)从演变特征来看,研究期内中国城市经济

表5 全国及各区域经济韧性对细分极端天气响应的方差预测结果

Table 5 Variance prediction results of national and regional economic resilience in response to disaggregated extreme weather

区域	响应变量	预测期	冲击变量		
			<i>eh</i>	<i>el</i>	<i>ep</i>
全国	<i>er</i>	1	0.000	0.000	0.000
	<i>er</i>	5	0.271	0.092	0.093
	<i>er</i>	10	0.427	0.059	0.134
东部	<i>er</i>	1	0.000	0.000	0.000
	<i>er</i>	5	0.362	0.108	0.023
	<i>er</i>	10	0.499	0.085	0.023
中部	<i>er</i>	1	0.000	0.000	0.000
	<i>er</i>	5	0.179	0.172	0.068
	<i>er</i>	10	0.280	0.165	0.095
西部	<i>er</i>	1	0.000	0.000	0.000
	<i>er</i>	5	0.004	0.088	0.034
	<i>er</i>	10	0.005	0.107	0.037
东北	<i>er</i>	1	0.000	0.000	0.000
	<i>er</i>	5	0.043	0.004	0.004
	<i>er</i>	10	0.052	0.004	0.004

韧性基本呈上升趋势,且表现出“东部>中西部>东北”的空间分布特征。其中,东部的北京、上海和广州以及西部的重庆始终位于第一梯队,而成都在2018年也进入第一梯队。标准差椭圆分析则显示,城市经济韧性呈现出以河南为重心的“东北—西南”走向演变态势。

(2)PVAR模型检验结果表明,无论是全国还是区域层面,经济韧性对极端天气均呈现显著的负向响应,且响应程度较强、持续性也较长;但随着时间的推移,经济韧性对极端天气的负向响应不断减小,最终向0值收敛。

(3)从方差分解的贡献率来看,经济韧性对极端高温的响应最为明显,对极端降水的响应次之,对极端低温的响应最小;而在不同区域,经济韧性对3种极端天气的响应程度表现不一。

## 5.2 政策启示

基于上述结论,提出如下政策启示:

(1)以点带面、有所侧重,缩小经济韧性空间差异。应以“北京—上海—广州—成都”为节点城市打造全国性的经济韧性增长极,充分发挥其辐射效应,带动其他城市通过技术模仿、产业承接与经验借鉴等方式进行优势互补,自主探索适宜的经济韧性提升路径,逐步缩小城市间的发展差异。

(2)加强气候风险管理、完善预警系统,将气候变化嵌入宏观经济治理体系。首先,建设一体化监测网络,实现风险可视化。构建国家级“气候—经济”动态监测系统,整合高时空分辨率的气象与经济韧性数据,形成实时更新的风险仪表盘,解决信息碎片化问题。其次,开发智能预测模型,强化风险预见性。利用机器学习与情景模拟技术,开发区域经济韧性预测模型,预判不同气候情景下的风险热点与经济损失,为政策调整提供实时依据,进而提升应对风险的响应速度。

(3)针对不同的极端天气,制定差别化策略。就全国层面而言,应优先防控高温风险,尽快制定国家级高温适应战略,在电力、交通、建筑等关键领域强制推行高温韧性标准,以提升全国应对高温极端天气的能力。在区域层面,则需分类施策:首先,东部地区在重点发展高新技术产业和推进新能源建设的同时,应通过建立技术和人才交流机制,强化对中西部、东北地区的知识溢出效应,带动这些地区共同提升应对极端天气的能力。其次,中西部地区应着力推广抗旱节水灌溉技术,积极借鉴东部地区的建设经验,增强绿色技术创新能力。最后,东北地区则应设立专项振兴基金,推动传统产业绿色转型,改善营商环境以吸引投资。

2026年4月

## 参考文献(References):

- [1] 陈海山, 陈志龙. 气候风险、经济增长与城市内涵式发展: 基于暴雨冲击的经验证据[J]. 统计研究, 2024, 41(6): 121-134. [Chen H S, Chen Z L. Climate risk, economic growth and urban intensive development: Empirical evidence based on rainstorm shock [J]. Statistical Research, 2024, 41(6): 121-134.]
- [2] 刘鑫鑫, 韩先锋. 人工智能与制造业韧性: 内在机制与实证检验[J]. 经济管理, 2023, 45(11): 48-67. [Liu X X, Han X F. Artificial intelligence and manufacturing resilience: Intrinsic mechanisms and empirical tests[J]. Business and Management Journal, 2023, 45(11): 48-67.]
- [3] 单宇, 许晖, 周连喜, 等. 数智赋能: 危机情境下组织韧性如何形成: 基于林清轩转危为机的探索性案例研究[J]. 管理世界, 2021, 37(3): 84-104, 7. [Shan Y, Xu H, Zhou L X, et al. Digital and intelligent empowerment: How to form organizational resilience in crisis: An exploratory case study based on forest cabin's turning crisis into opportunity[J]. Journal of Management World, 2021, 37(3): 84-104, 7.]
- [4] Zhang Z, Zhao M, Chen Y, et al. The nexus between energy legislation, energy transition, and energy resilience: Evidence from 55 countries worldwide[J]. Energy, 2025, DOI: 10.1016/j.energy.2025.135906.
- [5] Zhang Z, Wu H, Zhang Y, et al. Does digital global value chain participation reduce energy resilience? Evidence from 49 countries worldwide[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2024, DOI: 10.1016/j.techfore.2024.123712.
- [6] 贺灿飞, 盛涵天. 区域韧性: 研究综述与展望[J]. 人文地理, 2023, 38(1): 1-10. [He C F, Sheng H T. Regional economic resilience: A review and future development outlook[J]. Human Geography, 2023, 38(1): 1-10.]
- [7] Martin R. Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks[J]. Journal of Economic Geography, 2012, 12(1): 1-32.
- [8] Faggian A, Gemmiti R, Jaquet T, et al. Regional economic resilience: The experience of the Italian local labor systems[J]. The Annals of Regional Science, 2018, 60(47): 1-18.
- [9] Zhang Z, Zhao M, Zhang X, et al. What is the causal relationship among geopolitical risk, financial development, and energy transition? Evidence from 25 OECD countries[J]. International Review of Financial Analysis, 2025, DOI: 10.1016/j.irfa.2025.104288.
- [10] 唐宇, 宋永永, 薛东前, 等. 能源富集区经济韧性演化过程及影响机制: 以榆林市为例[J]. 资源科学, 2022, 44(7): 1331-1343. [Tang Y, Song Y Y, Xue D Q, et al. Evolution process and influence mechanism of economic resilience in energy-rich areas: A case study of Yulin City[J]. Resources Science, 2022, 44(7): 1331-1343.]
- [11] 谭燕芝, 海霞, 张文哲. 中部地区县域经济韧性空间分异及其驱动因素[J]. 经济地理, 2023, 43(11): 17-24, 35. [Tan Y Z, Hai X, Zhang W Z. Spatial divergence and driving factors of economic resilience of Chinese counties in central region[J]. Economic Geography, 2023, 43(11): 17-24, 35.]
- [12] 范雨婷, 张杰. 数字经济发展对城市经济韧性影响的空间效应[J]. 经济地理, 2025, 45(7): 46-55. [Fan Y T, Zhang J. Spatial divergence and driving factors of economic resilience of Chinese counties in central region[J]. Economic Geography, 2025, 45(7): 46-55.]
- [13] Briguglio L, Cordina G, Farrugia N, et al. Economic vulnerability and resilience: concepts and measurements[J]. Oxford Development Studies, 2009, 37(3): 229-247.
- [14] 陈勤昌, 王兆峰. 武陵山片区国土开发强度与经济韧性时空耦合特征及互动效应[J]. 经济地理, 2023, 43(4): 41-50. [Chen Q C, Wang Z F. Spatio-temporal coupling and interactive effects of land development intensity and economic resilience in the Wuling mountains area[J]. Economic Geography, 2023, 43(4): 41-50.]
- [15] 吴康, 宋嘉卓, 陈艺文. 人口增长与收缩对城市经济韧性的影响机制: 基于产业结构和人力资本的调节效应[J]. 资源科学, 2024, 46(2): 249-261. [Wu K, Song J Z, Chen Y W. The impact mechanism of population growth and shrinkage on urban economic resilience: Based on the moderating effects of industrial structure and human capital[J]. Resources Science, 2024, 46(2): 249-261.]
- [16] 宋敏, 刘欣雨. 中国新基建与经济韧性耦合协调度的时空演化及驱动因素[J]. 经济地理, 2023, 43(10): 13-22. [Song M, Liu X Y. Spatio-temporal evolution and driving factors of the coupling coordination degree between new infrastructure construction and economic resilience in China[J]. Economic Geography, 2023, 43(10): 13-22.]
- [17] 张亚丽, 项本武. 数字经济发展对中国市域经济韧性的影响效应[J]. 经济地理, 2023, 43(1): 105-113. [Zhang Y L, Xiang B W. The impact of digital economy development on urban economic resilience[J]. Economic Geography, 2023, 43(1): 105-113.]
- [18] Ray D M, MacLachlan I, Lamarche R, et al. Economic shock and regional resilience: Continuity and change in Canada's regional employment structure, 1987-2012[J]. Environment and Planning A, 2017, 49(4): 952-973.
- [19] Bristow G, Healy A. Innovation and regional economic resilience: An exploratory analysis[J]. Annals of Regional Science, 2018, 60(2): 265-284.
- [20] 张安伟, 胡艳. 多中心空间结构与城市经济韧性[J]. 财经研究, 2023, 49(9): 4-18. [Zhang A W, Hu Y. Polycentric spatial structure and urban economic resilience[J]. Journal of Finance and Economics, 2023, 49(9): 4-18.]
- [21] 陈安平. 集聚与中国城市经济韧性[J]. 世界经济, 2022, 45(1): 158-181. [Chen A P. Agglomeration and urban economic resilience in China[J]. The Journal of World Economy, 2022, 45(1): 158-181.]
- [22] 张跃胜, 翟雨桐. 数实融合对资源型城市经济韧性的影响及驱

- 动机制[J]. 经济地理, 2025, 45(12): 105-114. [Zhang Y S, Zhai Y T. Impact of digital-real integration on economic resilience of resource-based cities and its driving mechanisms[J]. Resources Science, 2024, 46(2): 249-261.]
- [23] 闫志俊, 徐志龙, 张继彤. 数字时代的“韧性密码”: 虚拟集聚与城市经济韧性[J]. 财经研究, 2025, 51(7): 49-63. [Yan Z J, Xu Z L, Zhang J T. The “Resilience Code” in the digital age: Virtual agglomeration and urban economic resilience[J]. Journal of Finance and Economics, 2025, 51(7): 49-63.]
- [24] 卢现祥, 王素素. 不利冲击下中国经济为何具有强劲韧性: 基于制度适应性效率的经验研究[J]. 财经研究, 2023, 49(11): 4-18. [Lu X X, Wang S S. Why does China’s economy remain resilient under adverse shocks? An empirical study based on the efficiency of institutional adaptability[J]. Journal of Finance and Economics, 2023, 49(11): 4-18.]
- [25] 郭利京, 金娜. 淮河生态经济带极端天气变化对粮食生产影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(5): 1099-1109. [Guo L J, Jin N. Influence of extreme weather events on grain production in Huaihe River Eco-economic Belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, 33(5): 1099-1109.]
- [26] 陈帅, 徐晋涛, 张海鹏. 气候变化对中国粮食生产的影响: 基于县级面板数据的实证分析[J]. 中国农村经济, 2016, (5): 2-15. [Chen S, Xu J T, Zhang H P. The impact of climate change on China’s grain production: An empirical analysis based on county level panel data[J]. Chinese Rural Economy, 2016, (5): 2-15.]
- [27] Dell M, Jones B F, Olken B A. Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century[J]. American Economic Journal: Macroeconomics, 2012, 4(3): 66-95.
- [28] Cai X, Lu Y, Wang J. The impact of temperature on manufacturing worker productivity: Evidence from personnel data[J]. Journal of Comparative Economics, 2018, 46(4): 889-905.
- [29] Rao S, Koirala S, Thapa C, et al. When rain matters! Investments and value relevance[J]. Journal of Corporate Finance, 2022, DOI: 10.1016/j.jcorpfin.2020.101827.
- [30] Choi D, Gao Z, Jiang W. Attention to global warming[J]. The Review of Financial Studies, 2020, 33(3): 1112-1145.
- [31] Kumar S, Khanna M. Temperature and production efficiency growth: Empirical evidence[J]. Climatic Change, 2019, 156: 209-229.
- [32] 杨墨, 董大勇, 岳思诗. 企业战略中的自然气候因素: 来自极端降雨影响中国上市公司战略调整的证据[J]. 系统工程, 2023, 41(5): 84-103. [Yang M, Dong D Y, Yue S S. Natural climate factors in corporate strategy: Evidence from extreme rainfall affecting the strategic adjustment of Chinese listed companies[J]. Systems Engineering, 2023, 41(5): 84-103.]
- [33] 马宁, 蔡晓睿, 靳光辉. 高管会望“雨”而逃吗: 极端强降水与高管机会主义减持: 来自天气层面的证据[J]. 系统工程理论与实践, 2024, 44(10): 3217-3237. [Ma N, Cai X R, Jin G H. Do executives run for the rain? Extreme rainfall and opportunistic stock selling behaviors of executives: Evidence from the weather level[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2024, 44(10): 3217-3237.]
- [34] 丁宇刚, 孙祁祥. 气候风险对中国农业经济发展的影响: 异质性及机制分析[J]. 金融研究, 2022, (9): 111-131. [Ding Y G, Sun Q X. Impact of climate risks on China’s agricultural economic development: Heterogeneity and mechanism analyses[J]. Journal of Financial Research, 2022, (9): 111-131.]
- [35] 陆中桂, 康哲, 李巍, 等. 黄河流域水稀缺风险评价[J]. 中国环境科学, 2024, 44(6): 3455-3465. [Lu Z G, Kang Z, Li W, et al. Water scarcity risk assessment in the Yellow River basin[J]. China Environmental Science, 2024, 44(6): 3455-3465.]
- [36] 王博文, 贺一, 滕飞. 我国极端天气气候事件直接和间接经济损失的评估及归因[J]. 气候变化研究进展, 2025, 21(4): 502-518. [Wang B W, He Y, Teng F. Attribution and assessment of direct and indirect economic losses from extreme weather events in China[J]. Climate Change Research, 2025, 21(4): 502-518.]
- [37] 梁荣, 陈秉正. 气候变化背景下全球极端天气事件GDP损失率评估[J]. 系统工程理论与实践, 2019, 39(3): 557-568. [Liang R, Chen B Z. Damage assessment of extreme weather events under climate change[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2019, 39(3): 557-568.]
- [38] Peters V, Wang J, Sanders M. Resilience to extreme weather events and local financial structure of prefecture-level cities in China[J]. Climatic Change, 2023, DOI: 10.1007/s10584-023-03599-w.
- [39] Gupta Y, Liu Z, Mostafavi A. Examining spatial and socioeconomic disparities in internet resilience during extreme weather events: a case study of Hurricane Harvey and Winter Storm Uri[J]. Urban Informatics, 2024, DOI: 10.1007/s44212-024-00051-x.
- [40] Shen C, Zhu W, Tang X, et al. Risk assessment and resilience enhancement strategies for urban power supply-demand imbalance affected by extreme weather: a case study of Beijing[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2024, DOI: 10.2139/ssrn.4638964.
- [41] Kuang B, Shi Y, Hu Y, et al. Household energy resilience in extreme weather events: An investigation of energy service importance, HVAC usage behaviors, and willingness to pay[J]. Applied Energy, 2024, DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.123051.
- [42] Hu L, Meng J, Xiong C, et al. City-level resilience to extreme weather shocks revealed by satellite nighttime lights in China[J]. Sustainable Cities and Society, 2024, DOI: 10.1016/j.scs.2023.105167.
- [43] 张航, 郭雨臣, 张红娟, 等. 极端高温对黄河流域经济增长的时空影响探测[J]. 地理学报, 2025, 80(5): 1353-1369. [Zhang H, Guo Y C, Zhang H J, et al. Spatio-temporal impacts of extreme heat on economic growth in the Yellow River Basin[J]. Acta Geo-

2026年4月

- graphica Sinica, 2025, 80(5): 1353–1369.]
- [44] Pankratz N, Bauer R, Derwall J. Climate change, firm performance, and investor surprises[J]. *Management Science*, 2023, 69(12): 7352–7398.
- [45] Kumar N, Poonia V, Gupta B B, et al. A novel framework for risk assessment and resilience of critical infrastructure towards climate change[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2021, DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120532.
- [46] Burbidge R. Adapting aviation to a changing climate: Key priorities for action[J]. *Journal of Air Transport Management*, 2018, 71: 167–174.
- [47] Huynh T D, Xia Y. Panic selling when disaster strikes: Evidence in the bond and stock markets[J]. *Management Science*, 2023, 69(12): 7448–7467.
- [48] 胡彬, 余子然. 地方财政压力对城市生产率的异质性影响研究: 基于新型城镇化背景的分析[J]. *财经研究*, 2021, 47(6): 139–153. [Hu B, Yu Z R. Research on the heterogeneous impact of local fiscal pressure on urban productivity: Based on the background of new-type urbanization[J]. *Journal of Finance and Economics*, 2021, 47(6): 139–153.]
- [49] 夏添, 周建华, 孙久文. 数字经济发展、政府介入与城市经济韧性[J]. *中国软科学*, 2024, (5): 111–121. [Xia T, Zhou J H, Sun J W. Development of digital economy, government intervention, and urban economic resilience[J]. *China Soft Science*, 2024, (5): 111–121.]
- [50] Zhang Z. Are climate risks helpful for understanding inflation in BRICS countries? [J]. *Finance Research Letters*, 2023, DOI: 10.1016/J.FRL.2023.104441.
- [51] 孟贵, 王开泳, 王甫园, 等. 长江经济带市域数字经济与城乡融合发展耦合协调格局及其作用机制[J]. *经济地理*, 2024, 44(11): 73–83. [Meng G, Wang K Y, Wang F Y, et al. Spatial-temporal pattern and mechanism of the coupling coordination relationship between digital economy and urban-rural integration development at prefectural level in the Yangtze River Economic Belt[J]. *Economic Geography*, 2024, 44(11): 73–83.]
- [52] 汪德慧, 乔伟峰, 唐娟, 等. 长三角地区产业结构优化与绿色发展水平互动关联分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2026, 35(1): 43–55. [Wang D H, Qiao W F, Tang J, et al. Interactive relationship between industrial structure optimization and the level of green development in the Yangtze River Delta[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2026, 35(1): 43–55.]
- [53] 梁曼, 兰颜, 李建新, 等. 中国资源型城市经济韧性的时空演化及障碍度分析[J]. *地理科学进展*, 2026, 45(1): 77–91. [Liang M, Lan Y, Li J X, et al. Spatiotemporal change and obstacle analysis of the economic resilience of resource-based cities in China[J]. *Progress in Geography*, 2026, 45(1): 77–91.]
- [54] 张路, 林国栋, 吕晓. 产业结构升级视角下城市经济韧性空间分异及其驱动因素[J]. *地理科学*, 2024, 44(9): 1577–1586. [Zhang L, Lin G D, Lyu X. Spatial differentiation and driving factors of urban economic resilience from the perspective of industrial structure upgrading[J]. *Geographical Science*, 2024, 44(9): 1577–1586.]
- [55] 李诗音, 苏欣怡, 符安平. 长江中游城市群经济韧性对高质量发展的影响[J]. *经济地理*, 2022, 42(10): 19–24. [Li S Y, Su X Y, Fu A P. Impact of economic resilience on high-quality development of urban agglomerations in the middle reaches of the Yangtze River[J]. *Economic Geography*, 2022, 42(10): 19–24.]
- [56] 张柯, 方时姣, 张振华. 心理账户视角下家庭收入对家庭能源消费与能源贫困的影响[J]. *资源科学*, 2024, 46(5): 895–909. [Zhang K, Fang S J, Zhang Z H. Impact of household income on household energy consumption and energy poverty from a mental account perspective[J]. *Resources Science*, 2024, 46(5): 895–909.]
- [57] 潘敏, 刘红艳, 程子帅. 极端气候对商业银行风险承担的影响: 来自中国地方性商业银行的经验证据[J]. *金融研究*, 2022, (10): 39–57. [Pan M, Liu H Y, Cheng Z S. The impact of extreme climate on commercial banks' risk-taking: Evidence from local commercial banks in China[J]. *Journal of Financial Research*, 2022, (10): 39–57.]
- [58] 李健旋. 制造业与数字经济产业关联融合测度及异质性研究[J]. *中国管理科学*, 2025, 33(8): 112–122. [Li J X. Research on the measurement of the association fusion between digital economy & manufacturing industry and its regional heterogeneity[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2025, 33(8): 112–122.]
- [59] 罗津, 孙雅慧, 李悦. 中国南北经济分化的再考察: 经济均分线移动与增速贡献分解的双重视角[J]. *南方经济*, 2024(5): 51–74. [Luo J, Sun Y H, Li Y. Reexamination of the economic differentiation between north and south China: A dual perspective on the movement of the economic dividing line and the decomposition of the contribution to growth rate[J]. *South China Journal of Economics*, 2024, (5): 51–74.]
- [60] 丁从明, 陈致远, 李阳阳, 等. 新旧动能转换背景下数字经济与南北经济平衡发展[J]. *财贸经济*, 2024, (10): 1–18. [Ding C M, Chen Z Y, Li Y Y, et al. Digital economy and the balanced development of north south economy under the background of the transformation of old and new kinetic energy[J]. *Finance & Trade Economics*, 2024, (10): 1–18.]
- [61] 丁从明, 王聪, 陈昊. 优化城市营商环境促进南北经济均衡发展: 限制经济秩序向开放经济秩序的演进[J]. *数量经济技术经济研究*, 2024, 41(1): 110–129. [Ding C M, Wang C, Chen H. Optimize the doing business environment to promote balanced economic development between north and south: Evolution from limited economic access order to open economic access order[J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2024, 41(1): 110–129.]
- [62] 田方钰, 刘海英, 李天野. 重大事件冲击、经济不确定性与宏观

经济波动[J]. 中央财经大学学报, 2024, (12): 84–96. [Tian F Y, Liu H Y, Li T Y. Momentous event shocks, economic uncertainties

and macro-economic fluctuations[J]. Journal of Central University of Finance & Economics, 2024, (12): 84–96.]

## Urban economic resilience in China and its response to extreme weather

XIAO Liming<sup>1</sup>, ZHANG Ying<sup>1</sup>, Dai Shengli<sup>2</sup>, ZHANG Zhenhua<sup>3</sup>

(1. School of Economics and Management, Shanxi Normal University, Taiyuan 030031, China; 2. School of Public Administration and Emergency Management, Jinan University, Guangzhou 510632, China;

3. School of Economics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** [Objective] Effectively responding to extreme weather shocks and enhancing economic resilience have become urgent requirements for high-quality economic development. This study aims to explore the dynamic evolution patterns of economic resilience and its specific responses to extreme weather shocks, thereby providing theoretical and empirical support for China's economy as it strives for high-quality development. [Methods] Based on panel data of 280 Chinese cities at the prefecture level and above from 2011 to 2021, this study measured economic resilience by the entropy method, characterized the frequency of extreme weather events with the occurrence ratio of extreme climate events, and employed standard deviation ellipse and PVAR models to examine the spatiotemporal differentiation of economic resilience and its response to extreme weather. [Results] (1) The economic resilience of Chinese cities showed an overall increasing trend over time. Spatially, the spatial distribution generally followed the pattern of “eastern > central > western > northeastern” China, and exhibited a northeast-southwest-oriented evolutionary trend centered on Henan Province. (2) The regression results of the PVAR model showed that urban economic resilience exhibits a negative response to extreme weather at both national and regional levels. (3) Variance decomposition results indicated that urban economic resilience shows the greatest response to extreme high temperatures, followed by extreme precipitation, and the least response to extreme low temperatures. Moreover, the response of economic resilience to extreme weather was heterogeneous across regions. [Conclusion] China's economic resilience is generally rising, but extreme weather continues to exert significant and sustained negative impacts. It is urgent to incorporate climate change into the macroeconomic governance framework, strengthen the endogenous capacity of the economic system to resist and adapt to climate risks, and steer the economy toward a more resilient development path.

**Key words:** economic resilience; extreme weather; standard deviation ellipse; PVAR model; spatiotemporal evolution; response; China