

气候冲击下的中国城市韧性与治理路径： 以暴雨影响为例

陈诗一^{1,2}, 孙沁竹^{1,3}, 刘朝良^{4,*}

1. 复旦大学 经济学院, 上海 200433;
2. 复旦大学 保险应用创新研究院, 上海 200433;
3. 上海国际金融与经济研究院, 上海 200433;
4. 浙江财经大学 经济学院, 杭州 310018



摘 要 : 近年来,暴雨事件成为中国城市面临的重要气候问题。本研究综合利用中国城市面板数据与企业微观数据,从直接灾害损失与企业进入的间接经济活动两个层次出发,验证了暴雨对城市部门生产生活的严重损害。在城市治理方面,从长远来看,城市抵御应对暴雨的韧性明显增强,城市部门的基建治理与生态治理这两条路径都在暴雨治理中起到了积极成效。进而比较发现,生态治理路径对缓解暴雨影响的效果更为突出。本文最后通过情景模拟,对暴雨治理的降损成效进行了计算。总结而言,面对气候变化波及城市部门的现实情形,城市治理应对是关键问题,其中生态治理发挥的作用不容忽视。本文在气候变化的背景下,为国家推进城市安全韧性提升的新型城镇化战略与海绵城市建设提供了实证参考。

关 键 词 : 气候冲击;暴雨事件;城市韧性;城市治理
中图分类号 : F205; X321; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-4981(2025)01-0116-11
DOI: 10.3724/j.issn.2097-4981.JECC-2024-0015

City Resilience and Governance Path in China under Climate Shock: Evidence from the Heavy Rain

CHEN Shiyi^{1,2}, SUN Qinzhu^{1,3}, LIU Chaoliang^{4,*}

1. School of Economics, Fudan University, Shanghai 200433, China;
2. Institute of Insurance Application and Innovation, Fudan University, Shanghai 200433, China;
3. Shanghai Institute of International Finance and Economics, Shanghai 200433, China;
4. School of Economics, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou 310018, China

Abstract : In recent years, heavy rain has become an important climatic problem faced by cities in China. Our study applies both the city-level panel dataset and firm-level microdata in China to verify the effect of heavy rain on urban production and living, from the perspective of direct disaster losses and indirect economic activities of firm entry. Concerning city governance, the resilience of resisting heavy rain significantly strengthens in the long run, in which both the infrastructure governance path and the ecological governance path play a role. We further compare the two pathways and find that the ecological governance path has better performance. Our paper finally conducts the scenario analysis and calculates the monetary benefits of heavy rain governance. To summarize, faced with the reality of climatic impacts on cities, it is imperative to adopt effective governance measures, in which the role of ecological management cannot be ignored. Our paper offers empirical insights to support China's effort to advance city resilience through the new urbanization strategy and developing sponge

收稿日期: 2024-10-20; **接受日期:** 2024-11-12

基金项目: 国家自然科学基金创新群体项目 (72121002); 教育部人文社科重点研究基地重大项目 (22JJD790058); 国家自然科学基金面上项目 (72373028)

作者介绍: 陈诗一, (1970—), 男, 博士, 教授, 研究方向为能源与环境经济。E-mail: shiyichen@fudan.edu.cn

通讯作者: 刘朝良, (1988—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为城市发展与环境经济。E-mail: liuzhongni@126.com

cities with the background of climate change.
Key Words : climate shock; heavy rain events; city resilience; city governance

0 引言

近年来,暴雨洪涝灾害成为影响各国经济发展、限制人民生活质量提升最为重要且直观的极端气象事件之一^[1]。中国是受暴雨影响较为严重的国家之一^[2]。据水利部发布的2023年《中国水旱灾害防御公报》可知,自1990年有统计以来,中国境内因洪涝灾情导致的直接经济损失呈波动上升趋势,在2010年的直接经济损失额高达3745亿元人民币。《中国气象灾害年鉴》在2011—2020年间发布的国内年度十大天气气候事件中,平均每年有2.5件暴雨洪涝灾害相关事件上榜。在暴雨洪涝等气象灾害事件频发的背景下,评估暴雨问题对中国经济发展的影响成为重要课题。这项研究包括两方面:一是评估由暴雨直接引发的灾害损失;二是评估暴雨对经济活动主体造成的间接影响。这是本研究的第一项目标。在理解暴雨事件影响的基础上,寻求应对暴雨事件的治理路径则是另一项紧迫目标。2007年国务院印发的《中国应对气候变化国家方案》中明确提出,应当增强适应能力以减少水资源系统对气候变化的脆弱性,加强水利基础设施建设,结合生态保护重点工程以及防灾、减灾等重大基础工程建设,切实提高适应气候变化的能力。在相关治理措施出台实践的背景下,本研究的第二项目标则是,理解评估城市管理者应对暴雨事件的治理建设是否能真正起到缓解效果,在气候变化的背景下提升中国城市的安全韧性。特别地,治理路径的差异将形成不同的成效,本文将通过回归分析与情景模拟展现不同城市治理路径下的收益情况。

城市是人口与经济活动集聚的中心,气候变化对城市部门的影响尤为严重^[3]。2016年发布的《城市适应气候变化行动方案》明确强调了极端气象事件对城市的持续性影响,其中首要突出了强降水与城市内涝的风险性与应对思路。这为本文提供了研究出发点。本文综合利用2014—2019年中国城市面板数据与企业微观调查数据。首先,评估发现暴雨事件造成了较强的城市洪涝灾害损失,但不限于此,暴雨灾害同样对城市发展形成了间接的经济影响^[4]。从企业进入的视角发现,在暴雨影响下,包括采矿业、制造业等行业在内的企业进入市场开展生产运营的数目显著下降,而服务业等其他非农行业的企业进入不受影响。城市部门的有效治理是应对暴雨损害经济社会发展的关键。本文首先借助长差分方法进行

评估,结果表明,在样本期内城市治理增强了应对气象灾害事件的城市韧性,增幅达到24%。具体从治理路径看,基建治理与生态治理两者都可以有效缓解暴雨事件的损害。但本文额外发现,生态治理的效果更为突出。通过开展情景模拟,本文在未来极端降雨频发的情景下进一步计算了暴雨冲击造成的高额损失,以及城市治理的积极影响。

同已有研究相比,本文研究贡献在于:第一,基于强降雨严重影响中国城市部门的现实背景与需要,本文全面评估了暴雨事件对中国城市洪涝灾害影响的程度。相较于既有灾害经济学文献,本研究的主题具有更强的现实性与全面性,从而使得其与研究主题较为相近的文献^[4]有所区别。文献^[4]重点关注暴雨事件对城市经济活动的影响,而本文则着重从城市长期适应与治理成效的角度对暴雨事件进行了分析,在统一的框架下比较了不同治理路径的成效。第二,从城市管理者开展治理的角度出发,本文对基建治理与生态治理两条路径在应对暴雨事件方案上的有效性进行了统一评估。在全面推进美丽中国建设的大背景下,本文研究结果突出表明:生态治理路径对开展暴雨治理更为有效,从气候风险应对的角度提供了支持生态文明高质量发展的观点,同时也为国家推进海绵城市建设坚持生态为本、自然循环的基本原则提供了实证支持。第三,本文通过情景模拟,测算了高排放情景下暴雨影响造成的具体经济损失程度,以及城市治理带来的重要积极影响,一方面有助于量化展示暴雨灾害对中国经济社会的强烈冲击,另一方面也对中国城市积极开展暴雨治理实践提出紧迫要求,对气候变化背景下城市部门如何有效适应规避气候风险具有重要参考价值。

本文的结构安排为:第一部分介绍有关研究进展;第二部分介绍本文实证框架与数据变量;第三部分呈现基准回归结果,并从企业进入的视角呈现暴雨造成的间接影响;第四部分检验中国城市部门面临暴雨灾害的治理成效,并通过情景模拟进行评估;第五部分为结论与启示。

1 研究进展

与本文密切相关的经济学文献共有以下两支。第一支文献主要关注自然灾害对城市发展的影响。在微观企业层面,Zhang等^[5]、Somanathan等^[6]、金刚和沈坤荣^[7]从制造业或服务

业企业的视角强调了气象因素对企业生产、销售、要素使用等方面的损害，但相关讨论主要从高温的角度切入，这也是绝大多数相关文献的研究方向。De Mel等^[8]、Indaco等^[9]、Pelli等^[10]、Elliott等^[11]等则从洪水、海啸等水患的角度验证了气象灾害对企业生产的持续性损害效果。在微观家庭层面，自然灾害对城市居民的影响同样是多维度的。已有研究从时间利用、健康与人力资本、迁移、风险偏好、犯罪行为等多角度出发，讨论了居民个体面临灾害事件时的不同反应^[12-20]。在宏观层面，房价作为隐含地区经济活跃程度的重要指标，成为讨论城市灾害影响的常见关注点。已有较多研究表明，灾害事件的发生将导致当地房价水平出现明显下降，反映了当地经济活动的衰退与该地区对居民吸引力的下降^[21-25]。而在利用加总数数据讨论灾害与经济发展的文献中，Elliott等^[26]与Kocornik-Mina等^[3]利用夜间灯光数据，识别检验了台风与洪涝灾害对城市经济活动的损害效应。在利用结构估计建模并开展反事实分析的文章中，Conte等^[27]与Desmet等^[28]等测算发现，在一般均衡下气象灾害不仅将导致全球各国遭受大幅经济损失，而且将引发经济活动与人口在空间范围内的大规模再配置。

第二支文献主要探究自然灾害事件下的治理与应对。为突出重点，围绕暴雨灾害相关问题开展经济学讨论，不再赘述其他灾害事件的治理应对^[29-31]。部分研究指出，面临暴雨洪涝灾害时，积极开展基建治理对缓解灾害影响的作用较大。如Fried^[32]通过建模测算表明，基建投资治理能有效减少暴雨对经济活动的不利影响；Gandhi等^[33]利用全球城市面板数据集实证检验提出，修筑堤坝对缓解暴雨灾害影响的作用显著。采用基建工程手段应对暴雨事件的思路直观且清晰，但正如Hovekamp和Wagner^[34]实证发现所表明的，尽管通过抬高房屋离地面高度能显著减少洪涝灾害导致的成本损失，但其止损有效性仅是湿地等生态建设的1/3。已有经济学研究在实证上评估发现，湿地、林地等生态系统的建立和完善均能起到缓解暴雨事件影响的作用^[35-37]，该观点也得到了自然科学领域研究的支持^[38-39]。国内研究中，陈海山和陈志龙^[4]从居民通勤与企业生产率角度讨论暴雨冲击的经济影响，并提出中国城市内涵式发展转型的设想，但研究重点在于暴雨对城市经济活动的影响效果。相比之下，本文则着重展现了城市部门长期面临暴雨影响的适应过程，在城市治理应对路径上着重突出了生态治理的优势作用，并通过情景模拟进一步呈现了灾害后果与治理成效，这也是本文的创新亮点所在。总体来说，在暴雨治理的问题上，研究从基建工程与生态环境系统修复

的不同角度开展讨论，这也形成了后文关于中国暴雨治理的分析基础。

2 实证框架与数据变量

2.1 实证框架

在实证上，本文首先需要验证的问题是，中国暴雨事件是否对城市部门形成损害，包括洪涝相关的灾害损失以及间接的经济效应。其一，在分析暴雨事件造成城市部门灾害损失的基准部分，本研究采用城市层面数据开展回归估计，方程如下：

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{HeavyRain}_{it} + \mathbf{X}_{it}\Gamma + \lambda_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中， HeavyRain_{it} 表示城市 i 在年份 t 的暴雨事件的影响程度，为本文核心解释变量； Y_{it} 为系列被解释变量，包括洪涝直接经济损失、房屋倒塌数与受灾人口数3个变量；为提高估计精度，本文额外控制一系列时变的城层面变量 $\mathbf{X}_{it}$ ，包括滞后一期的城市行政区划面积、城市人口、城市GDP总量、城市二产与三产GDP占比^①； λ_i 为城市固定效应（Fixed Effect, FE），用以吸收不随时间变化的城市特征，包括潜在影响洪涝特征的地形地貌等自然因素； η_t 为年份固定效应，用以吸收不随地区变化的宏观总体层面特征； ε_{it} 为随机扰动项。系数 α_1 的估计值是式（1）的关注重点，表征暴雨事件的发生对被解释变量 Y_{it} 的影响程度。

其二，为估计暴雨事件造成的间接经济效应，本研究采用企业进入的微观数据开展验证，在式（1）方程设置的基础上额外加入表征行业维度的下标，将被解释变量替换为城市×行业×年份层面的企业进入数目变量，并添加行业层面固定效应。

进一步地，在讨论城市应对暴雨事件的治理问题上，本文进行了两步分析方法。第一步，为总体评估城市应对暴雨的韧性能力，参考Burke和Emerick^[40]、Carter等^[41]气候变化经济学文献，本文构建长差分（Long Difference, LD）方法进行考察。具体而言，式（1）采用固定效应面板回归方式进行估计，本质上考察的是短期内城市面临暴雨灾害的影响后果。但使用长差分方法，则充分考虑到经济主体在长期内的自适应过程，其估计系数的经济含义与固定效应面板回归有所区别。在具体操作上，预先将总样本区间 T 拆分为 T_1 、 T_2 前后两段（ $T = T_1 \cup T_2$ ），对每段样本区间变量取均值，得到被解释变量均值 $\bar{Y}_{iT_j}$ 和解释变量均值 $\overline{\text{HeavyRain}}_{iT_j}$ 、 $\bar{\mathbf{X}}_{iT_j}$ ， $j = 1, 2$ 。接下来，构建长差分回归估计式：

① 其中，城市行政区划面积、城市人口、城市GDP总量均取对数形式。

$$\bar{Y}_{it_2} - \bar{Y}_{it_1} = \zeta_0 + \zeta_1 \left(\overline{\text{HeavyRain}}_{it_2} - \overline{\text{HeavyRain}}_{it_1} \right) + \left(\bar{\mathbf{X}}_{it_2} - \bar{\mathbf{X}}_{it_1} \right) \Gamma + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中, ζ_1 为核心解释变量, 其估计系数反映了城市部门长期面临暴雨灾害事件情境下的适应后的影响效果; 控制变量同样取均值处理为 $\bar{\mathbf{X}}_{it_1}$ 、 $\bar{\mathbf{X}}_{it_2}$ ^②。如果城市部门在长期内的确采取了应对治理措施以缓解暴雨冲击的灾害影响, 或者城市内经济主体自发形成了适应暴雨影响的生产生活模式, 那么长差分回归的系数 ζ_1 预计将小于固定效应面板回归的系数 α_1 , 这体现了暴雨灾害长期影响下城市部门形成了有效的抵御应对能力。

进一步地, 在式 (1) 和式 (2) 估计的基础上, 根据两者的核心估计系数 α_1 、 ζ_1 , 计算城市部门面临长期暴雨灾害影响下的总体韧性:

$$\text{城市韧性} = \left| \frac{\alpha_1 - \zeta_1}{\alpha_1} \right|, \alpha_1 > \zeta_1 > 0 \quad (3)$$

如果 ζ_1 趋近零值的程度相较 α_1 越高, 则说明长期下城市应对暴雨影响有越强的适应力, 式 (3) 计算的城市韧性将提升。“城市韧性”指标的取值范围在 0~1 之间。在最理想的情境下, 当经济体在长期内完全适应了外在气候冲击时, $\zeta_1 = 0$, 城市韧性的测度为 1。

而在现实实践中, 中国城市管理者的哪些政策措施可以起到有效应对暴雨事件、提升城市韧性的效果? 本文在实证章节的最后一部分, 将城市治理措施与暴雨事件项交乘开展回归验证。具体来说, 方程形式如下所示:

$$\begin{aligned} Y_{it} = & \beta_0 + \beta_{lp} \sum_p \text{HeavyRain}_{it} \times \text{Treat}_{it}^p + \\ & \beta_{2p} \sum_p \text{Treat}_{it}^p + \beta_3 \text{HeavyRain}_{it} + \\ & \mathbf{X}_{it} \Phi + \lambda_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

式中, Treat_{it}^p 表示暴雨事件下城市部门开展治理路径 p 的治理力度。交乘项 $\text{HeavyRain}_{it} \times \text{Treat}_{it}^p$ 的系数 β_{lp} 为式 (4) 的重点, 表示城市部门治理路径 p 对缓解暴雨事件影响的效果, 用以刻画城市暴雨治理的有效性。

为验证实证结果的可信度与稳定性, 本文开展了更换控制变量、改变暴雨事件变量定义形式、改变回归方程形式等系列稳健性检验, 估计结果保持了一致。

2.2 数据变量

在数据的使用上, 本文综合采用了城市层面宏观数据与

企业微观数据库。以下将具体介绍。

(1) 暴雨事件变量

本文利用国家气象监测总局发布的各地区日度天气信息, 提取天气信息中的“暴雨”关键词并汇总, 得到 2014—2019 年间每年该城市暴雨总发生天数。而在稳健性检验中, 本文也在数据中识别了每年该城市暴雨连续发生至少两天的总次数, 作为暴雨事件的另一项定义方式, 实证结果保持了一致。

(2) 洪涝灾害损失变量

本文利用国泰安数据库获取 2014—2019 年历次自然灾害事件影响情况及损失信息, 提取事件分类为洪涝、暴雨、降雨的灾害事件。根据历次自然灾害事件的覆盖城市范围与发生时间, 加总处理为城市—年份层面的面板数据集, 重点提取的变量有直接经济损失、房屋倒塌数和受灾人口数。在具体回归分析中, 以加 1 取对数作为回归被解释变量。在稳健性检验中, 采用其他形式指标与泊松回归估计均不改变结果的稳定性。

(3) 识别暴雨事件间接经济效应变量

本文以企业进入为例, 利用国家企业信用信息公示系统, 获取企业登记注册信息, 从中识别并汇总得到城市 $\times$ 行业 $\times$ 年份层面的企业进入面板数据集。在样本选取的过程中, 剔除农业、社会管理和社会组织、国际组织这几项行业分类, 将其他所有企业按照采矿业、制造业、能源行业、建筑业、服务业的行业划分汇总计算。

(4) 城市治理变量

本文一方面利用《中国城市统计年鉴》, 获取 2014—2019 年的城市雨水管道建设长度, 与城市行政面积相除得到单位面积雨水管道长度指标; 另一方面利用历年土地利用卫星监测遥感数据, 获取城市生态用地面积信息, 同样除以总行政面积后得到城市生态用地面积比例变量。其中, 生态用地为湿地、草地、森林、水面用地的总和。单位面积雨水管道长度指标用以表征城市通过基建模式开展暴雨洪涝治理的力度, 生态用地面积比例用以表征城市运用生态建设应对雨洪问题的力度。

(5) 控制变量

本文同样利用《中国城市统计年鉴》, 获取 2013—2018 年的 GDP 总量、人口总量、行政区划面积、第二产业与第三产业 GDP 占比信息。其中, 前三项总量指标均取对数处理。为尽可能避免不当控制 (Bad Control) 问题, 所有城市层面控制变量均滞后一期处理^[42]。

② 由于长差分方法将数据结构转化为截面数据, 样本数据特有的时间固有特征、地区固有特征已经在差分计算中被充分吸收, 因而不需要再额外控制固定效应。具体来说, 该式估计等价于如下回归方程式: $\bar{Y}_{it_j} = \zeta_0 + \zeta_1 \overline{\text{HeavyRain}}_{it_j} + \bar{\mathbf{X}}_{it_j} \Gamma + \lambda_i + \zeta_j + \varepsilon_i$ 。

3 实证结果

3.1 基准回归

基准回归部分将估计暴雨事件引发本地区洪涝灾害损失的程 度。为充分展现灾害后果，选取3项指标开展讨论，分别为：直接经济损失、房屋倒塌数与受灾人数^③。其中，直接经济损失变量最具有概括性，不仅包括房屋损坏、居民家庭财产损失受淹没情况等生活层面影响，也包括企业资产直接损失、行业经济活动开展受阻等生产经营方面影响，均按照统计对象的重置成本核算。表1展示了基准回归的结果。其中，奇数列列为不控制任何城市层面经济变量的估计结果，偶数列控制了相应的城市变量。如第1、2列所示，暴雨事件显著提高了洪涝灾害直接经济损失。平均来看，当年暴雨天数每增加一天，城市遭受洪涝灾害的直接经济损失上升约9.4%（第2列）。因洪涝灾害导致的房屋倒塌数与受灾人口数同样与城市当年暴雨事件显著关联。暴雨天数每增加一天将提高房屋倒塌数5.6%（第4列），提高受灾人口数12.7%（第6列）。总的来说，表1验证表明，暴雨事件对引发城市洪涝灾害的损害程度不仅在统计意义上显著相关（ $p<0.01$ ），而且在数值大小上极为可观。另一方面，表1结果的高度显著性，也侧面印证了本文测算暴雨事件指标的合理可信性。

3.2 稳健性检验

稳健性检验部分采用多种形式验证基准估计结果的可信性。首先，本文灵活加入不同数目的控制变量或不控制任何城市经济变量开展回归，均可以发现暴雨事件对洪涝灾害损

失的显著正向影响。其次，本文对暴雨事件这一核心解释变量进行重新定义：为体现洪涝灾害形成需要暴雨天气连续性发生的客观条件，可界定该城市连续2天发生暴雨记为1次暴雨事件，并汇总至相应年份层面。结果表明，在更严重的暴雨事件界定门槛下，暴雨的损害效应同样显著为正且影响效应更大。最后，考虑到被解释变量原始数据中存在零值，区别于基准分析中预先加1并取对数的数据处理，本文额外开展了灵活调整变量单位、将被解释变量转化为反双曲正弦（Arcsinh）形式、进行泊松回归等实证分析方法，估计结果均呈现出1%显著性水平下的一致性。

总的来说，尽管暴雨引发洪涝灾害事件具有直观性，但从实证估计上具体在量级上理解暴雨事件的效应大小仍然具有重要意义。本文发现，暴雨事件引发城市洪涝灾害损失的后果巨大，这为后文讨论暴雨事件下的城市治理奠定了实证基础。但在此之前，本文将先以企业进入为例，探究暴雨事件对经济社会的间接影响效果。

3.3 暴雨事件对企业进入的影响

这一部分将进一步拓展分析暴雨事件对城市经济活动的间接影响。本文在此将从企业进入的视角出发，在企业微观层面开展讨论。尽管直接经济损失的核算中已包含企业资产损失等要素，但由于其仅按照现存企业重置成本统计，并不考虑企业在外生冲击时的要素投入优化调整，同时也未顾及在广延边际上企业的市场进入选择。因此，这里从企业进入的维度讨论有助于充分揭示气候变化对经济社会的多维度效应。

表 1 暴雨事件的洪涝灾害损失效应
Table 1 The loss effect of flood disaster caused by heavy rain events

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	直接经济损失		房屋倒塌数		受灾人口	
暴雨事件	0.0924*** (0.0275)	0.0939*** (0.0283)	0.0619*** (0.0148)	0.0561*** (0.0147)	0.126*** (0.0335)	0.127*** (0.0345)
观测数	1679	1679	1679	1679	1679	1679
调整 R ²	0.392	0.391	0.395	0.396	0.385	0.384
城市控制变量	否	是	否	是	否	是
城市 FE	是	是	是	是	是	是
年份 FE	是	是	是	是	是	是

注：*、**、*** 分别表示估计系数在 10%、5%、1% 的显著性水平上显著；标准误为聚类至城市层面的稳健标准误；正文表格仅展示核心解释变量的估计系数，控制变量的估计系数留存备案；后文分析以添加城市控制变量的结果为主。下表同。

③ 这 3 项被解释变量指标均取对数。

在极端气象事件下，企业生产运营成本将明显提高，企业供应链的安全稳定也将受到严重波及。已有研究利用不同国家场景的微观数据检验发现，在自然灾害冲击后企业生产运营将明显受损^[6,8]，其中不乏以中国为背景的研究^[5,11]。但上述研究一方面讨论的气象事件并非暴雨，另一方面主要从集约边际（Intensive Margin）讨论企业的产出销量等，未能从广延边际（Extensive Margin）进行讨论。与本文接下来分析思路最为接近的为文献^[43]，该文献利用美国1998—2018年的数据发现，长远来看，洪涝灾害不仅影响到总体就业产出，同样大幅降低了企业进入水平。除此之外，陈海山和陈志龙^[4]简要提及暴雨冲击对企业进入的讨论，但未作具体分析。

本文在中国城市面临暴雨影响的实证背景下，利用企业进入微观数据重新进行检验。为较充分理解不同行业的企业进入特征差异，在展示全体非农行业企业进入数目的基础上，将工业部门进一步细分为采矿、制造、电力燃气水、建筑业，相应回归的样本维度均为城市—年份—行业层面。

表2第1列展示了非农行业全样本企业进入数的估计结果。平均来看，暴雨天数每增加一天，本城市当年全行业企业进入市场生产的数目显著降低0.186%。不同行业的企业进入呈现出差异化特征（第2~6列）：暴雨事件对于采矿业和制造业企业进入市场生产的影响较为显著，估计系数的大小分别为0.520%与0.265%，大于前述平均效应。而对于工业部门广义范围内的电力燃气水行业与建筑业，暴雨事件对于这些行业企业进入的影响不显著。最后，在服务业企业的子样本中，平均而言企业进入水平不受暴雨事件影响。城市非农部门中不同行业企业进入与暴雨事件的差异化关联度，反映了行业的生产运营特征。从企业生产特征上看，采矿业企业生产作

业在强降雨下难以开展；制造业企业在生产与供应链方面等均受暴雨影响严重，存货、固定资产等易受暴雨影响而有损价值，货物运输等环节同样受到气象灾害的限制；而其他类型的企业的生产运营受暴雨影响潜在较小。另外，考虑到行业的竞争性特征，电力、燃气及水的生产和供应行业以及建筑业的企业，相较于其他工业行业的企业，平均规模较大，竞争性较弱。因此，在生产成本同等提高的情况下，这些行业的企业进入市场的难度增加幅度将小于那些竞争性较强的行业内企业数量的减少。总的来说，暴雨洪涝对企业进入有明显负向影响，但这种效应在不同行业之间有所差异。

4 暴雨事件的治理应对

在前文中，本研究评估发现，暴雨事件不仅引发城市洪涝灾害直接损失的效应很大，而且严重损害到企业进入市场的行为。在此基础上，值得思考的问题是：在长期的气象灾害事件影响下，城市部门应对灾害的韧性是否得到增强？进一步的，城市管理者采取的哪些措施能够起到增强城市部门应对灾害冲击韧性的效果？

4.1 中国城市应对暴雨影响的韧性

本文在基准分析中以含固定效应面板数据回归的形式开展估计，已有较多学者认为其是对短期效应的评估^[40-41]。而为了呈现长期下经济主体治理应对灾害事件后的影响效应，已有气候变化经济学研究多采用长差分的方法来开展分析。长差分方法下的估计系数，与固定效应面板回归的估计系数相比，可用于识别经济主体适应灾害的韧性强弱。基于此，本

表2 暴雨事件对企业进入的间接经济效应影响
Table 2 The indirect economic effect of heavy rain events on enterprise entry

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	城市—年份—行业企业进入数					
	全体非农行业	采矿业	制造业	电力燃气水行业	建筑业	服务业
暴雨事件	-0.00186* (0.000953)	-0.00520** (0.00221)	-0.00265** (0.00113)	-0.000601 (0.00180)	-0.00193 (0.00174)	-0.00117 (0.00114)
观测数	464393	11627	184570	9663	24512	234021
调整 R ²	0.815	0.703	0.764	0.831	0.850	0.849
城市控制变量	是	是	是	是	是	是
城市 FE	是	是	是	是	是	是
年份 FE	是	是	是	是	是	是
行业 FE	是	是	是	是	是	是

文将样本区间拆分为2014—2016年、2017—2019年，以以上2个时间区间对变量取均值处理，在此基础上开展式（2）所示的估计。

估计结果如表3所示。为便于对比，奇数列呈现了表1基准回归的固定效应面板估计结果；偶数列则采用长差分方法开展估计。不难看出，无论被解释变量为直接经济损失、房屋倒塌数或受灾人口数，长差分法下的系数估计值均比固定效应面板回归下的估计系数更小。这表明，当充分考虑城市部门在长期内面临暴雨灾害的适应与治理应对过程时，暴雨事件的影响效果将明显减小。表3的实证发现符合预期。进一步地，根据前文实证策略部分式（3）的计算，可以根据固定效应面板回归与长差分估计结果的差异，构建刻画城市冲击韧性程度的指标。以直接经济损失指标考察城市韧性为例（第1、2列），可以看到，长差分下的暴雨事件影响从9.39%下降到7.07%，城市韧性使得影响效果相对下降了24.71%（ $=\frac{9.39\%-7.07\%}{9.39\%}$ ）。在其他回归结果中，以房屋倒塌数和受灾人口数计算的城市韧性指标分别为20.86%和11.81%。

总体而言，表3结果充分表明，由于城市韧性的存在，中国城市部门在长期下面临暴雨灾害的影响有明显的缓解效果。由于本文计算的样本总区间共为6年，在更长时间段下的城市应对灾害成效还将进一步提升。接下来，本文要进一步追问，城市韧性的背后是什么？从城市管理者的角度出发，有哪些措施可以起到治理应对暴雨影响的成效？本文将首先梳理介绍中国城市应对暴雨事件的治理政策实践。

4.2 城市暴雨应对的政策实践

在暴雨灾害不断侵袭城市部门的背景下，有关部门出台了系列治理政策以缓解暴雨对城市部门的损害。2013年，国务院办公厅发布《关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知》，重点指出暴雨极端天气对社会管理、城市运行和人民群众生产生活造成的巨大影响，并提出完善建成城市排水防涝工程体系的规划要求，其中不仅包括以基建思路主导的加快推进雨污分流管网改造与建设，同时也包括以生态思路主导的推行低影响开发建设模式等^④。同年12月，习近平总书记在中央城镇化工作会议中强调，提升城市排水系统时要优先考虑把有限的雨水留下来，优先考虑更多利用自然力量排水，建设自然积存、自然渗透、自然净化的海绵城市。2014年10月，住房和城乡建设部发布《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建（试行）》文件，从具体规划设计与工程建设维护角度介绍了低影响开发模式的建设思路与案例。2015年，国务院办公厅出台《关于推进海绵城市建设的指导意见》，提出坚持生态为本、自然循环的城市发展理念，要充分发挥建筑、道路和绿地、水系等生态系统对雨水的吸纳、蓄渗和缓释作用，有效控制雨水径流，实现自然积存、自然渗透、自然净化，对海绵城市概念进一步明确化与强调。而在2016年发布的《城市适应气候变化行动方案》中，则将城市洪涝治理体系建设纳入到城市部门适应气候变化的大框架里。

在后续的年份中，有关城市暴雨治理与洪涝防治的政策文件持续出台。值得注意的是，这些文件均强调暴雨治理不

表3 暴雨事件的长短期影响：城市韧性的计算
Table 3 Long and short term impacts of heavy rain events: calculation of urban resilience

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	直接经济损失		房屋倒塌数		受灾人口	
	面板回归	长差分法	面板回归	长差分法	面板回归	长差分法
暴雨事件	0.0939*** (0.0283)	0.0707** (0.0351)	0.0561*** (0.0147)	0.0444** (0.0216)	0.127*** (0.0345)	0.112** (0.0446)
观测数	1679	286	1679	286	1679	286
调整 R ²	0.391	0.000	0.396	0.037	0.384	0.007
城市控制变量	是	是	是	是	是	是
城市 FE	是	否	是	否	是	否
年份 FE	是	否	是	否	是	否
城市韧性程度	24.71%		20.86%		11.81%	

④ 低影响开发建设模式指的是，通过生态建设方式，减少城市建设开发对自然环境的破坏，形成人与自然、土地利用、水环境、水循环的和谐^[44]。

仅要优化防洪排涝相关基础设施的建设布局，而且要重点落实城市生态环境的保护与显著改善。这为接下来本文的实证讨论奠定了基础。表4汇总梳理了重要政策文件。

4.3 城市暴雨应对的路径评估

根据前一部分的政策梳理，可以将城市暴雨治理的问题分解为以下两条路径：其一，通过排水防涝相关基础设施建设，降低洪涝灾害侵入城市的风险，并加快城市内的积水快速排出；其二，通过生态化手段开展治理建设，形成良好的水资源与土地资源利用分配格局，积极修复城市内部及周边的江河湖泊湿地，在城市内部进行低影响建设开发，增强水

吸收能力，涵养水源。

为此，本文接下来从基建治理与生态治理这两条路线出发，在实证上验证：在中国城市面临暴雨灾害考验的背景下，这两条治理路径是否的确能够起到有效应对暴雨的作用？陈海山和陈志龙^[4]对相关问题进行了类似的探索，发现排水能力建设与生态环境都能缓解暴雨冲击的影响，但并未对两者的效果进行比较分析。本文则在统一的回归框架下，对基建治理与生态治理在有效应对暴雨影响方面的贡献率进行分解与比较，为城市暴雨治理路径进一步明确方向。

在此，表5基于前文表1有关暴雨事件形成灾害损失的讨论，从城市治理的角度出发开展回归分析，用城市治理措施

表4 重要政策文件梳理
Table 4 List of important policy documents

发布时间	出台机构	政策文件
2013 年	国务院办公厅	《关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知》
2014 年	住房和城乡建设部	《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建（试行）》
2015 年	国务院办公厅	《关于推进海绵城市建设的指导意见》
2016 年	国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部	《城市适应气候变化行动方案》
2017 年	国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部	《关于印发气候适应型城市建设试点工作的通知》
2021 年	财政部、住房和城乡建设部、水利部	《关于开展系统化全域推进海绵城市建设示范工作的通知》
2021 年	国务院办公厅	《关于加强城市内涝治理的实施意见》
2024 年	国务院	《深入实施以人为本的新型城镇化战略五年行动计划》

表5 城市韧性的路径评估：基建治理与生态治理
Table 5 Path assessment of urban resilience: infrastructure and ecological governance

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	直接经济损失		房屋倒塌数		受灾人口	
	未标准化	标准化	未标准化	标准化	未标准化	标准化
暴雨事件×基建治理	-0.0274** (0.0135)	-0.278** (0.137)	-0.0154** (0.00751)	-0.156** (0.0762)	-0.0260 (0.0165)	-0.264 (0.167)
暴雨事件×生态治理	-0.00237* (0.00122)	-0.326* (0.168)	-0.00131** (0.000584)	-0.180** (0.0803)	-0.00238 (0.00150)	-0.328 (0.206)
暴雨事件	0.116 (0.0786)	0.545*** (0.157)	0.0652* (0.0372)	0.313*** (0.0807)	0.155 (0.0972)	0.715*** (0.190)
观测数	1639	1639	1639	1639	1639	1639
调整 R ²	0.388	0.388	0.398	0.398	0.380	0.380
城市控制变量	是	是	是	是	是	是
城市 FE	是	是	是	是	是	是
年份 FE	是	是	是	是	是	是
标准化基建治理贡献率	46.03%		46.43%		/	
标准化生态治理贡献率	53.97%		53.57%		/	

注：以直接经济损失为例解释贡献率的计算方式：基建治理贡献率46.03%=[0.278/(0.278+0.326)]×100%，生态治理贡献率=1-基建治理贡献率。在第5、6列中，由于交乘项系数不显著，未计算贡献率，但是在未聚类的回归估计下，第5、6列的交乘项系数均是显著的，基建治理的贡献率为44.59%。

与暴雨事件的交乘项来刻画城市治理在应对暴雨事件的有效性（见式（4））。表5的奇数列首先展示了估计结果，可以看到，在以单位面积雨水管道长度刻画的基建治理和以生态用地比例刻画的生态治理作用下，暴雨事件对城市形成的洪涝损失程度均显著下降。而为了增强基建与生态治理两条路径在治理有效性方面的可比程度，表5偶数列将暴雨事件、基建治理、生态治理3个解释变量均进行标准化处理，标准化后的变量均值为0、标准差为1。由此，暴雨事件分别与基建治理、生态治理交乘的变量系数具有可比性。以第2列为例具体解释：如果某城市并未开展基建与生态治理，那么暴雨事件每上升一个标准差，将造成54.5%的洪涝直接经济损失；而当基建治理每增加一个标准差，将减少暴雨事件的损害程度27.8%；当生态治理每增加一个标准差，将减少暴雨事件的损害程度32.6%。而对于房屋倒塌数，同样可以看到：无论是基建治理还是生态治理的手段，均显著缓解暴雨灾害事件的破坏效果，标准化后生态治理的有效性高于基建治理。对于受灾人口数，估计值在10%水平上不显著，但估计系数的方向符合预期。

为更加明确基建治理与生态治理的贡献率，将基建与生态治理这两项交乘项系数按总和为100标准化分解。由表5可以看出，在城市部门开展暴雨应对治理的路径上，基建治理对降低暴雨直接经济损失的贡献率为46.03%，生态治理的贡献率为53.97%；在房屋倒塌数方面，基建治理的贡献率同样在46%左右。综合来看，基建治理与生态治理均是城市部门应对暴雨事件的有效路径，而生态治理路径的贡献率高于基建治理。

4.4 情景模拟

最后，本文通过情景模拟，初步计算城市治理在应对暴

雨灾害方面的重要性。参考Dai等^[45]对未来地球强降水开展的气候预估，本文对以上的实证结果进行情景模拟。Dai等^[45]以1981—2014年观测值作为历史基准数据，计算了到21世纪末（2081—2100年）的极端降雨变化情形，并作为参照呈现了基于常见的HadCRUT4^⑤、GISTEMP4模型^⑥、多模型集合平均等方式评估下的极端降水增幅情况。本文根据2014年中国洪涝灾害直接经济损失1573.55亿元，在不同极端降水增幅的情景下开展模拟计算。表6呈现了高排放情景下的极端降雨量变化与洪涝灾害损失的模拟结果。

由第1至4列所示，在不同全球气候模型的预测下，全球极端降水增幅在17.9%至24.5%之间。以第4列Dai等^[45]最新研究结果为例，如果全球极端降水增幅为18.1%，那么将引发中国洪涝直接经济损失上升1858.36亿元。暴雨治理应对在一定程度上可以降低损失情况，具体来说：以2014—2019年的平均治理水准作为基准，如果基建治理上升1标准差，将减少直接经济损失下降516.62亿元；如果生态治理上升1标准差，将减少直接经济损失下降605.83亿元。

5 结论与启示

2023年末，中共中央 国务院《关于全面推进美丽中国建设的意见》明确指出，要有效应对气候变化不利影响和风险，深化气候适应型城市建设，守牢安全底线。暴雨事件是影响城市经济社会发展与人民生活最为严重频发的极端环境灾害事件之一。本文综合利用2014—2019年中国城市面板数据与企业微观数据，首先在实证上检验表明：暴雨不仅造成极大的城市洪涝灾害损失，而且对企业进入市场等经济活动同样有较强的损害影响。基于此，评估城市部门对暴雨影响的治理应对成为了城市管理者面临的重要问题。

表6 高排放情景下的洪涝直接经济损失
Table 6 Direct economic losses from floods under high emission scenarios

	(1)	(2)	(3)	(4)
	多模型集合平均	HadCRUT4 模型	GISTEMP4 模型	Dai 等（2024）
全球极端降水增幅	+24.5%	+17.9%	+18.3%	+18.1%
直接经济损失总额	+1959.06 亿元	+1855.22 亿元	+1861.51 亿元	+1858.36 亿元
基建治理上升1标准差	-544.62 亿元	-515.75 亿元	-517.50 亿元	-516.62 亿元
生态治理上升1标准差	-638.66 亿元	-604.80 亿元	-606.85 亿元	-605.83 亿元

注：第1列多模型集合平均的预测是基于多种全球气候模型的综合评估。

⑤ HadCRUT4 全称为 Hadley Centre/Climatic Research Unit Temperature version 4，由英国气象局提供。
⑥ GISTEMP4 模型全称为 GISS Surface Temperature Analysis version 4，由美国国家航空航天局提供。

本文首先验证,长期的城市治理应对措施有效地缓解了暴雨造成的损害影响,充分体现出城市韧性对克服外部冲击的重要作用。进一步剖析城市韧性的来源,本文从城市管理者的角度出发分析应对暴雨事件的治理路径,结果表明:无论是以排水防涝基础设施建设为导向的基建治理路径,抑或是以生态环境体系修复完善为导向的生态治理路径,都能够有效起到缓解暴雨危害的作用。这一实证发现与中国城市暴雨治理应对的实践形成呼应,印证了相关政策的科学性。本文测算发现,生态治理路径对暴雨治理的贡献率高于基建治理路径,显示了生态体系修复完善对城市气候适应的重要作用。最后,本文通过情景模拟发现,在高排放情景下极端降雨增加将导致未来中国洪涝直接经济损失提高约1900亿元,而基建治理与生态治理的提升都将起到较强的缓解效果。

国务院2024年印发《深入实施以人为本的新型城镇化战略五年行动计划》指出,加强城市洪涝治理是城市安全韧性提升的重要环节。中国自然灾害频发,如何提升城市管理者应对灾害冲击的能力是需要持续探寻的问题^[46]。在暴雨事件的具体问题上,通过生态体系修复的城市建设模式,不仅可以做到成本更低的低影响开发,而且在有效性上也较灰色基础设施工程建设更强,是提高新型城镇化质量、促进人与自然和谐发展双赢的重要抓手。本文结论为推进新型城镇化战略与生态为本的海绵城市建设提供了实证参考。

参考文献

- [1] Donat M G, Lowry A L, Alexander L V, et al. More extreme precipitation in the world's dry and wet Regions [J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6: 508–513.
- [2] 俞孔坚, 李迪华, 袁弘, 等. “海绵城市”理论与实践[J]. *城市规划*, 2015, 39(6): 26–36.
- [3] Kocornik-Mina A, McDermott T K J, Michaels G, et al. Flooded cities[J]. *American Economic Journal: Applied Economics*, 2020, 12(2): 35–66.
- [4] 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(06): 121–134.
- [5] Zhang P, Deschenes O, Meng K, et al. Temperature effects on productivity and factor reallocation: Evidence from a half million Chinese manufacturing plants[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018, 88: 1–17.
- [6] Somanathan E, Somanathan R, Sudarshan A, et al. The impact of temperature on productivity and labor supply: Evidence from Indian manufacturing [J]. *Journal of Political Economy*, 2021, 129(6): 1797–1827.
- [7] 金剛, 沈坤榮. 气候变化与线下服务业消费: 以电影行业为例[J]. *世界经济*, 2022, 45(9): 152–178.
- [8] De Mel S, McKenzie D, Woodruff C. Enterprise recovery following natural disasters[J]. *The Economic Journal*, 2012, 122(559): 64–91.
- [9] Indaco A, Ortega F, Taşpinar A S. Hurricanes, flood risk and the economic adaptation of businesses[J]. *Journal of Economic Geography*, 2021, 21(4): 557–591.
- [10] Pelli M, Tschopp J, Bezmaternykh N, et al. In the eye of the storm: Firms and capital destruction in India [J]. *Journal of Urban Economics*, 2023, 134: 103529.
- [11] Elliott R J, Liu Y, Strobl E, et al. Estimating the direct and indirect impact of typhoons on plant performance: Evidence from Chinese manufacturers [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2019, 98: 102252.
- [12] Boustan L P, Kahn M E, Rhode P W. Moving to higher ground: Migration response to natural disasters in the early twentieth century[J]. *American Economic Review*, 2012, 102(3): 238–244.
- [13] Zivin J G, Neidell M. Temperature and the allocation of time: Implications for climate change[J]. *Journal of Labor Economics*, 2014, 32(1): 1–26.
- [14] Cameron L, Shah M. Risk-taking behavior in the wake of natural disasters [J]. *Journal of Human Resources*, 2015, 50(2): 484–515.
- [15] Harari M, Ferrara E L. Conflict, climate, and cells: A disaggregated analysis[J]. *Review of Economics and Statistics*, 2018, 100(4): 594–608.
- [16] Jessoe K, Manning D T, Taylor J E. Climate change and labour allocation in rural Mexico: Evidence from annual fluctuations in weather[J]. *The Economic Journal*, 2018, 128(608): 230–261.
- [17] 王春超, 林芊芊. 恶劣天气如何影响劳动生产率? ——基于快递业劳动者的适应行为研究[J]. *经济学(季刊)*, 2021, 21(3): 797–818.
- [18] LoPalo M. Temperature, worker productivity, and adaptation: Evidence from survey data production[J]. *American Economic Journal: Applied Economics*, 2023, 15(1): 192–229.
- [19] 易福金, 余露芸, 周天昊, 等. 高温与认知能力——基于中老年群体的实证研究[J]. *经济学(季刊)*, 2023, 23(1): 389–408.
- [20] Cohen F, Gonzalez F. Understanding the link between temperature and crime[J]. *American Economic Journal: Economic Policy*, 2024, 16(2): 480–514.
- [21] Bin O, Kruse J B, Landry C E. Flood hazards, insurance rates, and amenities: Evidence from the coastal housing market[J]. *Journal of Risk and Insurance*, 2008, 75(1): 63–82.
- [22] Bin O, Landry C E. Changes in implicit flood risk premiums: Empirical evidence from the housing market [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2013, 65(3): 361–376.
- [23] Zhang L. Flood hazards impact on neighborhood house prices: A spatial quantile regression analysis[J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2016, 60: 12–19.
- [24] Ortega F, Taşpinar S. Rising sea levels and sinking property values: Hurricane sandy and New York's housing market[J]. *Journal of Urban Economics*, 2018, 106: 81–100.
- [25] Zivin J G, Liao Y J, Panassié Y. How hurricanes sweep up housing markets: Evidence from Florida[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2023, 118: 102770.
- [26] Elliott R J, Strobl E, Sun P. The local impact of typhoons on economic activity in China: A view from outer space[J]. *Journal of Urban Economics*, 2015, 88: 50–66.
- [27] Conte B, Desmet K, Nagy D K, et al. Local sectoral specialization in a warming world[J]. *Journal of Economic Geography*, 2021, 21(4): 493–530.
- [28] Desmet K, Kopp R E, Kulp S A, et al. Evaluating the economic cost of coastal flooding[J]. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2021, 13(2): 444–486.
- [29] Barreca A, Clay K, Deschênes O, et al. Convergence in adaptation to climate change: Evidence from high temperatures and mortality, 1900–2004 [J]. *American Economic Review*, 2015, 105(5): 247–251.
- [30] Blakeslee D, Fishman R, Srinivasan V. Way down in the hole: Adaptation

- to long-term water loss in rural India[J]. American Economic Review, 2020, 110(1): 200–224.
- [31] Moscona J, Sastry K A. Does directed innovation mitigate climate damage? Evidence from U.S. agriculture [J]. The Quarterly Journal of Economics, 2023, 138(2): 637–701.
- [32] Fried S. Seawalls and stilts: A quantitative macro study of climate adaptation[J]. The Review of Economic Studies, 2022, 89(6): 3303–3344.
- [33] Gandhi S, Kahn M E, Kochhar R, et al. Adapting to flood risk: Evidence from a panel of global cities[R]. NBER Working Paper No. 30137, 2022.
- [34] Hovekamp W P, Wagner K R H. Efficient adaptation to flood risk[J]. AEA Papers and Proceedings, 2023, 113: 304–309.
- [35] Thomas H, Nisbet T R. An assessment of the impact of floodplain woodland on flood flows[J]. Water and Environment Journal, 2007, 21(2): 114–126.
- [36] Sun F L, Carson R T. Coastal wetlands reduce property damage during tropical cyclones[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2020, 117(11): 5719–5725.
- [37] Taylor C A, Druckenmiller H. Wetlands, flooding, and the clean water act [J]. American Economic Review, 2022, 112(4): 1334–1363.
- [38] Acreman M, Holden J. How wetlands affect floods[J]. Wetlands, 2013, 33: 773–786.
- [39] Spalding M D, McIvor A L, Beck M W, et al. Coastal ecosystems: A critical element of risk reduction[J]. Conservation Letters, 2014, 7(3): 293–301.
- [40] Burke M, Emerick K. Adaptation to climate change: Evidence from US agriculture[J]. American Economic Journal: Economic Policy, 2016, 8(3): 106–140.
- [41] Carter C, Cui X M, Ghanem D, et al. Identifying the economic impacts of climate change on agriculture[J]. Annual Review of Resource Economics, 2018, 10: 361–380.
- [42] 王欢欢, 樊海潮, 陈诗一. 污染物总量控制与结构调整[J]. 经济学(季刊), 2023, 23(4): 1495–1512.
- [43] Jia R X, Ma X, Xie V W. Expecting floods: Firm entry, employment, and aggregate implications[R]. NBER Working Paper No. 30250, 2022.
- [44] 吴丹洁, 詹圣泽, 李友华, 等. 中国特色海绵城市的新兴趋势与实践研究[J]. 中国软科学, 2016, (1): 79–97.
- [45] Dai P X, Nie J, Yu Y, et al. Constraints on regional projections of mean and extreme precipitation under warming[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2024, 121(11): e2312400121.
- [46] 王永明, 郑姗姗. 地方政府应急管理效能提升的多重困境与优化路径——基于“河南郑州‘7·20’特大暴雨灾害”的案例分析[J]. 管理世界, 2023, 39(3): 83–96.