

张德涛, 丁俊凯. 数实融合能否提高城市遭遇气温冲击时的经济韧性?[J]. 中国人口·资源与环境, 2026, 36(4): 86-97. [ZHANG D T, DING J K. Can digital-real economy integration enhance urban economic resilience under temperature shocks?[J]. China population, resources and environment, 2026, 36(4): 86-97.]

数实融合能否提高城市遭遇气温冲击时的经济韧性?

张德涛, 丁俊凯

(山东大学经济学院, 山东 济南 250100)

摘要 城市作为宏观经济运行的核心载体,其经济韧性水平不仅关乎区域风险防控效能,更对构建新发展格局、推动经济高质量发展具有重要意义。数实融合是驱动产业变革的重要举措,为城市产业升级与经济发展提供了基础性技术条件。而在极端气温事件常态化背景下,数实融合能否有效提高城市经济韧性,亟须深入探讨。基于此,该研究利用中国 2010—2022 年地级及以上城市面板数据计算各城市面临的气温冲击水平、数实融合程度和经济韧性水平,以气温冲击与数实融合的交互项为核心解释变量,以城市经济韧性为被解释变量,借助固定效应模型实证检验气温冲击下数实融合对城市经济韧性的影响效应与作用机制,并进一步分析其异质性与门槛效应。研究发现:①在面对气温冲击时,数实融合有助于提高城市经济韧性。该结论在经过一系列稳健性检验和内生性处理后依旧成立。②机制分析表明,在气温冲击下,数实融合能够通过人才集聚效应、产业结构合理化效应与政府数字化治理效应显著提高城市经济韧性。③异质性分析结果显示,对于内陆城市、大中型城市和数字基础设施较为完善的城市而言,数实融合在其面临气温冲击时的积极影响更为明显。④门槛效应分析发现,当气温冲击较小时,数实融合能大幅度提高城市经济韧性;而当气温冲击增大时,数实融合虽仍能显著提高城市经济韧性,但提高幅度下降。因此,政府应加快推进数实融合进程、健全数实融合调节机制,充分发挥数实融合稳经济、促发展的积极效应,从而推动城市经济韧性持续稳定提高。

关键词 气温冲击;数实融合;城市经济韧性

中图分类号 F127 **文献标志码** A **文章编号** 1002-2104(2026)04-0086-12 **DOI: 10. 12062/cpre. 20251201**

世界气象组织观测表明,全球气温冲击持续加剧,中国气温升高速度显著高于同期全球平均水平^[1-2]。2023 年吐鲁番与东北地区分别遭遇 52.2℃ 的创纪录高温与 -53℃ 的世纪性极寒,极端气温事件已成为新常态。气温冲击诱发的强对流天气、干旱、低温及频繁的温度变化等严重干扰了实体经济的生产秩序^[3-5]。雷暴大风、冰雹、龙卷风、短时强降水等强对流天气会直接威胁生命安全、破坏农业生产、阻碍交通运输并妨碍能源供应;极端干旱会导致作物减产或绝收;低温雨雪则易造成电线覆冰、杆塔倒塌和电网停电;频繁的温度变化也会使水资源时空分布失衡。

城市作为人口的主要聚集区,是气候变化的主要影响对象。面对气温冲击及其导致的气象灾害,保持良好的经济韧性是维持城市运转的关键,也是其进一步发展必须具备的能力。更为重要的是,城市作为宏观经济运

行的核心载体,其经济韧性将直接关系到宏观经济系统的发展趋势和风险抗性,进而影响中国式现代化的历史进程^[6]。在此背景下,深入探究如何在气温冲击下提高城市经济韧性显得尤为重要。

数字经济与实体经济的深度融合(以下简称“数实融合”)是建设现代化产业体系的必然要求,更是赋能城市经济发展的重要抓手^[7]。党的二十大报告明确提出“加快发展数字经济,促进数字经济和实体经济深度融合”,数实融合由此被提升至国家战略高度。2023 年,中共中央、国务院印发《数字中国建设整体布局规划》,再次强化了数实融合的战略地位。2024 年,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于推进新型城市基础设施建设打造韧性城市的意见》,提出“推动新一代信息技术与城市基础设施建设深度融合”,“构建智能高效的新型城市基础设施体系,持续提升城市设施韧性、管理韧性、空间韧性”。

收稿日期: 2025-06-25 **修回日期:** 2025-12-17

作者简介: 张德涛,博士,教授,博导,主要研究方向为随机控制、绿色金融和环境风险。E-mail: zhangdetao@sdu.edu.cn。

通信作者: 丁俊凯,博士研究生,主要研究方向为气候金融、非正式制度和公司治理。E-mail: djksdu927@163.com。

基金项目: 国家重点研发计划项目“绿色发展背景下经济系统的动态分析、控制及博弈”(批准号: 2023YFA1009200);国家自然科学基金面上项目“绿色发展背景下信用风险量化分析及预警研究”(批准号: 12271305);国家自然科学基金创新研究群体项目“随机控制理论及其应用”(批准号: 12521001)。

伴随着政策持续推动,数实融合的广度与深度不断拓展,为驱动城市产业升级与经济发展提供了强大的基础性支撑。而在极端气温事件常态化演进的背景下,一个更值得深入探讨的问题是,数实融合除对经济发展形成直接的技术支持外,能否在城市面临气温冲击时建立相应风险缓冲机制,进一步提高其经济韧性?

为回答上述问题,本研究以中国2010—2022年地级及以上城市年度数据为样本,深入探究在气温冲击下,数实融合影响城市经济韧性的内在机理。本研究为数实融合赋能区域韧性问题提供了新证据,对推进中国式现代化进程中气候适应型经济体系建设具有重要意义。

1 文献综述

与本研究密切相关的文献可以分为数实融合的概念界定与经济效应、城市经济韧性的定义与实现路径、数实融合与城市经济韧性的关系3个方面。

第一,数实融合的概念界定与经济效应。已有研究通过对中国数实融合的政策演进过程进行梳理,提出了“两个融合”:促进数字技术与实体经济融合发展、推动数字经济和实体经济深度融合^[8]。基于此,后续学者对数实融合的内涵及表现形式进行了清晰界定:数实融合是指随着人工智能、大数据等数字技术在实体经济中的普及应用,数字经济与实体经济协同发展并形成良性循环的过程^[9]。换言之,其实质是数字产业化与产业数字化的协同演进过程^[10]。其中,数字产业化是指将数字技术转化为可规模化生产、可市场化交易的产品和服务的过程,体现了数字技术从虚拟向实体经济的落地转化。而产业数字化是指传统产业通过应用大数据、云计算、人工智能等新一代数字技术进行转型升级^[11],提升生产规模和经营效率的过程,体现了传统产业的数字化转型^[12]。在明确概念内涵的基础上,现有研究进一步探讨了数实融合的经济后果,证实了其在降低交易成本^[13]、推动现代化产业体系建设^[14]、促进绿色创新^[9]、提高全要素生产率^[15]等方面具有显著优势。

第二,城市经济韧性的定义与实现路径。“韧性”一词源于工程材料学,指物理系统在扰动和胁迫下维持稳定的能力。在生态学中,韧性被定义为个体或系统对外来冲击的缓冲能力。在经济学领域,主流理论早期并未关注韧性概念,直至Reggiani等^[16]将其引入空间经济学研究范式,尝试运用物理工程学和生态学的动态均衡思维解析城市群现象,城市经济韧性的研究由此展开^[6]。后续研究从3个维度进一步界定其内涵:①抵抗力维度,体现为冲击发生时经济指标的波动幅度^[17];②恢复力维度,表现为冲击后回归均衡增长路径的速度^[18];③转型力

维度,强调经济系统能否在遭遇冲击后通过结构性变革实现更高质量的发展^[19]。在此基础上,学者对城市经济韧性的实现路径进行了深入讨论,考察了企业家精神^[20]、制度型开放^[21]、创新驱动政策^[22]、技术创新^[23]、智慧城市建设^[24]、数字经济^[25]、人口集聚^[26]、产业结构多样化^[27-28]等要素对城市经济韧性的影响。

第三,数实融合与城市经济韧性。与本研究较为相关的文献主要集中于探讨数字经济与城市经济韧性之间的关系。一方面,数字经济具有显著的创新驱动效应。张亚丽等^[29]从城市整体角度出发,认为数字经济能够提高城市整体的创新活跃度,进而提高城市经济韧性。于斌斌等^[25]将数字经济的创新驱动效应推进至政府与企业层面,认为数字经济能够推动政府与企业革新发展,进而提高城市经济韧性。郭爱君等^[30]则进一步考虑了数字经济带来的网络基础设施建设,认为其能够促进产业结构升级进而提高城市经济韧性。另一方面,数字经济的过度扩张,反而可能削弱城市经济韧性。夏添等^[31]的研究表明,数字经济对城市经济韧性的影响效应呈倒“U”形趋势。于斌斌等^[25]则进一步指出,如果只有数字经济得到发展,实体经济停滞不前,则会阻碍产业结构多样化,进而降低城市经济韧性。

综合来看:①现有研究大多聚焦于探讨数字经济对城市经济韧性的影响效应,鲜有研究对数实融合提高城市经济韧性的理论机制进行深入探讨。然而,在缺乏实体经济充分支撑的情况下,数字经济的过度发展反而不利于城市经济韧性的提高。因此,相较于单纯的数字经济,数实融合才是城市经济进步的核心驱动力。②多数研究仍专注于影响城市经济韧性的变量本身,关于如何在外部负面冲击下提高城市经济韧性的研究则相对较少。基于此,本研究直接聚焦于数实融合,并将气温冲击作为外部负面冲击纳入分析框架,深入探究数实融合能否以及如何提高城市遭遇气温冲击时的经济韧性。

相较于现有文献,本研究可能的边际贡献在于:①研究视角上,现有文献大多基于城市自身状况探究城市经济韧性的影响因素,鲜有文献将外部冲击纳入研究。而城市经济韧性反映了城市抵御、吸收和转化外部冲击的能力,因此本研究考察数实融合能否在城市面临气温冲击时产生积极作用,是对现有研究的有益补充,为进一步研究城市经济韧性问题提供了新的观察视角和研究思路。②研究内容上,从居民(人才集聚效应)、产业(产业结构合理化效应)和政府(政府数字化治理效应)这3个构成城市经济系统的主体出发,系统分析气温冲击下,数实融合提高城市经济韧性的作用机理,进一步完善城市经济韧性的理论框架。③数据测算上,以城市当年平均气温相对于历史长期平均气温的偏离度构建气温冲击变

量。相较于已有研究选用一定时间段内的平均温度作为气温变量输入^[32-34]的思路而言,该测度更能捕捉未被预期的气温变化对城市的影响。

2 理论分析

气温冲击及其衍生的各类气象灾害会对城市生产与居民生活造成负面影响,而数实融合能缓解此类影响并提高城市经济韧性。

2.1 直接机制

本研究从宏观城市与微观个体两个层面,分析数实融合如何通过缓解气温冲击的负面影响,直接增强城市经济韧性。

宏观层面,城市经济韧性是指城市抵御、吸收外部冲击,恢复经济运转并实现进一步发展的综合能力。气温冲击导致的极端干旱、低温雨雪以及强对流天气等气象灾害,必然会对城市管理效率与基础设施运转产生负面影响,进而影响城市经济韧性。而数实融合能够赋能城市管理升级、强化基础设施建设^[35]、提高受灾救援效率,从而在宏观层面显著提升城市面临气温冲击时的抵御与恢复能力。具体表现为:第一,基于人工智能构建的气象预测模型在各类气象观测、预测设备中的应用,可帮助城市更精准地识别气温演变规律,为城市应急管理体系预留响应缓冲期,从而增强极端气温事件的事前防御能力。第二,数字孪生技术在灾害模拟领域的深度应用,可优化城市排水管网布局与建筑抗灾结构设计,并基于模拟结果推演救援预案,有效提升城市面临气温冲击时的抵御与恢复能力。此外,数实融合能够打破部门间信息壁垒^[36],推动气象预警、工程防护、应急救援等模块形成有机联动的防御体系,构建起集“监测-预警-防护-恢复”于一体的全周期城市治理体系。这不仅能降低因气温冲击引发的直接经济损失,更能有效遏制次生灾害的连锁扩散效应,为城市经济稳健运行构筑多层次保障。

微观层面,城市整体的经济韧性取决于微观个体的工作效率。当气温波动超出人体生理适应区间时,极端气温会影响劳动者的生理状态,进而导致劳动效能呈阶梯式衰退^[37],最终削弱城市经济系统整体的抵御与恢复能力。高温环境下,人体热调节机制持续承压,引致核心体温升高与细胞代谢效率下降。作为代偿反应,神经系统通过抑制肌肉活动强度以降低产热,直接损害体力劳动者的动作精准度与持续作业能力^[33]。低温环境下,寒冷刺激促使生物能分配向体温倾斜,减少人体用于生产性活动的能量供给,进而降低劳动者的工作效率。同时,低温导致的神经递质传导速率下降,将延缓劳动者的信息处理速度,损害知识密集型工作的产出质量。若此类由气温冲击引发

的个体效率损失在城市产业链条中逐级放大,将导致关键节点响应迟滞,破坏经济系统的动态稳定性。而数实融合能够在一定程度上缓解这种负面冲击并提高城市经济韧性。随着数实融合的持续推进,大量原本依赖固定场所的工作向远程化与自动化转型。这一转变使劳动者无须在高温或低温环境下进行长时间现场作业,从而避免了极端气温对人体生理机能、注意力和判断力的直接影响。对于仍需劳动者实地参与的作业环节,企业管理者可借助智能温控与感知设备实时监测外部气温变化与劳动者生理状态,并据此动态调整工作计划与强度,最小化个体承受的气温冲击。通过缓解气温冲击对个体的负面影响,城市经济系统的抵御能力得以提高。据此,提出研究假说H1。

H1: 数实融合能够提升城市遭遇气温冲击时的经济韧性。

2.2 间接机制

本研究从人才集聚效应、产业结构合理化效应与政府数字化治理效应三维视角,探究在气温冲击下,数实融合影响城市经济韧性的间接机制。

(1) 人才集聚效应。气温冲击会降低城市宜居度,进而制约高素质人才集聚。而数实融合通过创造就业岗位、改变知识传播路径、重构就业形态等方式,能够显著缓解气温冲击对人才集聚的“空间锁定”效应。^①推进数实融合可以加速实体产业的数字化转型,并推动数字产业与实体产业接轨。实体产业的数字化转型能够催生出智能制造工程师、工业物联网运维员等新兴高净值职业,有助于城市吸引高端人才落户^[38]。数字产业的实体化过程要求数字人才深入了解生产流程,推动就业市场对“数字+实体”复合型人才的需求显著增长。而倒逼相应人才提高自己的知识储备,从侧面提高城市的人才质量。^②数字化平台与实体教育行业的结合使城市居民能随时随地线上学习各类专业知识与新兴技术^[39],显著降低了居民的知识获取成本^[12],进一步提高了城市的人才质量。^③数实融合催生出如云端研发系统、设备远程操控平台等新型协作载体,使得分布于不同地域的研发与工程人员能够围绕同一项目开展深度协作。在此模式下,人员虽物理分散,却能通过线上平台无缝接入研发与生产流程——既可针对研发方案进行在线协同设计与模拟,也能对远端设备进行参数调试与直接操控。这一过程实现了人才的虚拟集聚,间接提高了城市的人才质量。综上所述,数实融合能够从多个维度帮助城市实现人才集聚,由此带来的多维人才储备体系为城市抵御气温冲击提供了坚实后盾^[26],也为冲击后的恢复和进一步发展提供了技术支持^[40]。据此,提出研究假说H2a。

H2a: 数实融合通过人才集聚效应提高城市遭遇气温

冲击时的经济韧性。

(2)产业结构合理化效应。一个城市的产业结构合理化程度体现了该城市第一、二、三产业之间的产值比重^[41]与协调程度^[42]。气温冲击会抑制农作物生长并降低工业生产效率,不利于产业间协调发展。而数实融合能够通过优化农业生产要素配置、重构工业生产组织模式和强化服务业供需匹配能力,促进产业结构合理化发展。具体而言:①数字技术与农业的融合发展使传统生产要素转化为可量化、可流通的数据资源,通过精准调控减少农业资源错配,推动第一产业向集约化转型^[43]。②工业大数据平台的诞生将分散的生产单元整合成高效的协同网络,从而显著提高制造业企业间的合作效率^[44]。③生产性与生活性服务业通过融合大数据分析与智能算法等数据要素,能够实现对客户偏好的实时洞察与服务资源的弹性调度,进而显著提高第三产业的供需匹配能力。此外,数实融合的推进能够打破产业间信息壁垒,使资本、技术等要素在三类产业间按效率原则流动。在保持第三产业有序发展的同时,为第一、二产业注入活力,使农业基础功能稳固、工业价值链拓展延伸、服务业创新效能持续释放,最终形成比例协调、关联紧密的产业生态。由此产生的合理化产业结构必然能形成良好的风险缓冲机制^[45],显著提高城市面临气温冲击时的抵御与恢复能力^[46]。据此,提出研究假说H2b。

H2b:数实融合通过产业结构合理化效应提高城市遭遇气温冲击时的经济韧性。

(3)政府数字化治理效应。数实融合能够通过优化政府的风险识别能力与紧急事件响应速度,有效提升政府治理效率,进而显著提高城市遭遇气温冲击时的经济韧性^[25]。具体而言,借助自然语言处理技术对政务服务平台与社交媒体(微博、抖音等)数据进行分析整合,政府能够在城市面临外部冲击时精准识别城市隐患与民生诉求^[47]。例如,当城市面对气温冲击所导致的雷暴大风天气时,数字化平台的信息流使政府能够迅速定位并处

置如排水系统故障等直接影响民生和经济活动的问题,最大限度遏制因冲击造成的连锁反应。此外,政务协作平台的诞生,使政府能够将任务自动分派至对应职责部门并设定响应时限,解决职责不清导致的响应迟滞问题,显著提高复杂事件的协同处置效率,缩短城市面临重大风险事件时的平均处置周期。综上所述,数实融合的推进使政府能够充分利用互联网平台与智能分析工具,推动城市治理从“经验驱动”向“数据驱动”转型,由此产生的数字化治理服务体系能够显著提高城市遭遇气温冲击时的抵御与恢复能力。据此,提出研究假说H2c。

H2c:数实融合通过政府数字化治理效应提高城市遭遇气温冲击时的经济韧性。

3 研究设计

3.1 样本选择与描述性统计分析

本研究以2010—2022年中国地级及以上城市为研究对象。气温冲击数据来自美国国家环境信息中心(NCEI)所披露的气象数据。其余数据来自国泰安(CSMAR)数据库、《中国城市统计年鉴》以及地方政府工作报告等。部分缺失数据使用省级数据代替或通过线性插值法填补。由于本研究所涉及的部分核心数据仅更新至2022年,且部分城市数据缺失严重,因此选择2010—2022年作为样本跨期,并剔除数据严重缺失的城市,最终获取中国245个地级及以上城市的年度观测值,限于数据可获取性,未包括三沙、儋州、毕节、铜仁、海东、吐鲁番和哈密等城市,未涉及西藏自治区、香港和澳门特别行政区以及台湾省。主要变量的描述性统计分析结果见表1。其中,本研究对被解释变量城市经济韧性(Y)乘以100,以百分比形式刻画该指标。

3.2 变量测度

3.2.1 被解释变量:城市经济韧性

城市经济韧性是指在面临外部负面冲击(例如气温冲击)时,城市抵御和吸收外部冲击、恢复经济运转并实

表1 主要变量描述性统计分析结果

变量	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
城市经济韧性	3 105	8.362	5.545	2.311	62.438
气温冲击×数实融合	3 105	1.783	10.386	0	404.889
数实融合	3 105	2.814	10.589	0	223.293
气温冲击	3 105	0.550	0.476	0	5.987
市场规模	3 105	4.855	4.780	0.051	89.013
基础设施建设水平	3 105	18.440	7.593	2.250	60.070
对外开放程度	3 105	11.668	34.659	0	395
金融活跃度	3 105	2.535	1.179	0.588	12.508
政府干预程度	3 105	0.148	0.070	0.035	0.638
城市化率	3 105	0.254	0.200	0.033	0.979

现进一步发展的能力。如何有效测度城市经济韧性,是学术界长期面临的难题,目前尚未形成统一的方法体系。现有研究主要采用敏感性分析法与指标体系法进行测度。其中,敏感性分析法的核心思路是:选取一个对冲击比较敏感的变量(如就业)^[26],借助敏感度公式计算其反事实波动幅度以衡量经济韧性^[21]。但城市经济韧性的本质更侧重于反映城市所具备的一种综合能力,城市只有拥有这种能力,才能够应对外部冲击并实现进一步发展。而敏感性分析法仅以单一变量作为经济韧性的计算依据,难以体现城市整体的经济状况。因此,本研究选择指标体系法测度城市经济韧性,在已有研究的基础上^[23,48-49],结合城市经济韧性的定义,从抵御能力、恢复能力和发展能力 3 个维度筛选指标,最终选取 14 个二级指标以熵值法计算城市经济韧性(Y),见表 2。

3.2.2 核心解释变量:气温冲击与数实融合交互项

参考潘越等^[6]的研究,以气温冲击与数实融合的交互项 $A \times D$ 衡量城市面临气温冲击时的数实融合程度。

关于气温冲击(A),本研究的主题为“在气温冲击下,数实融合能否提高城市经济韧性”。而现有文献在研究气温的影响效应时^[32-34],常将一定时间段内的平均气温作为代理变量,但平均气温往往难以反映气温变化产生的“冲击”,对城市经济构成显著影响的大多是那些偏离历史常态的气温波动。鉴于此,为更精准地识别这类偏离常态的气温变化对城市的冲击和影响,本研究以城市当年平均气温相对于历史长期平均气温的偏离度衡量气温冲击:

$$A_{i,t} = |W_{i,t} - \frac{1}{H} \sum_{j=1}^H W_{i,t-j}| \quad (1)$$

式中: $A_{i,t}$ 代表 i 市第 t 年面临的气温冲击; $W_{i,t}$ 为 i 市第 t 年

的年平均气温; H 为历史长期平均气温的计算区间。此外,为将低温冲击与高温冲击纳入统一分析框架,对等式右侧取绝对值处理。

关于数实融合(D),其在城市层面主要表现为数字产业与实体产业之间的融合,而技术间关联则是产业融合的主要驱动因素^[50]。鉴于此,参考 Kwon 等^[51]与周密等^[10]的研究,以技术关联衡量产业间关联进而计算数实融合:首先,基于《国际专利分类与国民经济行业分类参照关系表(2018)》识别每项专利的 IPC 分类号对应的国民经济行业小类;其次,将国民经济行业小类划分为数字产业与实体产业两大类,若一项专利同时具有隶属于数字产业和实体产业的 IPC 分类号,说明数字产业和实体产业间存在关联,将该项专利定义为一次数实融合行为。若另一项专利的 IPC 分类号也具有此类特征,说明两类产业之间关联度加深。以此类推,此类专利的数量越多,表示数字产业和实体产业之间的关联越密切,数字产业和实体产业之间的融合程度也就越高。基于此定义,本研究将专利数据按所属城市与年份进行累加,并基于数实产业数量进行加权平均(为消除城市间产业规模差异,使城市间可比),即得到城市层面各年度的数实融合数据,以 D 表示。

3.2.3 控制变量

为了减少因遗漏变量问题造成的内生性偏误,应尽可能多地控制与城市经济韧性相关的特征变量^[21]。参考肖兴志等^[21]、卢现祥等^[22]的研究,本研究选取了如下控制变量:①市场规模,以人口密度(X_1)衡量;②基础设施建设水平,以人均道路面积(X_2)衡量;③对外开放程度,以外商投资总额(X_3)衡量;④金融活跃度,以金融机构存贷款余额占该地区生产总值的比重(X_4)衡量;⑤政府干预

表 2 城市经济韧性指标体系

一级指标	二级指标	指标含义	单位
抵御能力	人均地区生产总值(+)	反映城市经济发展水平	万元
	城镇居民可支配收入(+)	反映城市居民生活水平	万元
	城乡居民储蓄余额(+)	反映城市居民的风险抵抗能力	万元
	城镇登记失业率(-)	反映城市劳动力市场稳定性	%
	进出口总额占城市生产总值比重(-)	反映城市的外贸依赖程度	%
恢复能力	产业结构高级化(+)	反映城市产业结构特征	%
	地方财政收支比(+)	反映城市财政自给水平	%
	年末金融机构存贷比(+)	反映金融机构的资金运用效率	%
	社会消费品零售总额(+)	反映城市整体消费能力	万元
	固定资产投资额(+)	反映城市整体投资规模	万元
发展能力	地方政府财政科学支出(+)	反映城市科研投入力度	万元
	专利授权数(+)	反映城市创新水平	件
	地方政府财政教育支出(+)	反映城市教育投入力度	万元
	每万人中普通高等学校在校学生数(+)	反映城市居民平均受教育水平	人



程度,以去除科研和教育支出的政府财政支出占该地区生产总值的比重(X_5)衡量;⑥城市化率,以城区人口占常住人口的比重(X_6)衡量。此外,为将城市政策禀赋和宏观经济变化等因素对经济韧性的影响纳入模型,本研究还控制了城市 and 年份固定效应。

3.3 基准回归模型设定

为探究气温冲击下数实融合对城市经济韧性的影响效应,借鉴潘越等^[6]的研究,构建面板计量模型如下:

$$Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 A_{i,t} \times D_{i,t} + \beta_2 D_{i,t} + \beta_3 A_{i,t} + \beta_4 X_{i,t} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

式中: i 与 t 分别代表城市与年份; β_0 为截距项; $Y_{i,t}$ 代表城市经济韧性; $A_{i,t}$ 代表气温冲击; $D_{i,t}$ 代表数实融合; β_1 代表气温冲击与数实融合的交互项对城市经济韧性的影响效应,若 β_1 显著为正,说明在气温冲击下,数实融合能够提高城市经济韧性; β_2 与 β_3 分别代表气温冲击独立项与数实融合独立项的回归系数; $X_{i,t}$ 代表除气温冲击独立项与数实融合独立项之外的其他控制变量, β_4 为其回归系数; v_i 与 μ_t 分别代表时间与城市固定效应; $\varepsilon_{i,t}$ 代表随机误差项。

4 实证结果分析

4.1 基准回归

表3汇报了气温冲击与数实融合的交互项($A \times D$)对城市经济韧性(Y)的回归结果,列(1)仅加入了气温冲击与数实融合的交互项;列(2)在列(1)的基础上加入了时间、城市固定效应与数实融合变量(D);列(3)加入了全部变量。结果显示,气温冲击与数实融合交互项的估计系数均在1%水平上显著,这表明在气温冲击下,数实融合能够显著提高城市经济韧性。此外,列(3)中气温冲击变量的估计系数不显著为负,而数实融合与气温冲击交互项的估计系数显著为正,进一步说明了数实融合能够显著缓解气温冲击的负面影响,验证了研究假设H1。

4.2 稳健性检验

为检验变量测算、样本区间选择等因素是否影响基准回归结果,本研究进行了系列稳健性检验。①更换数实融合与气温冲击的计算方式。为缓解测量误差可能造成的估计偏误,本研究分别替换了数实融合与气温冲击的测算方式。一方面,参考黄先海等^[15],基于专利引用信息计算数实融合变量,对模型进行重新估计(表4列(1));另一方面,调整历史长期平均气温的计算区间(由20调整为25),重新测度各城市面临的气温冲击水平(表4列(2))。②缩小样本区间。参考张德涛等^[52]的研究,删除2015年之前的数据,重新测度气温冲击下数实融合对城市经济韧性的影响效应(表4列(3))。③更换聚类层次。

表3 基准回归结果

变量	Y		
	(1)	(2)	(3)
$A \times D$	0.178*** (0.052)	0.028*** (0.007)	0.036*** (0.006)
D		0.227*** (0.028)	0.254*** (0.020)
A			-0.032 (0.063)
X_1			-0.156*** (0.051)
X_2			-0.023*** (0.008)
X_3			0.002 (0.002)
X_4			-0.077 (0.074)
X_5			-4.958*** (1.079)
X_6			1.730 (1.250)
时间固定效应	未控制	控制	控制
城市固定效应	未控制	控制	控制
样本观测值	3 105	3 105	3 105
R^2	0.328	0.889	0.901

注:*** $P < 0.01$;括号内数值为标准误。

将标准误设置为时间 $\times$ 城市的交互聚类标准误(表4列(4))。④缩尾处理。为避免因极端值而影响回归结果,对连续变量进行上下2.5%分位数的缩尾处理(表4列(5))。

表4 稳健性检验结果

变量	Y				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$A \times D$	0.002* (0.001)	0.035*** (0.005)	0.036*** (0.006)	0.036*** (0.010)	0.179*** (0.039)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
样本观测值	1 694	3 105	1 668	3 105	3 105
R^2	0.780	0.902	0.879	0.977	0.860

注:* $P < 0.10$, *** $P < 0.01$;括号内数值为标准误。

表4所列示回归结果中 $A \times D$ 的估计系数均显著为正,充分证实了在气温冲击下,数实融合对城市经济韧性影响效应的稳健性。

4.3 内生性处理

4.3.1 工具变量法

本研究的核心解释变量为气温冲击与数实融合的交互项,其中气温冲击变量属于外生冲击,与城市经济韧性之间不存在反向因果关系。而关于数实融合,尽管前文证实了数实融合能够显著提高城市遭受气温冲击时的经济韧性,但其二者之间关系的稳健性仍需进一步验证:数实融合可以缓解气温冲击的负面影响并通过人才集聚效应、产业结构合理化效应与政府数字化治理效应提高城市经济韧性;但同时,城市经济韧性的提高会为数实融合创造良好的经济条件和创新环境,有助于数实融合的进一步提高,这便形成了反向因果关系。

为解决该问题,参考黄群慧等^[53]、黄先海等^[15],将1984年各城市每万人平均固定电话数量作为数实融合的工具变量。该变量与数实融合之间存在一定相关性:一方面,固定电话作为早期信息通信技术的代表,其普及程度体现了声电转换等数字技术与实体产业的初步结合,可视为数实融合的雏形;另一方面,该指标也反映了一个城市数字基础设施建设的早期积累^[54],而这类积累正是推动数实融合深入发展的关键支撑^[10,55]。同时,作为历史变量,其对当前城市经济的影响已逐渐消失,符合工具变量的严格外生标准。此外,将变量滞后一期作为工具变量同样是解决内生性问题的常用方法。据此,本研究选取1984年各城市每万人平均固定电话数量(I_1)与数实融合的一期滞后值(I_2)作为数实融合的工具变量,运用两阶段最小二乘法重新检验 $A \times D$ 与城市经济韧性间的关系,回归结果见表5。列(1)所示第一阶段回归结果的估计系数均在1%水平上显著,且通过了弱工具变量检验与过度识别检验,证实了工具变量的有效性。列(2)所示第二阶段回归结果显示,经工具变量替换后的 $A \times D$ 项系数显著为正,与基准回归结果一致,这说明在解决反向因果带来的内生性问题之后,数实融合仍能显著提升城市遭遇气温冲击时的经济韧性。

4.3.2 系统性GMM

考虑城市经济韧性可能存在自相关问题,即本期的城市经济韧性可能会受到上一期影响。为此,本研究将滞后一期的城市经济韧性变量(LY)引入模型,利用系统性GMM方法进行回归,回归结果见表5列(3)。 $A \times D$ 的估计系数(0.004)在1%水平上显著,说明在考虑了上期城市经济韧性对本期的影响后,数实融合仍能显著提升城市遭遇气温冲击时的经济韧性。

4.3.3 Heckman 两阶段模型

本研究以《中国城市统计年鉴》、国泰安数据库、中国国家知识产权局公开的专利数据库及美国环境信息中心

表5 内生性处理结果

变量	工具变量法		系统性	Heckman
	(1) $A \times D$	(2) Y	GMM (3) Y	两步法 (4) Y
$A \times D$		0.041*** (0.003)	0.004*** (0.001)	0.037*** (0.006)
$A \times I_1$	0.003*** (0.001)			
$A \times I_2$	0.908*** (0.003)			
LY			0.859*** (0.004)	
逆米尔斯比率				1.702** (0.795)
控制变量	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
样本观测值	2 571	2 571	1 955	2 586
R^2	0.991	0.978		0.909
弱工具变量检验: F 统计量	44 378.480 > 10			
过度识别检验: P 值	0.117 > 0.1		1.000 > 0.1	
二阶自相关检验AR(2): P 值			0.157 > 0.1	

注:** $P < 0.05$,*** $P < 0.01$;括号内数值为标准误。

(NCEI)披露的气象数据库等为数据提取池,由于各类数据库存在不同程度的数据缺失,因此本研究仅能将245个地级及以上城市纳入研究范畴,样本选择在一定程度上失去了随机性,估计结果可能出现样本选择偏误。

为此,参考张伟伟等^[56]的研究,使用Heckman两阶段模型(简称为Heckman两步法)解决样本选择偏误引发的内生性问题。第一步,设置城市是否被纳入研究范畴的虚拟变量,将其作为第一阶段Probit模型的被解释变量,并加入工具变量法中构建的工具变量作为排他性约束变量以计算逆米尔斯比率。第二步,将逆米尔斯比率作为控制变量纳入基准回归模型进行重新估计,回归结果见表5列(4)。逆米尔斯比率的估计系数(1.702)在5%水平上显著,说明基准回归存在一定的样本选择偏误。但 $A \times D$ 的估计系数(0.037)依旧在1%水平上显著,说明在解决样本选择偏误带来的内生性问题之后,基准回归得出的结论依旧稳健。

4.4 机制检验

本研究通过检验气温冲击与数实融合的交互项对机制变量的影响效应,探究气温冲击下,数实融合影响城市经济韧性的中介机理。构建机制检验模型如下^[57]:



$$M_{i,t} = \theta_0 + \theta_1 A_{i,t} \times D_{i,t} + \theta_2 D_{i,t} + \theta_3 A_{i,t} + \theta_4 X_{i,t} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

式中: $M_{i,t}$ 表示人才集聚效应、产业结构合理化效应和政府数字化治理效应3个机制变量,其余变量的含义与基准模型一致。

4.4.1 人才集聚效应

知识密集型产业从业群体的专业素养较高、创新能力较强,其数量能有效反映城市人才资源的集聚特征^[58]。基于此,本研究以知识密集型产业从业人员数与城市总从业人员数之比(M_1)衡量城市人才集聚水平^[59]。其中,以信息传输、计算机服务和软件业从业人员数与科研、技术服务和地质勘查业从业人员数之和衡量知识密集型产业从业人员数。检验结果见表6列(1), $A \times D$ 的系数显著为正,说明数实融合能通过创造就业岗位、重构就业形态、改变知识传播路径等方式打破气温冲击对人力资本的“空间锁定”,加速城市培育、吸纳高素质人才,有助于城市抵御冲击、恢复生产并实现进一步发展,这代表了城市经济韧性的提高,研究假说H2a成立。

表6 作用机制分析结果

变量	(1) M_1	(2) M_2	(3) M_3
$A \times D$	0.000** (0.000)	-0.009* (0.005)	0.349* (0.179)
控制变量	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制
样本观测值	3 105	2 756	1 423
R^2	0.189	0.057	0.210

注:* $P < 0.10$,** $P < 0.05$;括号内数值为标准误。

4.4.2 产业结构合理化效应

参考郭淑芬等^[41]、干春晖等^[42]、马海良等^[60]的研究,以泰尔指数度量产业结构合理化程度。泰尔指数(M_2)越接近于0,则城市的产业结构越合理(本研究所涉及城市的泰尔指数均为正数,因此泰尔指数越低,城市产业结构越合理)。检验结果见表6列(2), $A \times D$ 的系数显著为负,说明数实融合能有效提高产业结构合理化程度,推进第一、二、三产业协调发展。由此构成的风险缓冲机制能够显著提高城市遭遇气温冲击时的经济韧性,研究假说H2b成立。

4.4.3 政府数字化治理效应

参考范合君等^[47]的思路,利用政府服务效能总指数^①

(M_3)衡量政府数字化治理效应^②并进行回归。检验结果见表6列(3), $A \times D$ 的系数显著为正,说明数实融合能够有效增强政府数字化治理水平,系统性提升政府面对危机的响应速度与治理能力,进而显著提高城市遭遇气温冲击时的经济韧性,研究假说H2c成立。

4.5 异质性分析

4.5.1 基于城市数字基础设施建设水平的异质性

数字基础设施建设水平是城市数字经济发展的关键支撑。在数字基础设施建设完善的城市,其深厚的技术底蕴能够有效降低数实融合的门槛和成本,为深度推进数实融合创造有利条件;相反,数字基础设施薄弱的城市往往在数实融合进程中面临更大阻力。鉴于此,本研究参考谢知非^[61]的思路,提取各城市政府工作报告中与数字基础设施相关的关键词频,以关键词频与总词频之比衡量各城市的数字基础设施建设水平,并以其中位数为分界线将245个城市划分为两组分别进行回归。表7列(1)、列(2)所示结果表明,在气温冲击下,数实融合对数字基础设施较为完善城市的经济韧性具有更显著的促进作用。该结果从实证层面揭示了推进云计算、大数据中心等数字化基础设施建设的重要性,为地方政府优先推进数字基建提供了明确的政策依据。

4.5.2 基于城市规模的异质性

不同规模的城市在资源厚度、市场活力和基建水平等方面均存在较大差异。相较于小型城市,大中型城市依托其庞大的人口基数、完善的市场体系和健全的城市基建,往往在资源调动、技术应用和风险抵御等方面具备先天优势。这种由城市规模带来的系统性差异,很可能导致不同城市在应对气温冲击与推进数实融合时呈现出显著的异质性。据此,本研究参考吉生保等^[45],按照城区人口将245个城市划分为大中型城市与小型城市分别进行回归。表7列(3)、列(4)所示结果表明,在气温冲击下,数实融合对城市经济韧性的提升作用仅在大中型城市中显著。因此,在推动数实融合的过程中,应重视城市间规模差异,对小型城市实施更具针对性的能力建设与政策倾斜(例如:补齐其硬件与人才短板)。

4.5.3 基于城市地理位置的异质性

中国沿海与内陆城市在气候特征和产业结构上存在系统性差异,沿海城市不仅面临更频繁的台风、暴雨等强对流天气,其以港口物流、临港工业为主导的贸易型产业形态对数实融合的敏感性也更低;而内陆城市的气候相对稳定,且其产业形态大多以制造业和高高新技术产业为

①该指标参见中央党校(国家行政学院)电子政务研究中心发布的《省级政府和重点城市网上政务服务能力调查评估报告》。

②由于政府服务效能总指数存在部分数据缺失,为避免极端值影响回归结果,此处对变量进行缩尾处理。



主,更容易在数实融合中受益。鉴于此,本研究基于《中国自然资源公报》与《中国海洋统计年鉴》,将 245 个城市划分为沿海城市与内陆城市两组分别进行回归分析。表 7 列(5)、列(6)所示结果和组间系数差异检验($P = 0.000$)结果表明,在气温冲击下,数实融合对内陆城市的经济韧性具有更强的促进作用(组间系数差异检验使系数大小可比; $0.064 > 0.031$)。这既源于内陆城市稳定的气候特征,也得益于其更为合理的产业结构。因此,在推进数实融合的过程中,政府应根据当地区位特征,制定差异化政策:对于内陆城市,应充分利用其产业结构优势,进一步深化数实融合在制造业等主流产业中的推进效率;对于沿海城市,应着力增强其应对高频气候冲击的能力,并探索数实融合在港口物流、贸易管理等领域的创新应用。

4.6 门槛效应分析

由上述分析可知,在气温冲击下,数实融合影响城市经济韧性的直接机制主要表现为对气温冲击的预警及防护,因此当气温冲击过大时,数实融合的作用效果可能会下降。为验证该猜想,参考 Hansen^[62]的检验思路,构建单一门槛效应模型如下^[63]:

$$Y_{i,t} = \tau_0 + \tau_1 A_{i,t} \times D_{i,t} C(A_{i,t} \leq \vartheta) + \tau_2 A_{i,t} \times D_{i,t} C(A_{i,t} > \vartheta) + \tau_3 D_{i,t} + \tau_4 A_{i,t} + \tau_5 X_{i,t} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

式中: $C(A_{i,t} \leq \vartheta)$ 表示气温冲击低于门槛值时的估计条件, $C(A_{i,t} > \vartheta)$ 则表示气温冲击高于门槛值时的估计条件。 τ_0 为截距项, τ_1 表示气温冲击低于门槛值时 $A_{i,t} \times D_{i,t}$ 的估计系数; τ_2 则表示气温冲击高于门槛值时的估计系数; τ_3 表示 $D_{i,t}$ 项的估计系数; τ_4 表示 $A_{i,t}$ 项的估计系数; τ_5 表示控制变量的估计系数,其余符号均与基准回归模型一致。

由表 8 可知,当气温冲击由低到高跨过门槛值(0.101)时, $A \times D$ 的估计系数由 1.413 降低至 0.042。该结果表明,当气温冲击较小时,数实融合能够大幅度提高

城市经济韧性,而当气温冲击增大时,数实融合虽然仍能够显著提高城市经济韧性,但提高幅度下降。这反映出数实融合作为应对气温冲击的技术性手段,其效果存在一定的边际递减特性。一旦冲击强度超出阈值,数实融合对城市经济韧性的提升作用将衰减。因此,在推进数实融合的同时,也需构建多维度的综合性城市治理体系(如扩大城市绿化规模、进一步完善基础设施建设等),以应对日益极端化的气候挑战。

表 8 门槛效应分析结果表

变量	Y	
	(1) 低于门槛值	(2) 高于门槛值
$A \times D(A \leq 0.1009)$	1.413*** (0.203)	
$A \times D(A > 0.1009)$		0.042*** (0.006)
控制变量	控制	控制
时间固定效应	控制	控制
城市固定效应	控制	控制
样本观测值	2 899	2 899
R^2	0.908	0.908

注:*** $P < 0.01$;括号内数值为标准误。

5 结论与政策建议

本研究基于中国 2010—2022 年地级及以上城市年度数据,探讨在气温冲击下,数实融合对城市经济韧性的影响效应。主要研究结论如下:①基准回归分析显示,数实融合能够显著提高城市遭遇气温冲击时的经济韧性。②机制检验发现,数实融合通过人才集聚效应、产业结构合理化效应和政府数字化治理效应来提高城市遭遇气温冲击时的经济韧性。③异质性分析结果表明,对于内陆

表 7 异质性分析结果

变量	Y					
	(1) 数字基础高	(2) 数字基础低	(3) 大中型城市	(4) 小型城市	(5) 内陆城市	(6) 沿海城市
$A \times D$	0.037*** (0.006)	0.095 (0.106)	0.037*** (0.006)	-0.086 (0.067)	0.064** (0.031)	0.031*** (0.006)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
组间系数差异检验	$P = 0.009$		$P = 0.015$		$P = 0.000$	
样本观测值	1 565	1 540	2 349	701	2 484	621
R^2	0.918	0.835	0.909	0.917	0.896	0.929

注:** $P < 0.05$,*** $P < 0.01$;括号内数值为标准误。

城市、大中型城市和数字基础设施较为完善的城市而言,数实融合在其面临气温冲击时的积极影响更为明显。④进一步的门槛效应分析发现,当气温冲击较小时,数实融合能大幅度提高城市经济韧性;而当气温冲击增大时,数实融合虽仍能显著提高城市经济韧性,但提高幅度下降。

基于研究结论,提出如下政策建议。

第一,加快推进数实融合进程,筑牢城市经济韧性根基。面对日益频发的极端气候挑战,各级政府应将深化数实融合作为提升城市经济韧性的核心战略。而本研究的机制分析表明,在气温冲击下,数实融合能够通过人才集聚效应、产业结构合理化效应和政府数字化治理效应提高城市经济韧性。鉴于此,地方政府应积极推进高层次人才专项引进计划,并进一步完善科研经费补贴与创新成果转化等激励机制,充分发挥人才集聚效应;通过实施数字乡村建设行动、设立智能制造示范项目、推进服务业数智化发展等方式,引导生产要素向现代农业、先进制造业和现代服务业高效流动,推动三大产业协同互促,充分发挥产业结构合理化效应;加快建设集城市风险监测、产业运行分析和政策模拟仿真等功能于一体的政务服务平台,充分发挥政府数字化治理效应。

第二,健全数实融合调节机制,促进各城市协同发展。本研究证实数实融合对经济韧性的提升作用在大中型城市、内陆城市和数字基建完善的城市中更为明显。鉴于此,这些城市应充分发挥其引领作用,通过跨区域协作、结对帮扶等形式,促进先进技术与管理模式向条件不足地区扩散,实现数实融合赋能经济韧性的全域覆盖与整体提升。此外,中央及各省级政府也应加大对弱势城市的资源倾斜。对小型城市和数字基建不足的城市,应给予其专项资金和人才支持,并依据《数字中国建设整体布局规划》要求,加快推进云计算、物联网、大数据中心的建设和应用;对沿海城市,应支持其大力发展与海洋相关的制造业和高新技术产业,并探索数实融合在港口物流、贸易管理等领域的创新应用,从而提高数实融合在沿海城市的推进效率。

第三,构建多维协同的城市治理体系,推动经济韧性持续稳定提高。本研究的门槛效应分析表明,当气温冲击较小时,数实融合能大幅度提高城市经济韧性,而当气温冲击增大时,数实融合虽仍能显著提高城市经济韧性,但提高幅度下降。这侧面反映出包括数实融合在内的单一技术路径在提高城市经济韧性时存在一定的边际效用递减特性。为此,地方政府应尝试构建多维协同的城市治理体系。具体而言,①在持续推进数实融合的同时,加强城市物理基础设施建设,例如升级电网、给排水系统与

交通网络等,确保城市的各类基础设施能够在高温等极端天气下稳定运行。②积极推进城市生态环境建设,例如扩大城市绿地与水系规模、构建通风廊道、推广耐候植被与节能建筑,通过生态调节缓解城市热岛效应,切实降低实体系统对气温冲击的暴露度。③构建以数实融合为核心,基础设施建设与生态环境建设协同并进的多维城市治理体系。即在持续推进数实融合的同时,将其成果有机嵌入能源、排水、交通、市政等关键基础设施的智能化改造以及城市生态修复、绿地系统建设、通风廊道规划等生态工程中,形成“数实赋能-生态调节-设施支撑”三者良性互动的协同治理格局,从而实现城市经济韧性的持续稳定提升。

参考文献

- [1] 王莹,汪皓宇,金宇. 极端气候与企业绿色创新:现实困境与应对机制[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2026, 46(1): 56-73.
- [2] 白丽飞,杨佳玲. 气候变化、出口动态与总体生产率:来自“一带一路”倡议的经验证据[J]. 南方经济, 2025(5): 64-88.
- [3] DESCHENES O, MORETTI E. Extreme weather events, mortality, and migration [J]. Review of economics and statistics, 2009, 91(4): 659-681.
- [4] 方虹,何琦,张芳. 尼古拉斯·斯滕恩对气候变化经济学的贡献[J]. 经济学动态, 2015(5): 98-107.
- [5] 刘东,陈景帅,冯晓龙,等. 气候变化对农户农地流转行为的影响:来自全国农村固定观察点的证据[J]. 中国农村经济, 2024(5): 40-61.
- [6] 潘越,柯进军,宁博. 不确定性冲击、政府采购与企业发展韧性[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(4): 193-212.
- [7] 王明秀,张可云,高志刚. 数字基础设施建设对城市数字技术创新水平的影响:基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 改革, 2025(2): 105-118.
- [8] 夏杰长. 中国式现代化视域下实体经济的高质量发展[J]. 改革, 2022(10): 1-11.
- [9] 史丹,孙光林. 数字经济和实体经济融合对绿色创新的影响[J]. 改革, 2023(2): 1-13.
- [10] 周密,王雷,郭佳宏. 新质生产力背景下数实融合的测算与时空比较:基于专利共分类方法的研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(7): 5-27.
- [11] 陈雨露. 数字经济与实体经济融合发展的理论探索[J]. 经济研究, 2023, 58(9): 22-30.
- [12] 洪银兴,任保平. 数字经济与实体经济深度融合的内涵和途径[J]. 中国工业经济, 2023(2): 5-16.
- [13] GOLDFARB A, TUCKER C. Digital economics [J]. Journal of economic literature, 2019, 57(1): 3-43.
- [14] 夏杰长,苏敏. 以数实融合推动现代化产业体系建设[J]. 改革, 2024(5): 12-23.
- [15] 黄先海,高亚兴. 数实产业技术融合与企业全要素生产率:基于中国企业专利信息的研究[J]. 中国工业经济, 2023(11): 118-136.



- [16] REGGIANI A, GRAAFF D T, NIJKAMP P. Resilience: an evolutionary approach to spatial economic systems [J]. *Networks and spatial economics*, 2002, 2(2): 211-229.
- [17] DAVIES S. Regional resilience in the 2008-2010 downturn: comparative evidence from European countries [J]. *Cambridge journal of regions, economy and society*, 2011, 4(3): 369-382.
- [18] RON M, SUNLEY P. On the notion of regional economic resilience: conceptualization and explanation [J]. *Journal of economic geography*, 2015, 15(1): 1-42.
- [19] 王永贵, 高佳. 新冠疫情冲击、经济韧性与中国高质量发展[J]. *经济管理*, 2020, 42(5): 5-17.
- [20] WILLIAMS N. Economic resilience and entrepreneurship: a case study of the Thessaloniki city region [J]. *Local economy: the journal of the local economy policy unit*, 2013, 28(4): 399-415.
- [21] 肖兴志, 王振宇, 章立. 制度型开放与经济韧性: 来自渐进式自贸试验区设立的证据[J]. *财贸经济*, 2025, 46(2): 5-20.
- [22] 卢现祥, 滕宇法. 创新驱动政策如何提升城市经济韧性: 基于有效市场和有为政府的机制分析[J]. *中国软科学*, 2023(7): 102-113.
- [23] 张辽, 姚蕾. 数字技术创新对城市经济韧性的影响研究: 来自中国 278 个地级及以上城市的经验证据[J]. *管理学报*, 2023, 36(5): 38-59.
- [24] 刘宇轩, 王宇航, 邓文逸. 智慧城市建设对中国市域经济韧性的影响[J]. *经济地理*, 2024, 44(7): 135-143.
- [25] 于斌斌, 王志刚. 城市何以更加“韧性”: 数字经济的赋能效应[J]. *地理研究*, 2025, 44(2): 378-399.
- [26] 陈安平. 集聚与中国城市经济韧性[J]. *世界经济*, 2022, 45(1): 158-181.
- [27] 徐圆, 张林玲. 中国城市的经济韧性及由来: 产业结构多样化视角[J]. *财贸经济*, 2019, 40(7): 110-126.
- [28] 徐圆, 邓胡艳. 多样化、创新能力与城市经济韧性[J]. *经济学动态*, 2020(8): 88-104.
- [29] 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.
- [30] 郭爱君, 张小勇, 李菁. 网络基础设施建设与城市经济韧性: 基于“宽带中国”示范性城市建设的准自然实验[J]. *财贸研究*, 2023, 34(5): 25-38.
- [31] 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.
- [32] ZHANG P, ZHANG J, CHEN M. Economic impacts of climate change on agriculture: the importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation [J]. *Journal of environmental economics and management*, 2017, 83: 8-31.
- [33] 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.
- [34] CHEN X, YANG L. Temperature and industrial output: firm-level evidence from China [J]. *Journal of environmental economics and management*, 2019, 95: 257-274.
- [35] 李媛. 数字经济与实体产业深度融合的战略重点与推进路径[J]. *山东社会科学*, 2024(1): 90-97.
- [36] 刘晓川, 叶玮, 李金龙, 等. 数字技术赋能行政审批改革: 以深圳“秒批”为例[J]. *管理学报*, 2025, 38(1): 21-34.
- [37] LETTA M, TOL J S R. Weather, climate and total factor productivity [J]. *Environmental and resource economics*, 2019, 73(1): 283-305.
- [38] 徐玉德, 程东, 范亚辰. 筑巢引凤来: 数实融合与人力资本结构升级[J]. *财经论丛*, 2024(11): 3-12.
- [39] 崔琳昊, 冯烽. 数实融合与城市经济韧性: 影响与机制[J]. *城市问题*, 2024(4): 31-41.
- [40] 刘海龙, 安芷萱, 王焕珂, 等. 京津冀城市群县域城市韧性与创新效率耦合协调时空演变及影响因素的空间异质性[J]. *地理研究*, 2025, 44(2): 577-602.
- [41] 郭淑芬, 裴耀琳, 吴延瑞. 生产性服务业发展的产业结构调整升级效应研究: 来自中国 267 个城市的经验数据[J]. *数量经济技术经济研究*, 2020, 37(10): 45-62.
- [42] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. *经济研究*, 2011, 46(5): 4-16.
- [43] 赵路彝, 林海. 数字乡村发展政策实施能否推动革命老区农业新业态创业活动[J]. *中国农村经济*, 2024(7): 141-160.
- [44] 张超. 工业互联网建设如何影响实业投资: 来自中国上市公司的经验证据[J]. *南方经济*, 2025(5): 20-39.
- [45] 吉生保, 魏姗姗, 王丁玄. 对外直接投资对中国城市韧性的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2024, 34(5): 175-185.
- [46] 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.
- [47] 范合君, 吴婷, 何思锦. “互联网+政务服务”平台如何优化城市营商环境: 基于互动治理的视角[J]. *管理世界*, 2022, 38(10): 126-153.
- [48] 丁建军, 王璋, 柳艳红, 等. 中国连片特困区经济韧性测度及影响因素分析[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(6): 924-937.
- [49] 刘晓星, 张旭, 李守伟. 中国宏观经济韧性测度: 基于系统性风险的视角[J]. *中国社会科学*, 2021(1): 12-32.
- [50] BASOLE C R, PARK H, BARNETT C B. Coopetition and convergence in the ICT ecosystem [J]. *Telecommunications policy*, 2015, 39(7): 537-552.
- [51] KWON O, AN Y, KIM M, et al. Anticipating technology-driven industry convergence: evidence from large-scale patent analysis [J]. *Technology analysis & strategic management*, 2020, 32(4): 363-378.
- [52] 张德涛, 丁俊凯. 企业内部薪酬差距能否促进数实产业技术融合: 基于战略性新兴产业专利信息的研究[J]. *山东社会科学*, 2025(1): 109-117.
- [53] 黄群慧, 余泳泽, 张松林. 互联网发展与制造业生产率提升: 内在机制与中国经验[J]. *中国工业经济*, 2019(8): 5-23.
- [54] 温璐迪, 郭淑芬. 数字基础设施建设与后发城市经济追赶: 基于城际创新合作的视角[J]. *城市问题*, 2024(2): 67-78.
- [55] 朱俏俏, 靳春丽, 李征昂. 数实融合能否助推工业减污降碳协同增效: 基于信息产业与工业的前后向关联考察[J]. *南方经济*, 2025(2): 68-96.
- [56] 张伟伟, 张景静, 赵宇. ESG 信息摩擦与收益可预测性: ESG 评级分歧的新证据[J]. *中国人口·资源与环境*, 2024, 34(12): 98-107.



- [57] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5):100-120.
- [58] 白俊红, 张艺璇, 卞元超. 创新驱动政策是否提升城市创业活跃度:来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J]. 中国工业经济, 2022(6):61-78.
- [59] 宋跃刚, 高雯. 创新驱动政策能否提升可再生能源企业韧性:来自国家创新型城市试点政策的微观证据[J]. 中国人口·资源与环境, 2025, 35(1):144-158.
- [60] 马海良, 顾莹莹, 黄德春, 等. 环境规制、数字赋能对产业结构升级的影响及机理[J]. 中国人口·资源与环境, 2024, 34(3):124-136.
- [61] 谢知非. 外生冲击力度、政府帮扶与盈余管理[J]. 会计研究, 2025(2):49-62.
- [62] HANSEN B. Testing for linearity [J]. Journal of economic surveys, 1999, 13(5):551-576.
- [63] 彭迪云, 苏雅, 冯怡. 数字普惠金融对农业韧性的非线性影响机制:兼论农业生产风险的门槛效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2025, 35(1):205-219.

Can digital-real economy integration enhance urban economic resilience under the temperature shocks?

ZHANG Detao, DING Junkai

(School of Economics, Shandong University, Jinan Shandong 250100, China)

Abstract As the core carriers of macroeconomic operations, cities' levels of economic resilience are not only crucial for regional risk prevention and control effectiveness but also vital for constructing a new development paradigm and promoting high-quality economic development. Digital-real economy integration represents a key initiative driving industrial transformation, providing foundational technological conditions for urban industrial upgrading and economic development. Against the backdrop of the normalization of extreme temperature events, whether digital-real economy integration can effectively enhance urban economic resilience requires thorough investigation. Accordingly, this study utilized annual data of prefecture-level and above cities in China from 2010 to 2022 to calculate the levels of temperature shocks, digital-real economy integration, and economic resilience faced by each city. Taking the interaction term of temperature shock and digital-real economy integration as the core explanatory variable and urban economic resilience as the explained variable, this study empirically examined the impact and mechanisms of digital-real economy integration on urban economic resilience under temperature shocks using a fixed effects model. It further analyzed its heterogeneity and threshold effects. The findings indicated that: ① Digital-real economy integration helped improve urban economic resilience when facing temperature shocks. This conclusion remained robust after a series of robustness tests and endogeneity treatments. ② Mechanism analysis revealed that under temperature shocks, digital-real economy integration could significantly enhance urban economic resilience through talent agglomeration effects, industrial structure rationalization effects, and government digital governance effects. ③ Heterogeneity analysis showed that the positive impact of digital-real economy integration when facing temperature shocks was more pronounced for inland cities, large and medium-sized cities, and cities with relatively well-developed digital infrastructure. ④ Threshold effect analysis found that when temperature shocks were relatively small, digital-real economy integration could substantially improve urban economic resilience; however, when temperature shocks intensified, although digital-real economy integration could still significantly enhance urban economic resilience, the magnitude of improvement diminished. Therefore, governments should accelerate the process of digital-real economy integration, improve its regulatory mechanisms, and fully leverage its positive effects in stabilizing the economy and promoting development, thereby fostering the sustained and steady improvement of urban economic resilience.

Key words temperature shock; digital-real economy integration; urban economic resilience

(责任编辑:刘呈庆,黄桂然)