

# 数字技术与城市韧性耦合

## ——基于我国 285 个城市的实证分析

毛丽娟<sup>1</sup>, 夏杰长<sup>2</sup>, 刘睿仪<sup>3</sup>

(1. 中国社会科学院生态文明研究所, 北京 100006; 2. 中国社会科学院财经战略研究院, 北京 100006; 3. 中国社会科学院大学平台经济研究中心, 北京 100048)

**摘要:**城市承担着经济社会发展的重任,城市良性建设是我国经济高质量发展的必要条件。随着新兴数字技术不断加深应用于城市规划建设和管理治理,以数字技术为引擎提升城市韧性水平是实现城市高质量发展的重要途径。基于此,梳理数字技术与城市韧性之间的耦合协调过程,构建城市韧性水平和数字技术发展水平指标,采用耦合协调度模型、Dagum 基尼系数以及障碍度模型对我国 285 个地级市及以上城市 2012—2021 年的数字技术和城市韧性耦合协调发展水平进行综合测度,并探讨耦合协调度的时序演进、空间差异以及影响因素。研究发现:第一,我国数字技术和城市韧性整体发展水平均呈稳步上升趋势,同时,二者的耦合协调度也在不断上升。第二,我国数字技术与城市韧性耦合空间差异呈现先下降后回升的趋势,其中,华中、华北地区数字技术与城市韧性的耦合协调发展更为均衡,而华南地区的失调水平最高。第三,数字基础设施和社会韧性是影响数字技术系统和城市韧性系统耦合协调水平的关键因素。为进一步提升数字技术与城市韧性系统之间的相互作用效果,要积极搭建数据共享、标准统一和融合互通的数据平台;推动资源和人才的跨区域流动,促进与周边城市、都市圈、城市群的协同发展;注重数字基础设施建设和社会保障与福利提升,推动医疗卫生、养老服务、扶残助残等公共服务设施统筹布局等。

**关键词:**数字技术;城市;韧性;城市治理;社会治理;耦合协调度;区域

中图分类号:F49

文献标志码:A

文章编号:1671-4970(2024)02-0095-12

### 一、引言

作为一个极其复杂的社会生态系统,城市需要从规划、建设和治理等全方位出发,确保科学的布局和良好的运转秩序以提高城市抵御各类灾害和风险的能力<sup>[1]</sup>。城镇化建设在改善人居环境质量、提升文明程度与公共服务水平、集聚城市人口的同时,也不可避免地面临自然灾害风险上升、生态环境过载、居民生活质量下降等治理难题。基于城市脆弱性,为更好

地应对城市中所遇到的各类冲击和压力,城市韧性这一概念由此出现,其是指城市系统在逆境环境中能够通过协调、适应和优化以吸收治理风险产生的负面影响,进而有效维持城市平稳运行及可持续发展的能力<sup>[2]</sup>。我国城市韧性建设运动发展相对较晚,2017 年中国城市规划学会首次提出“韧性城市”和“海绵城市”的概念,之后,北京、上海等陆续将“加强城市应对灾害的能力和韧性”“建设韧性城市”等表述列入新一轮城市应急规划和建设工

**引用本文:**毛丽娟,夏杰长,刘睿仪.数字技术与城市韧性耦合——基于我国 285 个城市的实证分析[J].河海大学学报(哲学社会科学版),2024,26(2):95-106.

**基金项目:**国家社会科学基金青年项目(20CGL023)

**作者简介:**毛丽娟(1989—),女,助理研究员,博士,主要从事数字经济与旅游经济研究。E-mail:lijuan\_mao@qq.com

作。《国家中长期经济社会发展战略若干重大问题》对韧性城市建设作出了决策部署和工作指导,鼓励支持更多城市在区域规划和设计阶段将韧性工程纳入城市网络系统中的各个方面;《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》(后文简称为“十四五”规划)则将城市韧性建设工作上升到国家政策层面,明确提出建设韧性城市。在国家治理现代化背景下,韧性城市建设是新时期我国解决城市可持续发展问题的重要共识和路径选择,是城市高质量建设的重要表征和新范式,把韧性城市建设要求融入城市规划、建设、管理,着力提升城市抵御自然灾害和治理风险能力是必要的、必需的。

与此同时,为了提升韧性城市建设水平,我国不断强调数字技术与韧性城市的融合发展。“十四五”规划既提出建设韧性城市的要求,也对城市智慧化水平的提升做出规定;党的二十大报告提出要“打造宜居、韧性、智慧城市”。面对当前数字政府、智慧治理转型的重大机遇,要让计算的“张力”成就城市发展的韧性,如今年两会期间,委员提案指出,要树立智慧韧性治理理念,依托人工智能和大数据技术,建设互联互通、统一安全的数智化监督平台,提升城市治理效能<sup>[3]</sup>。数字技术既解决了传统城市治理中的技术和手段不精细问题,又能够让城市系统在面临突发灾害或危机时,通过对相关信息实时收集、综合分析处理、仿真模拟等技术来为政府快速提供应急方案,提升城市应急能力和防灾能力。但随着进一步的发展与应用,由于应用本身就伴随着诸多风险,数字技术也可能带来数字风险,给城市治理带来新的挑战 and 冲击<sup>[4]</sup>。从数字技术与城市韧性建设的区域发展情况来看,尽管许多城市已陆续开始实施数字化转型工作,但由于各城市的发展阶段、经济发展水平等存在差异,城市数字韧性建设水平参差不齐。数字技术与城市韧性系统是如何耦合发展的?我国数字技术与城市韧性的总体耦合协调情况是否存在空间差异?影响数字技术系统与城市韧性系统耦合协调性的主要影响因素是哪些?为解答这一系列问题,本研究梳理了数字技术与城市韧性之间的耦合协调过

程,构建了城市韧性水平和数字技术发展水平指标,采用耦合协调度模型、Dagum基尼系数以及障碍度模型对我国285个地级市及以上城市2012—2021年的数字技术和城市韧性耦合协调发展水平进行综合测度,并探讨耦合协调度的时序演进、空间差异以及影响因素,指出数字化背景下韧性城市建设面临的问题,进一步提出数字化发展背景下纾解的可能路径和提升城市韧性的政策建议。

## 二、数字技术与城市韧性耦合协调过程分析

### 1. 文献回顾与述评

随着城市规模的增长和全球不稳定性风险的增加,城市韧性的相关研究迅速成为学术界的热点。通过梳理相关文献发现,城市韧性的研究主题主要集中在韧性城市运行机制、韧性城市规划、城市韧性度的评价与测度、城市韧性的影响因素等方面。城市是一种由自然、经济、政治、技术、社会等子系统之间相互作用形成的一个复杂系统<sup>[5]</sup>,这种复杂特性构成了城市韧性的基础,而这种复杂状态让城市能够应对突发冲击,并对这些突发冲击产生韧性。同时,城市的系统结构又相对松散,使得系统可以通过多重动态演化路径来分散风险,保证城市系统的平稳性<sup>[6-7]</sup>。对韧性城市的提前规划有助于通过优化城市空间布局来提高城市对偶然突发冲击的应对能力<sup>[8]</sup>,其通常可分为3个步骤:首先评估城市的脆弱性,然后改革体制机制以降低城市脆弱性,最后提出规划思路和具体的规划方案以提高城市韧性<sup>[9]</sup>。评估城市韧性,即检验城市系统维持、恢复、适应或转化的能力,为城市规划、建设和运行提供了重要的参考。但如何评估城市韧性,学术界当前并未形成较为统一的意见。联合国从韧性、适应性和变形性三方面构建评价框架对部分东南亚国家的城市韧性进行评价<sup>[1]</sup>;也有从社会、经济和生态等维度构建综合指标体系对城市韧性进行测度<sup>[10]</sup>。关于哪些因素会对城市韧性产生影响,学术界从多个视角进行讨论,发现基础设施建设<sup>[11]</sup>、产业多样性<sup>[12]</sup>、创新活动<sup>[13]</sup>、社会资本积累<sup>[14]</sup>、政策和制度环境<sup>[15-16]</sup>以及数字技术革

新<sup>[17]</sup>等都会对城市韧性产生影响。

与此同时,数字技术与城市韧性之间的关系也受到越来越多学者的关注和重视。陈苏超等讨论了在数字中国建设背景下提升城市韧性的路径<sup>[18]</sup>;谭日辉等基于北京城市副中心讨论数字平台的优化和嵌入路径以提升城市韧性<sup>[19]</sup>;肖春梅等则通过实证研究发现,数字经济可以有效提升城市韧性水平<sup>[20]</sup>。数字技术具体是通过人力资本、城市创业、技术创新、实体经济发展、产业结构、金融发展等渠道来对城市韧性产生影响<sup>[20-22]</sup>。钟学思等探讨了中国 19 个城市群数字经济与城市韧性的耦合协调度<sup>[23]</sup>。还有部分学者围绕数字紧急状态下城市韧性问题进行了探讨,Richards 等均认为虽然数字技术可以在某种程度上提高城市韧性,大规模信息收集和监控会不可避免地引发对隐私保护的担忧,对数字紧急状态和城市韧性带来新风险<sup>[24-25]</sup>。通过采用区块链技术或加密技术等手段虽然可以缓解对数字紧急状态和城市韧性带来的隐私风险<sup>[26]</sup>,但仍然存在诸多缺陷,甚至可能会带来如“数据劫持”“数据投毒”等新的治理风险<sup>[4]</sup>。

通过对现有文献的梳理发现,当前关于数字技术与城市韧性的研究主要是从定性视角下探讨数字技术提升城市韧性的路径,以及从定量视角实证数字技术对城市韧性的影响以及影响路径。以上研究基本上以讨论数字技术对城市韧性的单向影响为主,鲜有研究是基于城市层面数据探讨数字技术与城市韧性之间的相互作用与机制。相比已有研究,本研究尝试厘清数字技术与城市韧性的耦合协调过程。此外,本研究将城市韧性评价维度从社会、经济和生态等 3 个维度拓展到社会、经济、生态和基础设施等 4 个维度。此外,本研究运用耦合协调度模型、Dagum 基尼系数以及障碍度模型对数字技术与城市韧性的时空演变特征及相关障碍因子进行研究与分析,探讨数字技术与城市韧性时空耦合协调发展程度及成因,指出数字化背景下韧性城市建设面临的问题并提出政策建议。

## 2. 数字技术与城市韧性的耦合协调分析

赵瑞东等认为城市韧性是一个复杂的系

统,包括城市经济韧性、城市社会韧性和城市生态韧性等子系统<sup>[27]</sup>。结合赵瑞东等研究结论,本研究认为城市韧性系统包括了城市经济韧性系统、社会韧性系统、生态韧性系统和基础设施韧性系统。城市韧性是一个复杂、动态和不断演化的系统,数字技术作为一种新兴的、可嵌入的系统,两者可通过相互作用、相互影响最终实现耦合协调(图 1)。

从数字技术推动城市韧性建设的作用机制分析,数字技术分别从提升城市经济韧性、社会韧性、生态韧性和基础设施韧性 4 个方面来推动韧性城市的建设:首先,数字技术显著提升了经济社会的创新能力和其催生的新商业模式和业态<sup>[28]</sup>丰富了经济社会系统中的数字化消费场景,提升了城市经济韧性应对冲击的手段与路径。其次,物联网、人工智能等数字技术渗入社会韧性建设各个环节,显著地提高信息沟通效率、资源配置效率和运行效率,改善市场失灵情况<sup>[29]</sup>,增强城市社会韧性。再次,数字技术通过快速搜集城市运转系统中的信息,及时给出科学的应对方案和措施,并通过通信技术加快应急方案的传达,极大地提高了城市生态韧性<sup>[30]</sup>。最后,数字技术的应用有助于城市预警系统运行能力的提升,通过提高数据存储、分析和传输等能力,使得预警系统能够更为及时准确地预判可能发生的灾害,提升城市基础设施韧性。

反之,当城市韧性水平较高时,城市可以为数字技术的发展应用提供充分的保障:从供给侧来看,韧性水平较高的城市有动力主动增加数字研发投入、加大数字相关基础设施的投入,这为数字技术的良好发展提供了充分的支持与保障,有助于数字技术更好地应用于城市经济、社会、生态和基础设施系统。韧性水平高的城市能主动进行制度改革以适应数字技术时代的到来,通过改善城市教育体系、完善公共基础设施等途径提升地方品质<sup>[31]</sup>,为数字技术的良好发展提供物质基础保障与创新环境保障。从需求侧来看,城市和居民均对数字技术的需求逐渐增加,需求的增加激励着企业数字化转型力度,推动政府在城市规划、建设和发展中大力应用数字技术。



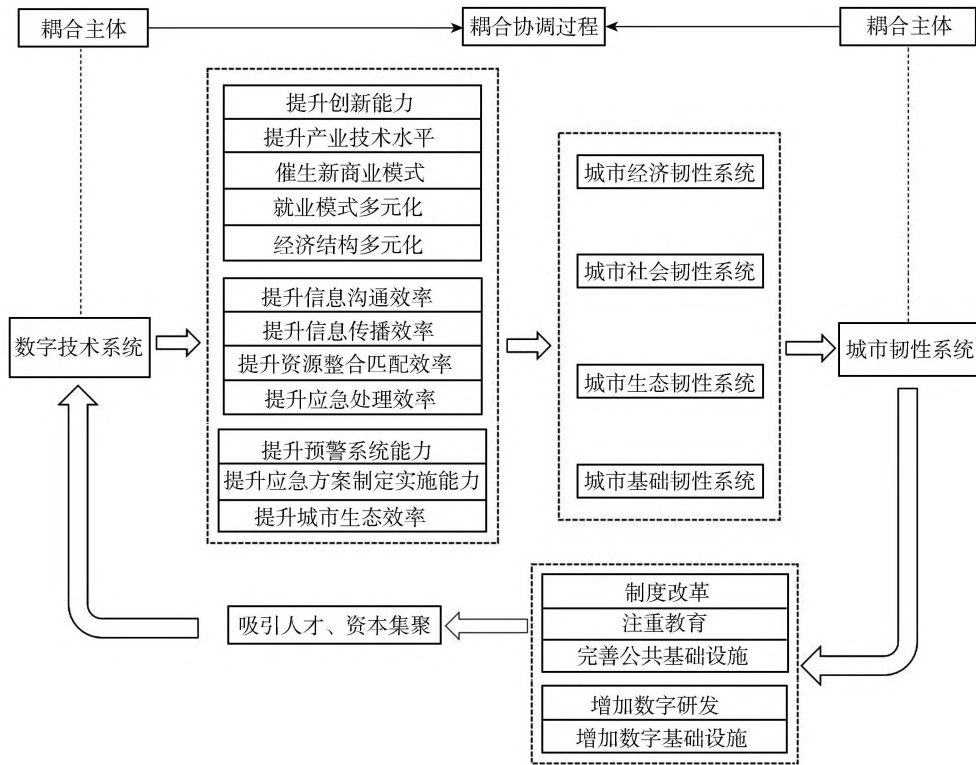


图1 数字技术与城市韧性耦合协调过程

总的来看,数字技术是推动城市韧性水平提升的重要力量,城市韧性则是数字技术发展的基础保障。数字技术与城市韧性的耦合过程是动态的、不断演化的,两者的耦合系统是通过不断自我调节最终进入互相促进、互利共赢的协调发展阶段。

### 三、研究设计

#### 1. 评价指标体系构建

为研究数字技术与城市韧性的耦合协调性,本部分分别构建数字技术和城市韧性的评价指标体系,基于该结果测算两者的耦合协调指数。基于科学性、系统性、数据可获得性等原则,构建数字技术与城市韧性的综合评价指标体系(表1)。城市韧性是在经济、社会、生态、基础设施等各因素影响之下构成了极具复杂性、开放性和综合性的城市耦合系统,借鉴已有的做法<sup>[32]</sup>,从经济韧性、社会韧性、生态韧性和基础设施韧性4个维度选取24项指标构建城市韧性评价的指标体系。由于数字技术涉及范围广<sup>[33]</sup>,当前学界对数字技术尚未形成统一界定,参考已有研究<sup>[34-35]</sup>,从数字技术基础、数字产业收益、数字创新能力3个视角选取9项指

标构建数字技术发展综合评价指标体系,以上两项评价指标体系相互独立。

#### 2. 数据来源及评价方法

应用2012—2021年我国285个地级市及以上城市的面板数据,采用熵值法对数据进行处理,构建耦合协调度模型、Dagum基尼系数以及障碍度模型对数字技术与城市韧性耦合协调性的时空演变特征及相关障碍因子进行研究与分析。本研究所使用的数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》、各省市统计年鉴、统计公报和Wind数据库等,个别缺失数据采取线性插值法进行补齐。

#### (1) 数字技术与城市韧性发展的综合评价模型

为测度数字技术与城市韧性的耦合度和耦合协调度,首先分别计算各省市数字技术和城市韧性的发展水平。鉴于指标对系统具有正向或负向影响,对数据进行标准化处理,消除量纲的影响,具体计算过程如下。

正向指标计算公式为

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

表 1 数字技术与城市韧性评价指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	指标属性
城市韧性	经济韧性	人均地区生产总值	元	+
		职工平均工资	元	+
		人均城乡居民储蓄年末余额	元	+
		人均固定资产投资总额	元	+
		科技支出占一般公共预算支出比例	%	+
	社会韧性	人均社会消费品零售总额	%	+
		每万人中在校大学生数	人	+
		城镇职工基本养老保险覆盖率	%	+
		城镇基本医疗保险覆盖率	%	+
		每万人中医院、卫生院床位数	张	+
生态韧性	卫生、社会保险和社会福利业从业人员占比	%	+	
	公共管理和社会组织从业人员占比	%	+	
	生活垃圾无害化处理率	%	+	
	污水处理厂集中处理率	%	+	
	建成区绿化覆盖率	%	+	
基础设施韧性	单位 GDP 工业二氧化硫排放量	t	-	
	单位 GDP 工业烟尘排放量	t	-	
	单位 GDP 工业氮氧化物排放量	t	-	
	医院、卫生院数	个	+	
	人均道路面积	m <sup>2</sup>	+	
数字基础设施	建成区排水管道密度	1/km	+	
	供水普及率	%	+	
	燃气普及率	%	+	
	每万人移动电话年末用户数	万户	+	
	每万人国际互联网用户数	户	+	
数字技术	每万人年末邮政局数	处	+	
	每万人电信业务总量	万元	+	
	每万人邮政业务总量	万元	+	
	数字普惠金融指数		+	
	每万人中信息传输、计算机服务和软件业从业人员数	人	+	
数字创新能力	R&D 经费支出	万元	+	
	发明专利授权数	件	+	

负向指标计算公式为：

$$y_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中： $y_{ij}$  为第  $i$  个市第  $j$  个指标  $x_{ij}$  的标准化结果值，且  $1 \leq i \leq n$ ； $x_{\max}$  和  $x_{\min}$  分别为  $n$  个城市中第  $j$  个指标的最大值和最小值。

熵权法作为一种客观赋权法，在一定程度上避免了主观性。本研究运用熵权法对系统发展综合水平进行测度，具体赋值如下：依次计算标准化之后各个城市的各指标所占比重  $P_{ij}$ 、指标信息熵值  $I_i$  和指标权重  $W_j$ ，进而计算各省市的数字技术与城市韧性发展的综合评价指数得分，分别记作  $S$  和  $E$ 。

$$P_{ij} = y_{ij} / \sum_i y_{ij} \quad (3)$$

$$I_i = - \frac{\sum_j P_{ij} \ln P_{ij}}{\ln N} \quad (4)$$

$$W_j = \frac{1 - I_j}{\sum_j (1 - I_j)} \quad (5)$$

$$S_i = \sum_j W_j y_{ij} \quad (6)$$

$$E_i = \sum_j W_j y_{ij} \quad (7)$$

(2) 耦合度与耦合协调模型构建

为判断数字技术与城市韧性之间关联与影响的程度，本研究在对数字技术与城市韧性发展水平进行综合评价的基础上，构建数字技术与城市韧性的耦合度模型：

$$C = \sqrt{\frac{SE}{\left(\frac{S+E}{2}\right)^2}} \quad (8)$$

式中： $C$  为数字技术与城市韧性的耦合度，数值取值区间为  $(0, 1]$ ； $S$  和  $E$  分别为数字技术与城市韧性的综合发展指数，如果两系统之间耦合程度越高，则系统越协调， $C$  的值就越接近 1；反之则为两系统之间耦合程度低，表现为失衡状态、缺乏稳定性。

由于耦合度模型仅反映系统之间耦合关系的强弱，无法表征系统间是高水平促进还是低水平制约。此外，当两系统的综合评价指数都较小时，两者耦合程度将会被高估，为避免出现以上现象，构建耦合协调度模型以进一步分析系统间良性耦合程度：

$$D = \sqrt{CT} \quad (9)$$

$$T = \alpha S + \beta E \quad (10)$$

式中： $D$  为数字技术与城市韧性的耦合协调度； $T$  为综合发展水平，其计算结果值与待定系数  $\alpha$  和  $\beta$  的取值相关； $\alpha$  和  $\beta$  分别为数字技术与城市韧性的相对重要性，本研究认为数字技术与城市韧性具有同等重要地位，因此将待定系数  $\alpha$  和  $\beta$  都取值为 0.5。基于数字技术与城市韧性耦合协调度数值范围，参考以往文献<sup>[36-37]</sup>，将系统耦合协调水平划分为失调衰退、中度失调、基本协调、中等协调、高度协调共 5 个等级（表 2）。

(3) 差异性测度

Dagum 基尼系数对于传统基尼系数进行了改进与修正<sup>[38]</sup>，能够更有效地量化空间非均衡问题，且与泰尔指数相比，其解决了区域间的样本交叉重叠情形，能实现对总体地区差异贡献

表2 耦合协调度分类标准及阶段特征

耦合度	耦合程度	协调度	协调阶段	阶段特征
(0.8,1.0]	高度耦合	(0.9,1.0] (0.8,0.9]	高度协调	优质协调 良好协调
(0.6,0.8]	磨合耦合	(0.7,0.8] (0.6,0.7]	中等协调	中等协调 初级协调
(0.4,0.6]	拮抗耦合	(0.5,0.6] (0.4,0.5]	基本协调	勉强协调 濒临失调
(0.2,0.4]	低度耦合	(0.3,0.4] (0.2,0.3]	中度失调	轻度失调 中度失调
(0,0.2]	无序耦合	(0.1,0.2] (0,0.1]	失调衰退	重度失调 极度失调

的完整识别,并具备良好的分解效用。因此,选取 Dagum 基尼系数对于数字技术与城市韧性耦合协调度的空间差异进行测度和分解。总体基尼系数  $G$  的计算公式如下:

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{2n^2 \bar{Y}} \quad (11)$$

式中: $n$ 为样本内城市总个数; $k$ 为地区划分的数量; $n_j, n_h$ 分别为为第  $j, h$  区域内城市的数量; $y_{ji}, y_{hr}$ 分别为区域  $j$ 、区域  $h$  内的第  $i, r$  个城市的数字技术与城市韧性耦合协调度综合得分; $\bar{Y}$ 为样本内所有城市的数字技术与城市韧性耦合协调度的平均得分。

在预先对各区域的综合指数得分以均值大小进行排序以后,将总体基尼系数  $G$  分解为区域内差异贡献  $G_w$ 、区域间差异贡献  $G_{nb}$  和超变密度贡献  $G_t$  共 3 个部分,总体、区域间以及区域内基尼系数的大小代表了耦合协调度的高低。超变密度贡献  $G_t$  代表各区域由于交叉项的存在而对总体差距产生的贡献。具体测算过程如下:

$$G = G_w + G_{nb} + G_t \quad (12)$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} P_j S_j \quad (13)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (P_j S_h + P_h S_j) D_{jh} \quad (14)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (P_j S_h + P_h S_j) (1 - D_{jh}) \quad (15)$$

$$G_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}| / 2 \bar{Y}_j}{n_j^2} \quad (16)$$

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j n_h (\bar{Y}_j + \bar{Y}_h)} \quad (17)$$

$$D_{jh} = \frac{d_{jh} - P_{jh}}{d_{jh} + P_{jh}} \quad (18)$$

$$d_{jh} = \int_0^\infty d F_j(y) \int_0^y (y-x) d F_h(x) \quad (19)$$

$$P_{jh} = \int_0^\infty d F_h(y) \int_0^y (y-x) d F_j(x) \quad (20)$$

式中: $G_{jj}$ 为区域  $j$  的基尼系数; $G_{jh}$ 和  $G_{nb}$  分别为区域  $j$  和区域  $h$  之间的基尼系数、区域  $j$  和区域  $h$  之间的差异贡献; $P_j, P_h$ 为区域  $j$  和区域  $h$  城市数量占比,即  $P_j = \frac{n_j}{n}, P_h = \frac{n_h}{n}$ ;  $S_j, S_h$ 为区域  $j$  和区域  $h$  中数字技术与城市韧性耦合协调度的均值与全国均值的比值,即  $S_j = \frac{n_j \bar{Y}_j}{n \bar{Y}}, S_h = \frac{n_h \bar{Y}_h}{n \bar{Y}}$ ;  $D_{jh}$ 为区域  $j$  和区域  $h$  之间的相互影响; $d_{jh}$ 为区域  $j$  和区域  $h$  中所有  $y_{ji} - y_{hr} > 0$  的数学期望,可将其定义为两个区域间数字技术与城市韧性耦合协同发展水平的差值;同理,  $P_{jh}$ 为超变一阶矩,表示区域  $j$  和区域  $h$  中所有  $y_{ji} - y_{hr} > 0$  的数学期望。

#### (4) 障碍度模型

数字技术与城市韧性协同发展水平的提升对于促进城市可持续发展及区域内均衡发展具有重要的意义,为进一步厘清制约数字技术与城市韧性协调发展的关键障碍因素,以期制定更为针对性的治理方案,引入障碍度模型对我国城市的数字技术与城市韧性的耦合协调度的准则层与指标层的障碍因素进行识别与诊断,具体公式如下:

$$M_t = \frac{v_{it} w_t}{\sum_{i=1}^n (v_{it} w_t)} \times 100\% \quad (21)$$

$$v_{it} = 1 - r_{it} \quad (22)$$

$$A_t = \sum_{i=1}^n M_t \quad (23)$$

式中: $M_t$ 为指标体系中第  $t$  个指标对数字技术与城市韧性耦合协调水平的障碍度; $v_{it}$ 为指标的偏离程度,表示第  $i$  个子系统第  $t$  个指标与发展目标之间的差距; $r_{it}$ 为各指标的标准化值; $w_t$ 为指标权重,代表障碍因子的贡献度; $A_t$ 为各准则层对数字技术与城市韧性协调发展水平的障碍度。



#### 四、数字技术与城市韧性的时空耦合分析及障碍因子识别

基于数字技术与城市韧性的评价指标体系框架和耦合协调度模型,对我国 285 个城市 2012—2021 年的数字技术与城市韧性的耦合协调指数进行测算,并结合 Dagum 基尼系数、障碍度模型对数字技术与城市韧性发展耦合协调度的时序演进、空间差异以及障碍因子进行分析。

##### 1. 数字技术与城市韧性的发展情况以及二者耦合协调度的时序演进分析

依据 2012—2021 年的面板数据,分别测算得到我国数字技术和城市韧性评价指数、两系统的耦合度和耦合协调度(图 2)所示。我国城市韧性整体水平呈稳步上升趋势,这表明我国政府高度重视并持续推进韧性城市建设,在经济发展过程中更加注重社会民生保障、基础设施建设与生态环境改善等因素对城市抗风险能力的协同促进作用,城市韧性水平显著提高。相较而言,我国数字技术的发展明显滞后于城市韧性,但近年来国家高度重视以数字技术为代表的科学技术发展,数字技术发展增速相对较快,系统内数字技术与城市韧性之间的差距呈缩小趋势。

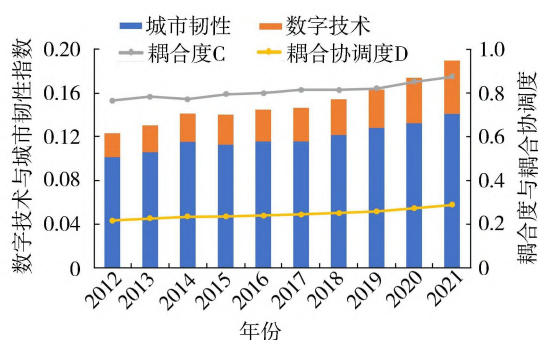


图 2 2012—2021 年数字技术与城市韧性指数与耦合度、耦合协调度趋势

结合耦合度和耦合协调度趋势线来看,我国数字技术与城市韧性耦合度的总体均值在 0.7~0.9,整体呈上升趋势。其中,2012—2015 年,系统间耦合度在 0.7~0.8,我国数字技术与城市韧性系统处于磨合耦合阶段;2016—2021 年,耦合度在 0.8~0.9,我国数字技术与城市韧性系统处于高度耦合阶段。总体来讲,我国城市数字技术与城市韧性的整体波动幅度较小、关联性较强。与此同时,我国数字技术与

城市韧性呈现整体协调水平不高的特点,全国耦合协调度均值处于 0.2~0.3,未出现较大幅度的提升,这表明两个系统之间虽然有着一定的互动关系,但由于我国的数字技术发展在不同地区和城市之间存在差距,大部分地区的城市韧性建设和数字技术融合的进程相对缓慢,导致数字技术与城市韧性系统之间的相互作用效果尚不明显。

##### 2. 数字技术与城市韧性发展耦合协调度的空间差异分析

从省级层面的数字技术与城市韧性耦合协调度来看,只有北京、上海的数字技术与城市韧性耦合协调度达到了中等协调( $0.6 \leq D \leq 0.8$ )阶段,重庆的耦合协调度达到了基本协调( $0.4 \leq D \leq 0.6$ )阶段,其余省份的耦合协调度则处于中度失调和失调衰退水平。这是由于中度失调和失调衰退地区数字经济发展相对滞后、基础设施建设不足、资源利用不充分、治理效能较低等,存在显著的城市韧性缺口,需要加大对韧性建设与数字技术的投入,提升发展效率,并寻求多元化的发展模式。

从城市层面的数字技术与城市韧性耦合协调度(表 3)来看,北京、上海、深圳、广州、杭州、东莞、苏州、天津、成都等城市的耦合协调发展程度居于全国前列,这些城市的数字技术综合得分同样也在全国处于前列且增速可观。这表明,这些城市社会保障充足,医疗水平先进,抗风险能力极强,同时其数字技术发展水平较高,数字技术推动着城市生产、生活和治理方式的深刻变革。广州、珠海、舟山、佛山、深圳、榆林、杭州数字技术与城市韧性耦合协调水平提升较大,在 2012—2021 年涨幅均为 0.2 以上。其中,涨幅较大的城市大多集中于广东省,这是由于近年来广东省持续做强数字经济,以大数据、物联网、人工智能等为代表的数字技术赋能推动该省城市治理环环相扣,大幅提升了城市韧性水平。

为进一步揭示数字技术与城市韧性发展协调水平的地区差异及其来源,本研究按照东北、华北、华东、华南、华中、西北和西南七大区域对城市进行划分,采用 Dagum 基尼系数分别测算我国七大区域 2012—2021 年数字技术与城市

表3 主要年份数字技术与城市韧性耦合协调度前20名城市的准则层得分情况

城市	2012年			城市	2017年			城市	2021年		
	城市韧性	数字技术	D		城市韧性	数字技术	D		城市韧性	数字技术	D
北京	0.413	0.209	0.542	北京	0.487	0.283	0.609	北京	0.566	0.480	0.722
上海	0.387	0.136	0.479	深圳	0.387	0.257	0.561	深圳	0.484	0.440	0.679
深圳	0.309	0.158	0.470	上海	0.418	0.177	0.521	上海	0.505	0.317	0.632
东莞	0.240	0.080	0.373	东莞	0.309	0.202	0.500	广州	0.429	0.360	0.627
广州	0.336	0.056	0.370	广州	0.408	0.124	0.474	杭州	0.364	0.248	0.548
天津	0.250	0.059	0.349	杭州	0.303	0.114	0.431	珠海	0.264	0.294	0.528
苏州	0.240	0.061	0.347	成都	0.310	0.085	0.403	佛山	0.261	0.228	0.494
重庆	0.227	0.064	0.347	苏州	0.274	0.086	0.392	成都	0.414	0.134	0.485
杭州	0.261	0.054	0.345	南京	0.278	0.084	0.391	东莞	0.328	0.165	0.483
武汉	0.261	0.050	0.339	武汉	0.296	0.070	0.379	南京	0.347	0.115	0.447
南京	0.244	0.047	0.328	重庆	0.275	0.074	0.378	宁波	0.272	0.133	0.436
西安	0.212	0.051	0.322	天津	0.271	0.071	0.372	苏州	0.330	0.109	0.435
成都	0.240	0.040	0.313	珠海	0.261	0.066	0.362	武汉	0.335	0.106	0.434
厦门	0.187	0.035	0.285	西安	0.243	0.064	0.353	重庆	0.335	0.100	0.428
长沙	0.196	0.033	0.284	厦门	0.204	0.066	0.340	舟山	0.190	0.168	0.423
无锡	0.194	0.033	0.284	济南	0.239	0.052	0.334	厦门	0.259	0.120	0.420
郑州	0.178	0.034	0.280	郑州	0.226	0.054	0.333	长沙	0.286	0.088	0.398
济南	0.216	0.028	0.279	无锡	0.208	0.054	0.326	西安	0.292	0.079	0.390
珠海	0.226	0.026	0.277	宁波	0.211	0.053	0.326	天津	0.307	0.074	0.388
宁波	0.186	0.031	0.275	中山	0.209	0.053	0.324	合肥	0.308	0.066	0.378

韧性耦合协调度的基尼系数,并将其分解为区域内差距、区域间差距和超变密度,以此对数字技术与城市韧性耦合协调度的总差异、区域内差异以及区域间差异情况进行探讨与分析。

从图3可知,我国数字技术与城市韧性耦合协调度总基尼系数从2012年的0.171降低到2016年的0.151,之后回升至2021年的0.165,整体下降幅度为0.006,这表明我国数字技术与城市韧性发展协调性的差异呈现先下

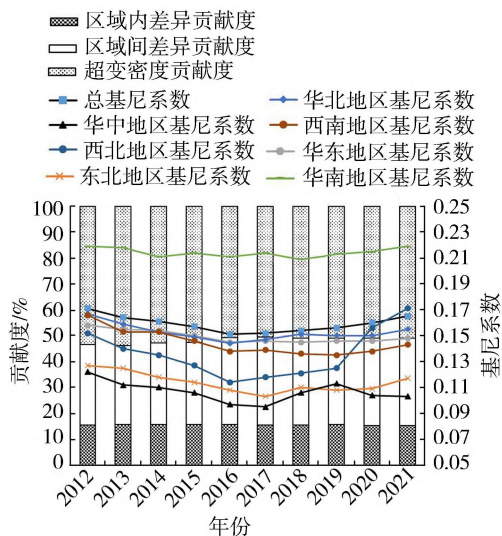


图3 2012—2021年数字技术与城市韧性耦合协调水平的基尼系数演变趋势

降后回升的趋势,整体表现为耦合协调差异小幅度缩小。超变密度贡献是总体差异的主要来源,这是由于部分数字技术与城市韧性发展协调水平较高的区域内存在协调程度较低的城市,但这种因区域间城市协调度交叉重叠作用而产生的极化现象在样本年呈现逐年减小的趋势。

区域间差异是区域总体差异的次要来源,主要由区域间的净差异引起,且该趋势呈现逐年扩大的趋势。华中和东北地区基尼系数最小,区域内各城市数字技术与城市韧性协调发展程度更为均衡;西南、西北两大区域的基尼系数呈上升趋势,涨幅分别为0.145、0.019,说明区域内部差异不断扩大;华中、华北、华东和东北4个区域的数字技术与城市韧性耦合协调水平基尼系数呈波动下降趋势,下降幅度分别为0.019、0.012、0.010、0.010,这表明区域内协调程度差异不断缩小,数字技术与城市韧性发展逐渐均衡化;华南地区基尼系数远高于其他区域的基尼系数,这表明华南地区内各城市的数字技术与城市韧性的耦合协调水平的不均衡性远高于其他区域。

### 3. 数字技术与城市韧性发展耦合协调度的障碍因子识别

本研究采用障碍度模型识别影响城市韧性



水平的障碍因子,对指标体系各准则层、指标层所占该层级总体比重的大小进行了测算,分析影响数字技术与城市韧性耦合协调度的障碍因子。图 4 报告了 2012—2021 年数字技术与城市韧性耦合协调系统中,准则层与指标层的障碍因子。根据结果可知,285 个样本城市分为中等协调、基本协调、中度失调和濒临衰退 4 个类别。4 个类别中,数字基础设施与社会韧性均为影响目标系统耦合协调水平的最关键因素,二者之和均占据了系统耦合协调水平障碍度的 50% 以上;生态韧性的障碍度最低,均值均在 0.5% 以下。

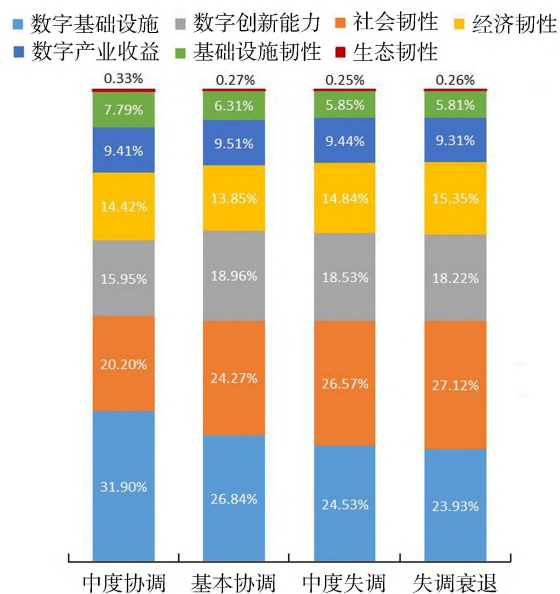


图 4 各准则层的障碍度

为详细分析评价指标层对我国城市数字技术与城市韧性耦合协调发展水平的影响,在准则层障碍度分析的基础之上进一步测算了考察期内系统指标层各指标的障碍因子及障碍度大小。排名前 5 位的障碍因子分别为每万人国际互联网用户数(12.34%)、每万人移动电话年末用户数(11.74%)、发明专利授权数(7.61%)、城镇基本医疗保险覆盖率(7.42%)以及城镇职工基本养老保险覆盖率(6.59%)。

## 五、研究结论及政策启示

本研究首先梳理了数字技术与城市韧性之间的耦合协调过程,分别构建了城市韧性水平和数字技术发展水平指标,采用耦合协调度模型、Dagum 基尼系数以及障碍度模型对我国

285 个地级市及以上城市 2012—2021 年的数字技术和城市韧性耦合协调发展水平进行综合测度,并探讨耦合协调度的时序演进、空间差异以及影响因素。主要结论如下:第一,我国数字技术和城市韧性整体发展水平均呈稳步上升趋势,尽管数字技术的发展滞后于城市韧性的发展,二者之间的差距在逐步缩小。从耦合度来看,二者的耦合协调度在不断上升,从早期的磨合耦合阶段发展到高度耦合阶段,但二者的整体协调水平仍然不高。第二,我国数字技术与城市韧性耦合空间差异呈现先下降后回升的趋势,总体表现为差异小幅度缩小。从城市层面的空间差异来看,只有极少城市的耦合协调度,如北京、上海和重庆处于基本协调及以上的发展阶段,广州、珠海、舟山等城市耦合协调水平得到较大提升。从区域层面的空间差异来看,华中、华北地区数字技术与城市韧性的耦合协调发展更为均衡,华南地区的失调水平是最高的。第三,通过障碍度模型分析发现,数字基础设施和社会韧性是影响数字技术系统和城市韧性系统耦合协调水平的关键因素。

综上,为促进数字经济与城市韧性耦合协调发展,提出以下政策启示以供参考:首先,推动数字技术融入城市韧性建设。尽管我国数字技术和城市韧性整体发展水平都呈现稳步上升的趋势,数字技术系统与城市韧性系统之间虽然有一定的互动关系,但由于我国的数字技术发展在不同地区和城市之间存在差距,大部分地区城市韧性建设和数字技术的融合进程相对缓慢,导致数字技术与城市韧性系统之间的相互作用效果尚不明显。由于不同地区之间的数据平台尚存在开放程度和标准尚未统一、城市与部门和行业之间的横向协作能力有限等问题,信息及数据共享程度较弱、沟通协商机制尚需健全和完整,城市管理者在信息获取和行动方面缺乏敏捷性,难以就城市突发事件及重大风险制定系统性、前瞻性的风险防控方案。因此,在未来城市发展规划中应加大数字基础设施建设力度,积极搭建数据共享、标准统一和融合互通的数据平台,将移动互联网、大数据、云计算、人工智能等数字技术深度运用于城市风险监测、预警预报、指挥救援等治理环节,提升

数据共享与交流力度和数字技术的应用与创新水平,进一步释放数字技术在城市治理过程中的潜力,强化数字技术与城市韧性系统之间的耦合协调性。

其次,加强城市间的数字技术合作与联动。城市之间的数字化发展水平、数字标准体系建设进度存在一定程度上的差异,使得韧性城市发展存在结构性障碍。整体上看,我国内陆区域数字技术与城市韧性协调发展的协调水平差距明显缩小,而沿海地区与内陆地区的差距呈现小幅度增长。区际差距已经成为不可忽视的现象,这种差距不仅表现为东部沿海地区和中西部内陆地区之间的差距,还体现为大城市和中小城市之间的差距。大城市的虹吸效应逐渐显现,导致人才和资源进一步向大城市集聚,不同城市之间数字经济发展水平、城市韧性水平以及两者的协同发展程度的差距还在不断扩大。在国家区域协调发展战略实施的背景之下,需要加快经济发展落后地区的产业转型升级,加强各城市之间的数字技术合作和联动,推动资源和人才的跨区域流动,促进与周边城市、都市圈、城市群的协同发展。

最后,注重数字基础设施建设和社会保障与福利提升。通过障碍度模型分析发现,数字基础设施和社会韧性是影响数字技术系统和城市韧性系统耦合协调水平的关键因素,这意味着在城市韧性发展中应注重数字基础设施建设和社会保障与福利提升,在数字经济高速发展的背景之下,以大数据、云计算等为代表的数字技术已成为数字中国建设的重要内容,而数字基础设施建设是筑牢信息时代的发展基石。因此,在城市发展过程中应不断推进数字基础设施体系化发展和规模化部署,通过互联网、大数据、人工智能等多种技术和模式,推动医疗卫生、养老服务、扶残助残等公共服务设施统筹布局,为经济高质量发展注入强大动力。

#### 参考文献:

[ 1 ] 杨敏行,黄波,崔翀,等. 基于韧性城市理论的灾害防治研究回顾与展望[J]. 城市规划学刊,2016(1):48-55.  
[ 2 ] FOLKE C, CARPENTER S, ELMQVIST T, et al.

Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations[J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2002,31(5):437-440.  
[ 3 ] 徐玖平. 以智慧韧性理念提升城市治理效能[N]. 人民政协报,2024-03-06(018).  
[ 4 ] 李南枢. 数字紧急状态下韧性城市建设的现实困局与路径优化[J]. 理论月刊,2023(4):67-76.  
[ 5 ] DESOUZA K C, FLANERY T H. Designing, planning, and managing resilient cities: a conceptual framework[J]. *Cities*, 2013, 35:89-99.  
[ 6 ] ANDY P, STUART D, JOHN T. Resilience, adaptation and adaptability[J]. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 2010, 3(1):59-70.  
[ 7 ] GRABHER G, STARK D. Organizing diversity: evolutionary theory, network analysis and postsocialism[J]. *Regional Studies*, 2010, 31(5):533-544.  
[ 8 ] DAVOUDI S, CRAWFORD J, MEHMOOD A. Planning for climate change: strategies for mitigation and adaptation for spatial planners[J]. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 2010, 2(1):1-44.  
[ 9 ] GLEESON B. Critical commentary, waking from the dream: an Australian perspective on urban resilience[J]. *Urban Studies*, 2008, 45(13):2653-2668.  
[ 10 ] 石涛. 黄河流域城市韧性发展水平的时空演进及驱动要素分析[J]. 区域经济评论, 2022(1):139-149.  
[ 11 ] DUY P N, CHAPMAN L, TIGHT M. 沿海城市的城市韧性: 胡志明市和东南亚其他新兴城市的挑战和机遇[J]. 城市规划学刊, 2018(1):125-126.  
[ 12 ] 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.  
[ 13 ] WOLFE D, BRAMWELL A. Innovation, creativity and governance: social dynamics of economic performance in city-regions[J]. *Innovation*, 2008, 18(4):449-461.  
[ 14 ] AKGUN A E, KESKIN H. Organisational resilience capacity and firm product innovativeness and performance[J]. *International Journal of Production Research*, 2014, 52(23):6918-6937.  
[ 15 ] KAKDERI C, TASOPOULOU A. Regional economic resilience: the role of national and regional policies

- [J]. *European Planning Studies*, 2017, 25 (8): 1435-1453.
- [16] EVENHUIS E. New directions in researching regional economic resilience and adaptation [J]. *Geography Compass*, 2017, 11(11): e12333.
- [17] 李依浓, 李洋. 数字化背景下的韧性城市建设——以德国达姆施塔特为例[J]. *城市发展研究*, 2021, 28(7): 65-74.
- [18] 陈苏超, 闫绪娴, 范玲. 数字中国背景下城市韧性提升路径研究——基于模糊集定性比较分析(fsQCA)[J]. *灾害学*, 2024, 39(1): 6-10.
- [19] 谭日辉, 陈思懿, 王涛. 数字平台优化韧性城市建设研究——以北京城市副中心为例[J]. *城市问题*, 2022(1): 86-94.
- [20] 肖春梅, 黄桂鑫. 数字经济是否提升了城市韧性? ——来自中国 285 个城市的经验证据[J]. *区域经济评论*, 2023(4): 117-125.
- [21] 米嘉伟, 屈小娥. 数字经济发展如何影响城乡收入差距[J]. *现代经济探讨*, 2022(6): 80-91.
- [22] 刘家树, 顾为都. 数字技术影响城市经济韧性的机制与效应——基于中国 265 个城市的实证检验[J]. *江淮论坛*, 2023(2): 67-73.
- [23] 钟学思, 郑睿, 蒋楷文. 中国城市群数字经济与城市韧性耦合协调关系研究[J]. *资源开发与市场*, 2023, 39(10): 1320-1332.
- [24] RICHARDS N M. The dangers of surveillance [J]. *Harvard Law Review*, 2012, 126(7): 1934-1965.
- [25] 卢家银. 非常法时期互联网用户的隐私保护行为研究[J]. *国际新闻界*, 2021, 43(5): 65-85.
- [26] 张宇栋, 王奇, 刘奕. “后疫情时代”社区治理中的个人数据应用: 问题与策略[J]. *电子政务*, 2021(2): 84-96.
- [27] 赵瑞东, 方创琳, 刘海猛. 城市韧性研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(10): 1717-1731.
- [28] 李佳馨, 郭辰, 周婷婷. 数字经济、消费升级与经济高质量发展——基于 2011—2020 年中国省际面板数据的分析[J]. *技术经济与管理研究*, 2022(6): 94-98.
- [29] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. *管理世界*, 2020, 36(10): 65-76.
- [30] 荆林波. 韧性城市的理论内涵、运行逻辑及其在数字经济背景下的新机遇[J]. *贵州社会科学*, 2021(1): 108-115.
- [31] 杨开忠. 京津冀协同发展的新逻辑: 地方品质驱动型发展[J]. *经济与管理*, 2019, 33(1): 1-3.
- [32] 白立敏, 修春亮, 冯兴华, 等. 中国城市韧性综合评估及其时空分异特征[J]. *世界地理研究*, 2019, 28(6): 77-87.
- [33] 刘军, 杨渊翌, 张三峰. 中国数字经济测度与驱动因素研究[J]. *上海经济研究*, 2020(6): 81-96.
- [34] 乌云图, 陶克涛, 彭俊超. 产业协同集聚、数字技术支持与资源错配[J]. *科研管理*, 2023, 44(1): 125-135.
- [35] 鲁玉秀, 方行明, 张安全. 数字经济、空间溢出与城市经济高质量发展[J]. *经济经纬*, 2021, 38(6): 21-31.
- [36] 陈杨. 数字经济与流通业发展韧性的耦合协调关系及其空间演化特征[J]. *商业经济研究*, 2023(13): 14-18.
- [37] 王淑佳, 孔伟, 任亮, 等. 国内耦合协调度模型的误区及修正[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(3): 793-810.
- [38] DAGUM C. A new approach to the decomposition of the gini income inequality ratio [M]//SLOTTJE D J, RAJ B. *Income inequality, poverty, and economic welfare*. Heidelberg: Physica-Verlag HD, 1997.

(编辑:高虹)



**A Study on the Coupling of Digital Technology and Urban Resilience: An Empirical Analysis Based on Data of 285 Cities in China**/MAO Lijuan<sup>1</sup>, XIA Jiechang<sup>2</sup>, LIU Ruiyi<sup>3</sup>

(1. Research Institute for Eco-civilization, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100006, China; 2. National Academy of Economic Strategy, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100006, China; 3. Platform Economy Research Center, University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Cities bear the heavy responsibility of economic and social development, and benign urban construction is a necessary condition for high-quality economic development in China. With the deepening application of emerging digital technologies in urban planning, construction, and management governance, using digital technology as an engine to enhance urban resilience is an important way to achieve high-quality urban development. Based on this background, this article first outlines the coupling mechanism between digital technology and urban resilience. Using the coupling coordination degree model, Dagum Gini coefficient, and obstacle degree model, the coupling coordination's development level of digital technology and urban resilience in 285 cities from 2012 to 2021 is comprehensively measured, and the temporal evolution, spatial differences, and influencing factors of coupling coordination are explored. Research has found that the overall development level of digital technology and urban resilience in China is steadily increasing, and the degree of coupling and coordination between the two is also constantly increasing. The spatial difference between the coupling of digital technology and urban resilience in China shows a trend of first decreasing and then rebounding. The coupling and coordinated development of digital technology and urban resilience in central and northern China is more balanced, while the imbalance level is highest in southern China. Meanwhile, digital infrastructure and social resilience are key factors that affect the level of coupling and coordination between digital technology systems and urban resilience systems. To further enhance the interaction between digital technology and urban resilience systems, it is necessary to actively build a data platform that shares data, unifies standards, and integrates interoperability; Promote cross regional flow of resources and talents, and promote coordinated development with surrounding cities, metropolitan areas, and urban agglomerations; Pay attention to the construction of digital infrastructure and the improvement of social security and welfare, promote the overall layout of public service facilities such as healthcare, elderly care services, and assistance for the disabled.

**Key words:** digital technology; cities; resilience; urban governance; social governance; coupling coordination degree; region