

城市智慧治理模式能否促进城市内涝灾害韧性提升?

——基于国家智慧城市试点政策的准自然实验

杨凯,刘丁蓉,孙仕

(广东财经大学公共管理学院,广东广州510320)

摘要:智慧城市建设为城市系统应对内涝灾害提供了新的思路与路径。基于2005—2022年我国148个城市的面板数据,将国家智慧城市试点政策作为准自然实验,采用双重差分模型实证探讨城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性的影响效应及其内在机制。研究表明,城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性具有显著的赋能效应。随着城市智慧治理模式的不断推进,该赋能效应呈稳步增强趋势,并在不同韧性维度、城市类型与城市发展特征等条件下呈现显著异质性。信息技术人才、科技支持力度与数字产业繁荣在赋能过程中发挥显著的中介作用。另外,本城市的智慧治理模式对周边城市内涝灾害韧性的赋能效应随地理距离扩大呈现递减趋势,当距离超过200km时,赋能效应消失。

关键词:城市智慧治理模式;城市内涝灾害韧性;智慧城市建设;双重差分模型

中图分类号:F062.2;X43 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-6049(2024)06-0023-11

一、引言

在城镇化快速推进的过程中,早期规划的不足与缺失、城市的盲目扩张以及资源集聚的不均衡性,催生了诸多“城市病”^[1]。其中,城市内涝灾害问题尤为突出。作为一种复杂的城市环境安全问题,内涝灾害不仅会导致城市核心功能的临时中断,还会引发水质污染,加剧公共卫生风险。同时,频繁的内涝事件也会影响居民心理健康,削弱社会心理韧性。2021年4月,《国务院办公厅关于加强城市内涝治理的实施意见》明确指出,“根据建设海绵城市、韧性城市要求,因地制宜、因材施教,提升城市防洪排涝能力,用统筹的方式、系统的方法解决城市内涝问题”。2022年,党的二十大报告再次指出,“提高城市规划、建设、治理水平,加快转变超大特大城市发展方式,实施城市更新行动,加强城市基础设施建设,打造宜居、韧性、智慧城市”。在城市内涝防治的迫切需求和顶层设计的双重驱动下,着力提升城市内涝灾害韧性已成为城市治理领域的一个重要议题。

为激发城市创新活力,提升城市治理绩效,2012年12月,住房和城乡建设部正式印发《国家智慧城市试点暂行管理办法》和《国家智慧城市(区、镇)试点指标体系(试行)》,并于2013年至2015年先后公布了三个批次的智慧城市试点名单。在智慧城市试点政策的推动下,城市通过融合物联网、大数据

收稿日期:2024-02-17;修回日期:2024-06-27

基金项目:教育部人文社会科学研究一般项目“数据要素驱动乡村产业高质量发展路径及差异化调控研究:生产要素协同视角”(23YJC790078);广东省自然科学基金面上项目“双碳目标下基于大数据的广州市国土空间碳排放模拟和减排路径研究”(2023A1515010560)

作者简介:杨凯(1974—),男,江西临川人,政治学博士,广东财经大学公共管理学院副教授,硕士生导师,研究方向为数字治理;刘丁蓉(1979—),女,湖南益阳人,经济学博士,广东财经大学公共管理学院副教授,硕士生导师,研究方向为数字治理;孙仕(1988—),男,湖南华容人,通讯作者,广东财经大学公共管理学院硕士研究生,研究方向为数字治理。

等技术,不断建设智能基础设施,逐步实现资源高效配置和服务精准供给,并引领多元主体协同,强化数据共享与综合治理能力。可预见的是,专注于绿色基础设施与数字技术创新融合,并强调综合性风险管理的智慧城市建设,将有力推动城市治理模式向以科技为支撑、以人民为中心的智慧治理模式转变,为增强城市内涝灾害韧性提供切实可行的新路径。那么,城市智慧治理模式能否促进城市内涝灾害韧性提升?是否存在异质性特征?其内在影响机制是什么?解答上述问题不仅有利于科学指导智慧城市建设的具体实践,还能促进城市内涝灾害韧性建设的精准施策与持续优化。

二、文献综述

与本主题相关的研究主要包括智慧城市建设的效益、城市内涝灾害韧性评估以及智慧城市建设与城市韧性的影响关系三个方面。(1)关于智慧城市建设的经济、社会、生态与技术效益。我国关于智慧城市建设的研究文献最早可追溯至2009年^①。相关研究集中于讨论智慧城市建设在经济、社会、生态与技术等多个维度的影响效益。其一,经济效益方面。智慧城市建设通过增强城市韧性、提升数字普惠金融发展水平与激发区域创业活力等方式,实现城市经济高质量发展^[2-3],还能通过提高城市创新能力和优化产业结构升级,促进地区绿色经济发展^[4-5]。其二,社会效益方面。智慧城市建设能够通过提高区域创新水平,缩小区县经济不平等^[6],并通过减少环境污染、降低犯罪率和革新信息技术,提升居民幸福感^[7]。其三,生态效益方面。智慧城市建设能显著降低企业主要污染物SO₂排放强度^[8],推动城市减污降碳水平提升与绿色发展^[9],并通过技术创新和治理创新,助推城市生态环境韧性提升^[10]。其四,技术效益方面。智慧城市建设能显著推动绿色技术创新效率提升^[11],且财政科技支出增加与产业结构升级在此过程中发挥重要的中介作用^[12],同时“新基建”、产业集聚以及企业内部治理的推动作用也不容忽视^[13]。(2)关于城市内涝灾害韧性。我国关于城市内涝灾害的研究由来已久,目前的研究主要集中于城市内涝灾害韧性的综合评估,包括评估指标体系构建、评估方法和模型选择等内容。其一,评估指标体系构建方面。学者们较多从抵抗力、恢复力和适应力三个维度或基于PSR模型选取具体指标来构建评估体系^[14-15]。致灾因子、孕灾环境与承灾体等灾害要素也是学者们构建评估指标体系的重要参考^[16]。其二,评估方法与模型方面。投影寻踪模型^[14]、贝叶斯网络模型^[15]、物元可拓模型^[16]与VIKOR模型^[17]等是最常用的城市内涝灾害韧性与风险评估模型。(3)关于智慧城市建设与城市韧性的影响关系。目前关于智慧城市建设与城市内涝灾害韧性影响关系的研究文献数量较少,已有研究主要集中于探讨智慧城市建设与城市韧性的影响关系。研究已证实,智慧城市建设有利于城市韧性提升^[18],其中对城市韧性社会维度的助推作用较为显著^[19],并且其借助创新驱动产生的技术效应、结构效应会进一步增强城市韧性^[20]。

综上所述,目前学术界对智慧城市建设效益及城市内涝灾害韧性综合评估的研究已初具规模,为本研究的开展提供了理论基础和分析思路。然而,从城市韧性视角出发,探讨城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性的影响研究仍显不足,这为本研究提供了切入点。结合上文提出的问题,本文基于2005—2022年我国148个城市的面板数据,将国家智慧城市试点作为一项准自然实验,探析城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性的影响效应。进一步地,本文从人力、物力与财力三个方面探讨其内在影响机制,从不同的韧性维度、城市类型和城市发展特征等条件出发讨论其影响效应的异质性,并分析其影响效应的空间溢出效应。

三、理论分析与研究假说

(一) 城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性的总体影响

城市智慧治理模式有助于提升城市系统应对内涝灾害的韧性^[21]。依托大数据、物联网、5G、云计算和空间地理信息集成等新一代信息技术的智慧城市建设,有效促进了城市规划、建设、管理和服务

^①参见中国知网,以“智慧城市建设”为主题词进行文献检索,相关文献最早发表于2009年12月15日。

的智慧化^[22],增强了城市系统在应对内涝灾害时的响应能力以及城市系统自身的改造与优化能力。一方面,智慧城市通过对历史气象、地形地貌、城市排水系统及实时降雨量等数据的分析和挖掘,能实现城市内涝全过程的“预报、预警、预演、预案”^[23],提升灾害发生时的响应能力,减少内涝灾害造成的损失。另一方面,引入智慧化平台与系统,能实现对城市排水系统的实时监测与远程控制,推动城市排水系统的智能化改造与升级,提高排水系统的运行效率和稳定性^[24]。再一方面,智慧城市通过对城市空间地理信息的集成和分析,也能更精准地评估城市内涝灾害的风险和影响程度,促进城市规划、建设的科学化和合理化^[25]。基于此,本文提出假说1。

假说1:城市智慧治理模式有助于推动城市内涝灾害韧性提升。

(二) 城市智慧治理模式影响城市内涝灾害韧性的内在机制

智慧城市是以信息通信技术为支撑而构建的新型城市,其通过创新产生资源配置效应、技术创新效应和产业结构效应^[26],促进城市系统抗风险能力提升。因此,城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性的影响机制可能遵循“智慧城市建设→智慧治理模式→配置、技术与结构效应→城市内涝灾害韧性提升”逻辑。一方面,智慧城市建设可以通过推动科技创新、产业集聚和基础设施建设来提升人力资本水平^[27],从而吸引和培养信息技术人才,为城市内涝的防灾、减灾与救灾夯实人力基础。另一方面,科技创新在一定程度上依赖于科技支出,科技支出所产生的引导效应能促进社会资本流向科技创新领域。因此,智慧城市建设可以通过提高政府科技支出、优化创新环境,从而提升城市创新能力并推动城市韧性提升^[28]。再一方面,智慧城市建设亦能通过信息技术的应用效应、可持续发展的倒逼作用以及科技创新的促进作用,推动城市产业结构的升级与优化^[29],这有利于数字产业的繁荣与发展,为城市系统应对内涝灾害提供财力支持。基于此,本文提出假说2。

假说2:城市智慧治理模式通过吸引信息技术人才、增强科技支持力度与促进数字产业繁荣间接推动城市内涝灾害韧性提升。

四、模型与变量设定

(一) 模型设定

本文拟将国家智慧城市试点政策作为准自然实验,通过构建双重差分模型(DID),检验城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性提升的影响效应,相关检验模型如下:

$$UWDR_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 USG_{it} + \sum \alpha_2 Controls_{it} + u_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中:下标*i*表示城市,*t*表示年份; $UWDR_{it}$ 表示*i*城市*t*年的城市内涝灾害韧性; USG_{it} 表示*i*城市*t*年的城市智慧治理模式; α_0 表示常数项; α_1 与 α_2 均为待定系数; $Controls_{it}$ 表示控制变量; μ_i 表示城市固定效应; λ_t 表示年份固定效应; ε_{it} 表示随机误差项。

(二) 变量选取

1. 被解释变量

城市内涝灾害韧性($UWDR$)为被解释变量。参考焦柳丹等^[14]、Yu *et al.*^[30]的研究,从基础设施、经济与社会等方面出发,按照抵抗力、适应力与恢复力三个维度构建城市内涝灾害韧性评估指标体系(见表1),并采用熵权法指标赋权,分别加权求和测算求得城市内涝灾害韧性综合指数及其抵抗力、适应力与恢复力三个维度的综合指数。

2. 解释变量

城市智慧治理模式(USG)为解释变量。本文采用智慧城市试点政策虚拟变量($Treat_i$)与智慧城市试点政策实施年份虚拟变量($Post_t$)的交乘项($USG = Treat_i \times Post_t$)进行表征。若*i*城市在*t*年被纳入国家智慧城市试点名单,则将*i*城市作为实验组,交乘项(USG)赋值为1。同时将其余未被纳入国家智慧城市试点的城市作为控制组,交乘项(USG)赋值为0。

3. 控制变量

参考盛广耀等^[31]、孙佳和姜启军^[32]、吕承超等^[33]以及张辽和姚蕾^[34]的研究,将以下变量作为本文

的控制变量:降水量(*ln_rainfall*),采用年均降水量(取对数)进行表征;基础保障能力(*ln_basic*),采用粮食产量(取对数)进行表示;对外开放程度(*ln_govopen*),采用当年的进出口总额(取对数)进行衡量;技术创新程度(*ln_patent*),采用当年的数字专利数(取对数)进行表示;受教育程度(*ln_edu*),采用人口平均受教育年限(取对数)进行表征;劳动力水平(*manpower*),采用15~64岁人口占总人口数的比例进行衡量。

表1 城市内涝灾害韧性评估指标体系

维度层	指标层	指标属性	指标权重	单位	
城市内涝灾害韧性	抵抗力 <i>RS</i>	建成区绿化覆盖率	正向	0.004	%
		建成区排水管道密度	正向	0.029	公里/平方公里
		人均道路面积	正向	0.025	平方米
		人口密度	负向	0.007	人/平方公里
	适应力 <i>AD</i>	人均公园绿地面积	正向	0.016	平方米
		各类学校总数	正向	0.048	所
		城市维护建设资金支出	正向	0.141	万元
		规模以上工业企业利润总额	正向	0.093	万元
		人均地区生产总值	正向	0.051	元
	恢复力 <i>RC</i>	医院、卫生院数	正向	0.048	家
		污水处理厂处理能力	正向	0.137	万立方米/日
		建成区供水管道密度	正向	0.026	公里/平方公里
城市供水综合生产能力		正向	0.114	万立方米/日	
	第三产业增加值占GDP比重	正向	0.011	%	
	市政公用设施建设固定资产投资完成额	正向	0.164	万元	
	城镇基本医疗保险参保率	正向	0.086	%	

(三) 数据来源与说明

本文的原始数据来源于2005—2022年中国148个城市的面板数据。经筛选后,剔除了仅包含区、县、镇、工业园、科技新城与经济开发区的试点城市,最终确定2013—2015年第三批国家智慧城市试点名单中的97个城市作为实验组,51个非国家智慧城市试点城市作为控制组。各变量数据主要来源于《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《中国区域统计年鉴》以及中经网统计数据库与EPS数据库。部分缺失值采用插值法进行了相应补充。各变量数据的描述性统计结果见表2。

表2 变量描述性统计

变量名称	变量符号	样本数	最大值	最小值	均值	标准差
城市内涝灾害韧性	<i>UWDR</i>	2 664	0.639	0.039	0.103	0.069
抵抗力	<i>RS</i>	2 664	0.057	0.009	0.025	0.007
适应力	<i>AD</i>	2 664	0.298	0.010	0.035	0.025
恢复力	<i>RC</i>	2 664	0.401	0.012	0.043	0.045
城市智慧治理模式	<i>USG</i>	2 664	1.000	0.000	0.368	0.482
降水量	<i>ln_rainfall</i>	2 664	8.990	3.963	6.713	0.652
基础保障能力	<i>ln_basic</i>	2 664	24.685	1.609	13.986	1.477
对外开放程度	<i>ln_govopen</i>	2 664	17.568	1.386	11.726	2.410
技术创新程度	<i>ln_patent</i>	2 664	11.602	0.000	5.614	2.314
受教育程度	<i>ln_edu</i>	2 664	2.510	1.813	2.223	0.101
劳动力水平	<i>manpower</i>	2 664	75.002	0.576	0.813	2.492

五、实证结果与分析

(一) 基准回归结果

表3报告了城市智慧治理模式影响城市内涝韧性的初步回归结果。除列(1)外,列(2)至列(5)中城市智慧治理模式(*USG*)影响城市内涝灾害韧性(*UWDR*)的回归系数始终为正,且均通过了1%水平下的显著性检验。此结果表明,城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性产生显著的促进作用。以列

(5)回归结果为基准,城市智慧治理模式促使城市内涝灾害韧性提升0.153个标准单位。综上所述,本研究假说1验证通过。

(二) 平行趋势检验与动态效应分析

满足平行趋势假设是使用双重差分模型(DID)的前提,即实验组与控制组的目标变量在政策实施前只有满足平行趋势假设才能使用双重差分模型(DID),为此本文构建了以下检验模型:

$$UWDR_{it} = \beta_0 + \sum_{k=-7}^{k=10} \beta_k V_{it}^k + \sum \theta Controls_{it} + u_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, V_{it}^k 表示根据本研究样本数据时间跨度2005—2022年所设置的多个虚拟变量,具体设置方法为:使用 n_i 表示国家智慧城市试点政策实施首年(2012年)。

若 $t - n_i \leq -7$,则将 V_{it}^{-7} 赋值为1,其余赋值为0;若 $t - n_i = k$,则将 V_{it}^k 赋值为1,其余赋值为0。

为避免在国家智慧城市试点政策颁布前,各城市主体预知消息而调整城市发展策略所引起的预期效应,此处特将国家智慧城市试点政策实施的前1年作为基期,并进行了剔除。图1的平行趋势检验结果显示,在国家智慧城市试点政策实施之前7年,政策的相对时间虚拟变量回归系数95%置信区间均包含0,即未能通过显著性检验,表明实验组与控制组的城市内涝灾害韧性水平无明显差异,满足平行趋势假设。从政策动态效应上看,国家智慧城市试点政策实施当年(政策时点=0),时间虚拟变量的回归系数为正,且通过了显著性检验,表明城市智慧治理模式能显著推动城市内涝灾害韧性提升。随着政策的逐渐推进,城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性的赋能效应逐渐增强。

(三) 安慰剂检验

参考吕越等^[35]的相关研究,随机抽取某一年份作为国家智慧城市试点政策实施时间,在所有城市样本中随机抽取部分城市样本作为实验组,并设定上述随机抽样处理过程为500次。图2展示了安慰剂检验结果,500次抽样回归中的显著性p值(p-value)绝大多数大于0.1(横线以上)不呈现显著

表3 基准回归分析结果

变量	(1) UWDR	(2) UWDR	(3) UWDR	(4) UWDR	(5) UWDR
USG	0.008 (0.028)	0.191*** (0.019)	0.124*** (0.029)	0.069*** (0.015)	0.153*** (0.017)
ln_edu		-1.125*** (0.143)	-1.066*** (0.141)	3.084*** (0.306)	1.508*** (0.230)
manpower		0.004 (0.001)	0.004 (0.001)	-0.005** (0.001)	0.001 (0.001)
ln_govopen		-0.026*** (0.006)	-0.008 (0.007)	-0.002 (0.006)	-0.005 (0.006)
ln_rainfall		0.032** (0.013)	0.046*** (0.013)	-0.035* (0.021)	-0.0303 (0.020)
ln_patent		-0.175*** (0.007)	-0.213*** (0.012)	-0.078*** (0.006)	0.046*** (0.009)
ln_basic		0.039*** (0.007)	0.040*** (0.007)	0.009 (0.012)	0.014* (0.012)
常数项	-1.032*** (0.017)	1.919*** (0.351)	1.711*** (0.347)	6.378*** (0.702)	2.073*** (0.535)
城市固定	否	否	否	是	是
年份固定	否	否	是	否	是
N	2 664	2 664	2 664	2 664	2 664
R ²	0.000	0.588	0.569	0.385	0.056

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为稳健标准误。

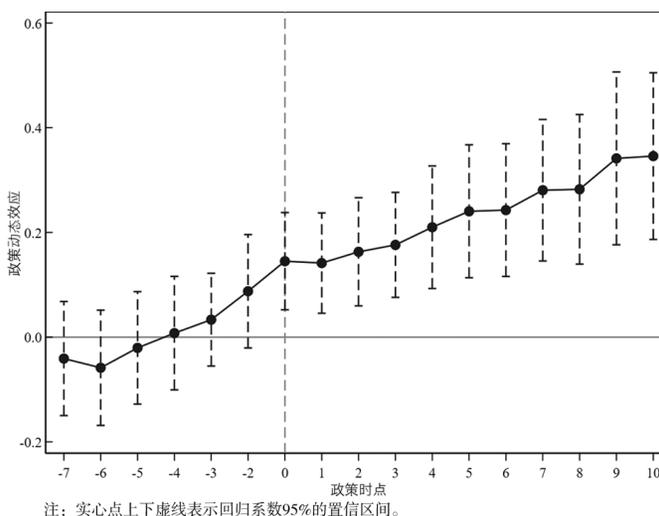


图1 平行趋势检验及政策动态效应

性。同时,500次抽样分析的回归系数符合均值为0的正态分布,总体处于-0.02至0.02之间,与上文基准回归系数0.153具有较大差异。以上结果证实了全样本基准回归结果为极小概率事件,具有较好的稳健性。

(四) 稳健性检验

为进一步提高城市智慧治理模式赋能城市内涝灾害韧性提升结果的可靠性,以下方法将被用于开展稳健性检验:(1) PSM-DID。样本与变量选择的不随机性可能导致回归分析偏差,为缓解此现象对回归结果的影响,本文拟采用双重差分倾向得分匹配法(PSM-DID)进行稳健性检验。首先,将基准回归中所选定的控制变量作为协变量,采用近邻匹配、核匹配与半径匹配三种方法筛选出与实验组特征最接近的控制组,进而对得分匹配后的样本开展进一步回归分析。结果显示,匹配前(Unmatched)所选控制变量标准化偏差绝对值较大,即存在显著差异,需进一步进行倾向得分匹配。匹配后(Matched)所选控制变量的标准偏差绝对值均在20%范围内,且均未通过显著性检验,表明倾向得分匹配结果具有可靠性。(2) 变量数据缩尾。为规避极端值对回归结果的影响,对主要变量数据进行1%的缩尾处理后进一步回归分析。(3) 剔除中心城市。本文的样本数据来源于城市面板数据,东、中部地区部分中心城市由于政策和资源的倾斜,其智慧城市建设基础、城市内涝灾害韧性水平与其他地级市存在显著差异。为避免此类中心城市样本对回归结果的影响,剔除了北京、天津、上海、广州、深圳、重庆、武汉、杭州与南京等城市。(4) 排除海绵城市试点政策。由于城市内涝韧性受多种因素影响,为排除其他城市试点政策对基准回归结果的影响,将海绵城市试点政策作为虚拟变量(*sponge*)加入模型中进行检验。

表4报告了以上方法的稳健性检验结果。列(1)至列(6)中城市智慧治理模式(*USG*)影响城市内涝灾害韧性(*UWDR*)的回归系数始终为正,且均通过了1%水平下的显著性检验,此结果充分证实了上文基准回归结果的稳健性。

表4 稳健性检验结果

变量	(1) 近邻匹配	(2) 核匹配	(3) 半径匹配	(4) 变量 数据缩尾	(5) 剔除 中心城市	(6) 排除海绵城 市试点政策
<i>USG</i>	0.088 *** (0.027)	0.096 *** (0.026)	0.028 ** (0.012)	0.157 *** (0.014)	0.102 *** (0.011)	0.151 *** (0.015)
<i>sponge</i>						0.312 *** (0.021)
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	-0.008 (0.529)	-1.283 * (0.693)	1.140 *** (0.439)	1.596 *** (0.557)	1.331 *** (0.392)	1.819 *** (0.584)
城市固定	是	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是	是
N	2 619	2 624	2 664	2 664	2 502	2 664
R ²	0.057	0.048	0.017	0.087	0.055	0.132

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为稳健标准误。

(五) 内在机制检验

为进一步检验信息技术人才、科技支持力度与数字产业繁荣三个变量在城市智慧治理模式推动城市内涝灾害韧性提升进程中所发挥的中介效应,细化城市内涝灾害韧性提升路径,参考边志强^[9]、

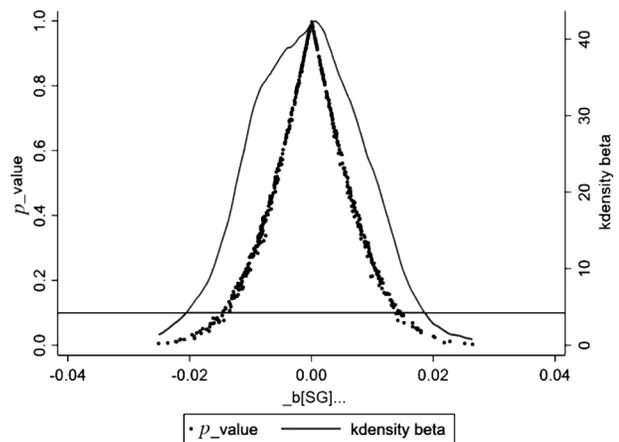


图2 随机抽样处理p值与回归系数分布

江艇^[36]的研究构建了以下逐步回归检验模型:

$$Me_{it} = \chi_0 + \chi_1 USG_{it} + \sum \chi_2 Controls_{it} + u_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$UWDR_{it} = \delta_0 + \delta_1 USG_{it} + \delta_2 Me_{it} + \sum \delta_3 Controls_{it} + u_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, Me_{it} 表示中介变量, 包括信息技术人才(ITT)、科技支持力度(STS)与数字产业繁荣(DIP)。参考袁歌聘等^[37]的研究, 信息技术人才(ITT)使用“信息传输、计算机服务和软件业从业人员数”进行表征; 参考辛冲冲和陈志勇^[38]的研究, 科技支持力度(STS)使用“科学支出占财政支出的比重”进行表征; 数字产业繁荣(DIP)使用“数字经济发展综合指数”进行表征, 通过构建数字经济评估指标体系(见表5)并采用熵权法、加权求和法测算求得。

表6报告了内在机制检验结果。列(1)至列(3)的第一阶段检验结果显示, 城市智慧治理模式(USG)对信息技术人才(ITT)、科技支持力度(STS)与数字产业繁荣(DIP)的回归系数分别为0.172、0.038与0.090, 均通过了1%水平下的显著性检验; 列(4)至列(6)的第二阶段检验结果

显示, 信息技术人才(ITT)、科技支持力度(STS)与数字产业繁荣(DIP)对城市内涝灾害韧性($UWDR$)的回归系数分别为0.480、0.811与0.118, 均通过了1%水平下的显著性检验。结合以上两个阶段的结果可判定, 信息技术人才、科技支持力度与数字产业繁荣在城市智慧治理模式赋能城市内涝灾害韧性过程中产生显著的中介效应。与前文理论分析相呼应, 城市智慧治理模式能提升人力资本水平, 有助于增加就业机会与优化就业环境, 引导数字人才集聚, 为城市应对内涝灾害提供人力支撑; 智慧治理模式依赖于信息技术的有效应用, 加大科技投入能使其应用效能充分体现于城市治理事务之中, 进而提高城市系统应对内涝灾害的监测、预警与响应能力; 智慧治理模式会催生大量数字化与智能化解决方案, 有效提升城市治理效率, 间接推动数字产业发展, 进而增加政府税收收入, 为城市系统应对自然灾害提供物质保障。综上所述, 本文的假说2验证通过。

六、进一步拓展研究

(一) 异质性讨论

第一, 韧性维度异质性。城市智慧治理模式对城市内涝灾害抵抗力、适应力与恢复力三个维度的影响效应如何, 仍有待进一步验证。本文拟引入抵抗力(RS)、适应力(AD)与恢复力(RC)三个变量,

表5 数字经济评估指标体系

目标层	指标层	指标属性	指标权重	单位
数字经济发展	每百人互联网用户数	正向	0.1627	人
	计算机服务和软件从业人员占比	正向	0.1638	%
	人均电信业务总量	正向	0.1593	元
	每百人移动电话用户数	正向	0.1635	户数
	数字普惠金融指数	正向	0.3508	—

注: 以上数据主要来源于《中国城市统计年鉴》, 数字普惠金融指数来源于北京大学数字普惠金融指数报告。

表6 内在机制检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	第一阶段			第二阶段		
	ITT	STS	DIP	$UWDR$	$UWDR$	$UWDR$
USG	0.172*** (0.023)	0.038*** (0.008)	0.090*** (0.032)	0.070*** (0.013)	0.122*** (0.015)	0.142*** (0.017)
ITT				0.480*** (0.031)		
STS					0.811*** (0.076)	
DIP						0.118*** (0.014)
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	-3.104*** (0.693)	-0.279 (0.268)	7.793*** (1.211)	-0.584 (0.421)	-1.846*** (0.488)	-2.989*** (0.544)
城市固定	是	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是	是
N	2664	2664	2664	2664	2664	2664
R ²	0.053	0.016	0.043	0.480	0.205	0.109

注: ***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著, 括号内为稳健标准误。

探讨城市智慧治理模式的韧性维度异质性。表7中除列(1)的回归系数未通过显著性检验外,列(2)与列(3)的回归系数均在1%的水平下显著。结果表明,城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性产生促进作用,但目前仅限于适应力与恢复力维度,对抵抗力维度的影响尚不显著。其原因可能在于:城市内涝灾害抵抗力更多体现在城市系统的自然抵抗力方面,如城市的绿化植被、排水管道设施与人均道路面积等,直接影响城市的雨洪自我调蓄能力。相反,城市智慧治理模式强调信息技术应用、数字人才培育及对城市系统的综合治理,其建设效益较多体现于经济社会维度,因此对内涝灾害适应力与恢复力维度的促进作用会更加显著。

第二,城市类型异质性。科技创新是智慧治理的重要推动力量。本文依据首都科技发展战略研究院课题组发布的《中国城市科技创新发展报告(2022)》中排名前100的科技创新城市名单,将样本城市分成科技创新城市与非科技创新城市两类进行检验。表8列(1)至列(3)中仅抵抗力(*RS*)的回归系数未能通过显著性检验。结果表明,在科技创新城市中智慧治理模式对城市内涝灾害韧性的促进作用主要体现在适应力与恢复力两个

维度。具体原因可能在于:科技创新城市的发展依托于技术创新、优质人力资源与灵活体制等要素的有效驱动,在经济、社会及人文领域展现卓越的治理成效,增强了城市系统应对内涝灾害时的适应力与恢复力。另外,目前大部分科创城市位于东部沿海地区,与中西部地区城市相比,面临山区绿化面积稀少、人口过度密集与道路资源紧张等局限,导致其在利用智慧治理手段补足自然调蓄短板、增强内涝抵抗力方面潜力受限。表8列(4)至列(6)中仅适应力(*AD*)的回归系数未能通过显著性检验。结果表明,在非科技创新城市中智慧治理模式对城市内涝灾害韧性的促进作用主要体现在抵抗力与恢复力两个维度。具体原因可能在于:大部分非科技创新城市位于中西部地区,其经济社会发展水平有限,市政、企业与城市居民的创收能力不足,城市所拥有的资源分配不均,即使实现城市智慧治理模式的转变,仍无法短时间内提升市政、企业与城市居民等多元主体的承灾适应能力,但其优越的自然生态系统却可显著提升城市应对内涝灾害时的抵抗力和恢复力,减少损害并使其快速恢复正常秩序。

第三,城市特征异质性。参考边志强^[9]的相关研究,本文进一步从人力、物力与财力方面,探析城市不同发展特征背景下城市智慧治理模式影响城市内涝灾害韧性的异质性。本文分别采用人力资本水平(教育支出占财政支出的比重)、数字基础设施(移动电话年末用户数与总人口的比例)、金融发展水平(年末金融机构各项存、贷款余额占GDP比重)对人力、物力、财力进行划分,并以所选样本城市2022年的数据均值为依据,大于等于均值划为高水平城市,小于均值划为低水平城市。表9的回归结果显示,在人力资本、数字基础设施建设及金融发展的高水平城市中,其城市智慧治理模式影响城市内涝灾害韧性的回归系数始终为正,均通过了1%水平下的显著性检验。在低水平城市中,仅人力资本该类别通过了显著性检验。具体的原因可能在于:城市智慧治理模式的转变依赖于人力、物力和财力的有效支持和保障,优质的人力资源能推动新技术与新理论在智慧治理模式中的应用,信息通信技术基础设施能为城市

表7 韧性维度异质性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)
	<i>RS</i>	<i>AD</i>	<i>RC</i>
<i>USG</i>	0.001 (0.002)	0.054*** (0.008)	0.099*** (0.012)
控制变量	是	是	是
常数项	0.241** (0.120)	0.277 (0.227)	1.555*** (0.373)
城市固定	是	是	是
年份固定	是	是	是
N	2 664	2 664	2 664
R ²	0.066	0.037	0.061

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为稳健标准误。

表8 城市类型异质性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	科技创新城市			非科技创新城市		
	<i>RS</i>	<i>AD</i>	<i>RC</i>	<i>RS</i>	<i>AD</i>	<i>RC</i>
<i>USG</i>	-0.006 (0.003)	0.056*** (0.014)	0.109*** (0.020)	0.096*** (0.032)	-0.044 (0.041)	0.081*** (0.031)
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	-0.399** (0.180)	-0.678 (0.594)	3.180*** (1.201)	5.239*** (1.417)	-5.339*** (1.418)	-1.670 (1.146)
城市固定	是	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是	是
N	1 260	1 260	1 260	1 404	1 404	1 404
R ²	0.036	0.050	0.068	0.109	0.015	0.051

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为稳健标准误。

智慧治理模式的推广提供基础保障,雄厚的财政实力能强化城市智慧治理的资金保障能力。

(二) 空间效应递减分析

从空间溢出效应的视角出发,一个城市智慧治理模式的发展同样可能会推动其周边城市内涝灾害韧性的提升,究其缘由在于以下三点:(1)示范效应。城市智慧治理过程会通过加速信息技术的更新迭代,吸引专业人才与积累城市管理经验,增强城市的内涝灾害处置能力,为周边城市提供可供推广和复制的经验。(2)竞争效应。一

一个城市智慧治理的提质增效,必然对周边城市起到示范作用,进而“倒逼”周边城市加入竞争行业,对周边城市的内涝灾害韧性提升产生间接推动作用。(3)灾害扩散性。邻近城市间往往在贸易、投资及产业转移等方面存在高度关联性,一个城市发生内涝灾害,还可能造成水体污染、资源短缺等,对周边城市甚至整个地区的生态系统造成间接影响。为检验城市智慧治理模式是否对周边城市的内涝灾害韧性产生空间溢出效应,本文构建了以下检验模型:

$$UWDR_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 USG_{it} + \sum_{d=50}^{d=500} \sum_{s=1}^{s=97} \varphi_{ds} V_{it}^{ds} + \sum KControls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中: V_{it}^{ds} 表示空间距离虚拟变量; d 表示城市间地理距离,最小值设定为50km; s 表示本文所确定的97个国家智慧城市试点城市;若*i*城市*t*年在($d - 50, d$]地理距离范围内存在其他智慧城市试点城市,则将 V_{it}^{ds} 赋值为1,反之赋值为0。本文以50km为最小地理距离单位,分别展示了50km,100km,150km,⋯,500km范围内城市智慧治理模式影响城市内涝灾害韧性的空间溢出效应。

图3的空间效应检验结果显示,在距离智慧模式试点城市50km至200km范围内,城市智慧治理模式影响城市内涝灾害韧性的回归系数均为正,且均通过了显著性检验。随着距离的扩大,此赋能效应呈递减趋势。当距离超过200km后,此赋能效应消失。该结果表明,城市智慧治理模式

强调绿色创新与可持续发展理念,对周边城市产生示范效应,并通过互相竞争促进城市内涝灾害韧性提升。然而,城市间距离越远,其经济社会发展基础、制度与人文环境等方面的差异越大,智慧治理模式的空间溢出效应也会逐渐减弱。

七、结论与建议

本文基于2005—2022年城市面板数据,将97个国家智慧城市试点城市作为实验组,51个非国家智慧城市试点城市作为控制组,采用双重差分模型(DID)探析和检验了城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性的影响效应与内在机制,并进一步分析了其影响效应的异质性及空间溢出效应。研究结果表明:(1)智慧治理模式显著助推城市内涝灾害韧性提升,此结论经过多种方式的稳健性检验后依

表9 城市特征异质性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	人力资本水平		数字基础设施		金融发展水平	
	高	低	高	低	高	低
	UWDR	UWDR	UWDR	UWDR	UWDR	UWDR
USG	0.169*** (0.022)	0.142*** (0.026)	0.202*** (0.042)	0.011 (0.007)	0.279*** (0.037)	0.012 (0.008)
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	0.973 (0.564)	1.161 (1.182)	-1.930 (1.875)	1.425*** (0.391)	1.027 (1.892)	1.060*** (0.247)
城市固定	是	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是	是
N	1278	1386	864	1800	1044	1620
R ²	0.097	0.088	0.084	0.046	0.075	0.038

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为稳健标准误。

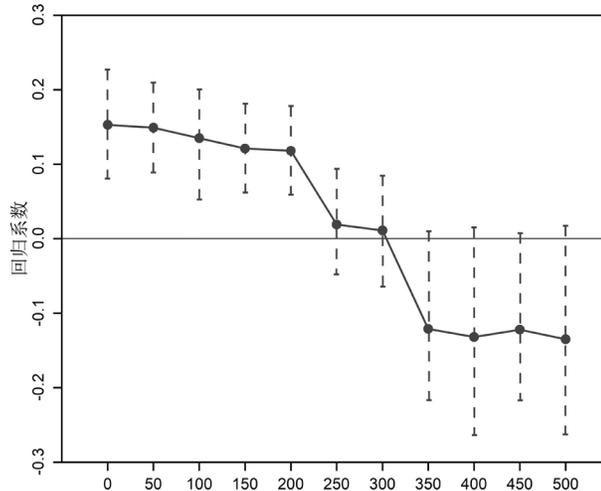


图3 智慧治理模式的空间效应递减趋势

然成立。随着智慧城市建设的不断深入,助推力度逐渐增强。(2)机制分析表明,信息技术人才、科技支持力度与数字产业繁荣在城市智慧治理模式推动城市内涝灾害韧性提升过程中发挥了显著中介作用。(3)异质性分析表明,城市智慧治理模式的助推作用在不同的韧性维度、城市类型与城市发展特征背景下存在显著异质性。此外,随着城市间距离的扩大,城市智慧治理模式对周边城市内涝灾害韧性的赋能效应呈现递减趋势。

结合上述研究结论以及城市智慧治理模式的现状,本文提出以下建议:(1)着力建设智慧城市,发挥智慧治理模式的赋能效应。上文研究结论证实,随着城市智慧治理模式的不断推进,其对城市系统内涝灾害应对能力的赋能作用也随之增强。因此,未来应继续推进智慧城市建设,推动城市公共基础设施改造与完善,打造公众参与的智慧服务平台,实现城市治理“硬件+软件”的智慧化升级。同时,通过推行人才培养政策、鼓励绿色技术创新与引导城市产业的优化升级,有效提升城市治理绩效,实现城市经济社会高质量发展,增强城市内涝灾害韧性。(2)探索多元主体高效协同治理机制,形成城市内涝灾害治理合力。城市内涝灾害韧性的提升关系着城市系统的经济、社会、基础设施等多个方面,必然要求城市系统内多部门、多主体的高效协同。因此,需要实现跨部门联动,制定内涝灾害综合预防与救灾方案,健全和完善城市排水系统与防洪基础设施,加强城市绿地和湿地的保护,提高城市抗洪排涝能力。此外,仍需激发居民、企业与社会组织等多元主体的参与积极性,提升社会的内涝灾害防范意识,降低城市内涝灾害对城市系统的损害程度。(3)秉承因地制宜与因时制宜原则,推行城市内涝灾害韧性的差异化提升策略。如上文所述,智慧治理模式的助推作用在不同的韧性维度、城市类型与城市发展特征背景下存在显著异质性。因此,提升城市内涝灾害韧性的具体方案,需要综合分析各城市的“长处”与“短板”,根据城市的内涝灾害韧性现状和城市发展定位制定针对性的对策。此外,还需不断增加人力资本投资,完善数字基础设施,提升金融发展水平,推动城市智慧治理模式对城市内涝灾害韧性的赋能作用得到充分体现。

参考文献:

- [1] 焦晓云. 城镇化进程中“城市病”问题研究:涵义、类型及治理机制[J]. 经济问题,2015(7):7-12.
- [2] 马震. 智慧城市建设对经济高质量发展的影响研究——基于城市韧性视角的分析[J]. 华东经济管理,2024,38(3):47-57.
- [3] 许钊,高煜,霍治方. 智慧城市建设与数字普惠金融发展:作用机制与经验证据[J]. 财经论丛,2023(3):47-56.
- [4] 朱奕帆,丁慧. 智慧城市建设对绿色经济发展的影响研究——基于长三角城市群面板数据的实证分析[J]. 生态经济,2023,39(7):93-98+164.
- [5] LIU S, JIANG G X, CHANG L, et al. Can the smart city pilot policy promote high-quality economic development? A quasi-natural experiment based on 239 cities in China[J]. Sustainability,2022,14(23):16005.
- [6] 兰雨潇,杨巨声,闫茹. 智慧城市与区县经济不平等——来自卫星反演的经验证据[J]. 科学学研究,2024,42(5):952-963.
- [7] 陈赤平,卞安雯. 智慧城市建设能否提升居民幸福感——基于中国健康与养老追踪调查数据的实证分析[J]. 湖南师范大学社会科学学报,2023,52(4):86-95.
- [8] 储震,程名望. 智慧城市建设和环境污染改善——微观证据与影响机制[J]. 经济科学,2023(6):66-85.
- [9] 边志强. 智慧城市建设对减污降碳协同治理的影响研究[J]. 工业技术经济,2024,43(1):102-111.
- [10] 楚尔鸣,孙红果,李逸飞. 智慧城市建设对生态环境韧性的影响研究[J]. 管理学报,2023,36(6):21-37.
- [11] TANG Y N, QI Y, BAI T T, et al. Smart city construction and green technology innovation: evidence at China's city level[J]. Environmental science and pollution research,2023,30(43):97233-97252.
- [12] 武力超,李惟简,陈丽玲,等. 智慧城市建设对绿色技术创新的影响——基于地级市面板数据的实证研究[J]. 技术经济,2022,41(4):1-16.
- [13] 刘伟丽,陈腾鹏. 智慧城市建设对企业绿色技术创新的影响研究——基于数字化转型的调节效应分析[J]. 经济纵

- 横,2023(7):68-78.
- [14]焦柳丹,唐莲,霍小森,等.基于投影寻踪的城市内涝灾害韧性评估研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2023,42(11):72-79.
- [15]李雯,姜仁贵,解建仓,等.基于PSR与贝叶斯网络的城市内涝灾害情景分析[J].给水排水,2022,58(4):125-131.
- [16]王思敏,姜仁贵,解建仓,等.基于改进物元可拓模型的城市内涝灾害风险评估[J].给水排水,2023,59(2):145-152.
- [17]YANG H Y, LUO Q D, SUN X B, et al. Comprehensive evaluation of urban waterlogging prevention resilience based on the fuzzy VIKOR method: a case study of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. Environmental science and pollution research, 2023,30(52):112773-112787.
- [18]ZHU S Y, LI D Z, FENG H B. Is smart city resilient? Evidence from China[J]. Sustainable cities and society, 2019, 50:101636.
- [19]ZHOU Q, ZHU M K, QIAO Y R, et al. Achieving resilience through smart cities? Evidence from China[J]. Habitat international,2021,111:102348.
- [20]武永超.智慧城市建设能够提升城市韧性吗?——一项准自然实验[J].公共行政评论,2021,14(4):25-44+196.
- [21]SAMARAKKODY A, AMARATUNGA D, HAIGH R. Technological innovations for enhancing disaster resilience in smart cities: a comprehensive urban scholar's analysis[J]. Sustainability,2023,15(15):12036.
- [22]郭若鸿.新型智慧城市建设演进与城市规划体系变革互动研究[J].广西社会科学,2021(7):144-150.
- [23]刘家宏,梅超,刘宏伟,等.特大城市外洪内涝灾害链联防联控关键科学技术问题[J].水科学进展,2023,34(2):172-181.
- [24]尹海龙,张惠瑾,徐祖信.城市排水系统智慧决策技术研究综述[J].同济大学学报(自然科学版),2021,49(10):1426-1434.
- [25]甄峰,孔宇.“人—技术—空间”一体的智慧城市规划框架[J].城市规划学刊,2021(6):45-52.
- [26]石大千,丁海,卫平,等.智慧城市建设能否降低环境污染[J].中国工业经济,2018(6):117-135.
- [27]郑景丽,王喜虹,李忆.智慧城市建设能否提升人才资本水平?[J].系统科学与数学,2022,42(5):1261-1281.
- [28]ZHU H Y, QIN M M. How digital transformation affects urban resilience: empirical evidence from the Yangtze River Delta region[J]. Sustainability,2023,15(7):6221.
- [29]范德成,方璘,宋志龙.智慧城市建设的产业结构升级效应及作用机制研究[J].科技进步与对策,2021,38(17):61-68.
- [30]YU S Y, YUAN M N, WANG Q, et al. Dealing with urban floods within a resilience framework regarding disaster stages [J]. Habitat international,2023,136:102783.
- [31]盛广耀,廖要明,扈海波.气候变化下雄安新区洪涝灾害的风险评估及适应措施[J].中国人口·资源与环境,2020,30(6):40-52.
- [32]孙佳,姜启军.基于粮食和民生物资保障的城市安全韧性研究[J].粮食与油脂,2021,34(12):158-162.
- [33]吕承超,索琪,杨欢.“南北”还是“东西”地区经济差距大?——中国地区经济差距及其影响因素的比较研究[J].数量经济技术经济研究,2021,38(9):80-97.
- [34]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].管理科学,2023,36(5):38-59.
- [35]吕越,陆毅,吴嵩博,等.“一带一路”倡议的对外投资促进效应——基于2005—2016年中国企业绿地投资的双重差分检验[J].经济研究,2019,54(9):187-202.
- [36]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.
- [37]袁歌骋,潘敏,覃凤琴.数字产业集聚与制造业企业技术创新[J].中南财经政法大学学报,2023(1):146-160.
- [38]辛冲冲,陈志勇.财政分权、政府竞争与地方政府科技支出——基于中国省级面板数据的再检验[J].山西财经大学学报,2018,40(6):1-14.

(责任编辑:孔群喜;英文校对:谈书墨)

(下转第77页)

- [29] 翟文昊, 晋娴, 马铃. 新冠疫情缩小了农民工的就业半径吗[J]. 农业技术经济, 2024(2): 36-55.
- [30] CHAGAS A L S, AZZONI C R, ALMEIDA A N. A spatial difference-in-differences analysis of the impact of sugarcane production on respiratory diseases[J]. *Regional science and urban economics*, 2016, 59: 24-36.
- [31] 胡宗义, 周积琨, 李毅. 自贸区设立改善了大气环境状况吗? [J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(2): 37-50.

(责任编辑: 陈 春; 英文校对: 谈书墨)

Network Infrastructure, Spatiotemporal Dynamic Effects, and Urban Carbon Emission Efficiency

ZHANG Yue, CAI Zhuli

(School of Economics and Management, Huaibei Normal University, Huaibei 235000, China)

Abstract: As a key engine of China's high-quality economic development, network infrastructure also significantly influences urban carbon emission efficiency. This study employs the Broadband China strategy as a proxy variable for network infrastructure in analyzing urban carbon emission efficiency improvement using panel data from 2007 to 2020. The analysis reveals several important findings. First, network infrastructure substantially enhances urban carbon emission efficiency by promoting green technological innovation and facilitating industrial restructuring. Second, this enhancing effect gradually increases over time. There is also a positive spatial spillover effect on the neighboring Broadband China demonstration cities that tends to stabilize. In comparison, the negative spatial spillover effect on the neighboring non-demonstration cities gradually weakens. Third, the effect of network infrastructure on urban carbon emission efficiency is more pronounced in cities with a high level of tech innovation, non-northeast China cities, and cities with a low level of environmental pollution. To further improve the carbon emission efficiency of Chinese cities, this study suggests leveraging policies, fostering functional mechanisms, promoting collaborative governance, and exploring optimization paths.

Key words: network infrastructure; Broadband China Strategy; urban carbon emission efficiency; spatiotemporal dynamic effects; quasi-natural experiment

(上接第 33 页)

Can an Urban Smart Governance Model Promote Urban Waterlogging Disaster Resilience?

A Quasi-natural Experiment Based on the National Smart City Pilot Policy

YANG Kai, LIU Dingrong, SUN Shi

(School of Public Administration, Guangdong University of Finance and Economics, Guangzhou 510320, China)

Abstract: The construction of smart cities has provided new ideas and paths for urban systems to cope with waterlogging disasters. Based on the panel data of 148 cities in China from 2005 to 2022, this study uses the national smart city pilot policy as a quasi-natural experiment to empirically analyze the effect of the urban smart governance model on the urban waterlogging disaster resilience and the internal mechanism. A difference-in-differences (DID) model is employed, and the results show that the urban smart governance model significantly improves urban waterlogging disaster resilience, and this effect increases as the construction of a smart city progresses. However, this effect shows substantial heterogeneity based on resilience dimension, city type, and city development characteristics. The proficiency of information technology workers, the strength of scientific and technological support, and the prosperity of the digital industry play a significant intermediary role. The positive effect of the urban smart governance model on urban waterlogging disaster resilience in neighboring cities diminishes as geographic distance increases, and the positive effect disappears when this distance exceeds 200km.

Key words: urban smart governance model; urban waterlogging disaster resilience; smart city construction; difference-in-differences model