

城市灾后科技发展抗风险能力研究

——以地震为例

宋晓萌^{1,2}, 黄加顺^{3,4,5}

(1. 中国科学技术大学 公共事务学院, 合肥 230026; 2. 纽约州立大学 石溪分校, 美国 纽约 11794;
3. 澳门城市大学 商学院, 澳门 999078; 4. 剑桥大学 环境、能源与自然资源治理中心,
英国 剑桥 CB21TN; 5. 哈佛大学 劳动与经济中心, 美国 剑桥 02138)

摘要:选取中国地级市作为研究对象,选择地震灾害作为切入点,构建准自然实验模型,在宏观的时间尺度上对城市灾后重建与科技发展的抗风险能力之间的关系进行量化研究。在理论分析基础上构建城市级别的科技发展抗风险能力变量,采用双重差分模型对其影响关系进行测度。研究发现,地震的发生会显著提升灾后地区的科技抗风险能力,影响机制来源于灾后城市网络基础设施、交通基础设施、数据基础设施的完善和重建,影响结果在产业结构、科技投入、教育资源3个维度存在异质性。

关键词:科技发展;自然灾害;地震

DOI:10.13956/j.ss.1001-8409.2025.07.05

中图分类号:F124.3;P315.9

文献标识码:A

文章编号:1001-8409(2025)07-0030-12

Post-disaster Influence on Anti-risk Capability of Science and Technology Development: Evidence from Earthquakes

SONG Xiao-meng^{1,2}, HUANG Jia-shun^{3,4,5}

(1. School of Public Affairs, University of Science and Technology, Hefei 230026; 2. Stony Brook University, New York, USA 11794; 3. Faculty of Business, City University of Macau, Macau 999078; 4. Centre for Environment, Energy and Natural Resource Governance, University of Cambridge, Cambridge, UK CB21TN;
5. Center for Labor and Economic Research, Harvard University, Cambridge, MA, USA 02138)

Abstract: Taking Chinese prefecture-level cities as the study subject and earthquake disasters as the focus perspective, this paper constructs a quasi-natural experiment model to quantitatively investigate the influence earthquake on local technology anti-risk capability on a macro time scale. Specifically, this paper constructs a city-level variable of anti-risk capability of science and technology development based on theoretical analysis, and approaches a difference-in-differences model to measure the relationship between earthquake and technology resilience. Results show that the occurrence of earthquakes significantly increases the anti-risk capability of science and technology post-disaster, and the mechanisms are the improvement and rebuilding of the network infrastructure, traffic infrastructure, and data infrastructure. Heterogeneity analysis shows that such effects differ in aspects such as industry structure, technology investment, and education resource.

Key words: technology development; natural disasters; earthquakes

引言

党的二十大报告指出,我国正处于战略机遇和风险挑战共存的发展时期,城市发展面临的不确定性和预测难度不断增加。科技发展影响民族未来,创新水平决定国家命运。当今中国的发展步入新时期,科技发展体系的抗风险能力与水平直接影响着我国经济产业发展的质量与速度;针对科技安全制定的发展战略是国家科技发展体系的重要组成部分,是提升我国科技创新能力的重要途径。2022年6月,习近平总书记在考察湖北省武汉市时强调,实现科技自立自强是国家强盛和安全的基

石,提升我国的发展独立性、自主性和安全性必须放在实施我国创新驱动发展战略的核心地位。2022年12月的中央经济工作会议也强调科技政策应着眼于自立自强,这就需要在促进新技术和新产业的涌现过程中,深入探索和研究影响我国科技发展体系的多重因素、综合提升科技体系应对不同风险的能力,从而提升我国科技发展综合实力,形成科技创新能力层面的国际竞争新优势。

自然灾害的发生似乎是随机的,但其造成的破坏以及各社会群体和个人的应对及恢复能力却是非随机的。科技发展对于环境的依赖性、资源的不均等分配性、地

收稿日期:2024-11-04

作者简介:宋晓萌(1999—),女,安徽合肥人,博士研究生,研究方向为科技政策与环境管理;黄加顺(1989—),男,广东汕头人,博士、教授、博士生导师,研究方向为科技政策与科技管理(通讯作者)。

理位置的差异性加剧了科技发展在面对重大自然灾害发生时的脆弱性,进而影响科技发展面对灾难的敏感度、抵抗力和恢复力。因此,持续识别并生成应对的解决措施是提升地方科技发展能力与水平的关键任务之一。

厘清重大自然灾害对于科技发展的影响因素及其作用机制,是科学制定科技发展措施的基础,对此,许多学者从经济地理学、社会学、城市规划学等多学科角度展开讨论,取得了丰富的成果。既有研究在自然灾害影响因素研究方面主要集中在社会影响^[1]、经济恢复^[2]、政府能力^[3]等,但是对于城市灾后对科技发展能力的影响情况、恢复情况及其影响机制暂未进行充分研究。

鉴于此,本文以大于5级以上地震发生的事件作为切入点,构建准自然实验模型,基于我国地区283个城市的面板数据开展实证研究,探讨城市灾后对于科技发展抗风险能力的影响。本文将灾后的城市基础设施作为切入视角对回归结果进行影响机制分析,并检验、比较地震发生之后城市灾后过程对科技发展能力影响在不同产业结构、科技投入、教育资源之间的异质性特征,以期为促进灾后科技发展的抗风险能力提升和发展的政策规划实践提供参考和借鉴。

本文可能的研究贡献在于:在理论层面,将突发性自然灾害对城市发展的影响研究延伸到科技发展和科技抗风险能力层面,从科技风险管理视角出发,研究了外部灾后环境的变化对其抗风险能力的影响程度和影响机制的变化,为深入研究自然灾害和科技风险问题提供了新的研究视角;在实证层面,构建准自然实验,应用双重模型进行实证回归,同时构建科技发展抗风险能力这一研究变量,以地震这一自然灾害作为切入点,在一定程度上丰富和创新了城市灾后科技发展影响研究实证领域的研究。研究结果将有助于科学完善我国地方城市应对重大自然灾害的灾后科技发展和恢复政策的构建,为我国自然灾害风险领域中科技发展抗风险能力的提升提供有益政策建议和现实指导。

1 核心概念界定与文献回顾

1.1 科技发展抗风险能力

危害是对人们的威胁,而风险则是对危害的度量^[4]。对科技风险的学术研究最早可以追溯到Starr等学者在1969年关于社会效益和科技风险的研究^[5],该研究从解决社会问题的角度出发,研究科技发展在抵抗风险时需要投入和使用的社会资源成本。抗风险能力一词最早可以追溯到物理学领域中的“韧性”概念。这一概念有时被翻译为弹性、抗逆境能力、恢复力或复原力等,主要用于描述物质或系统在经历变化后返回到平衡状态的能力。韧性作为一个学术概念,已经在生态学、心理学、社会学、管理学等多个学科中得到广泛应用,以更有效地阐释和理解日益复杂和动态的社会经济现象^[6]。目前,韧性在经济地理研究领域发展出了四种研究维度,包括冲击的抵御和吸收、恢复的程度和速度、外部环境适应性和新发展路径的创造^[7]。与此同时,还

产生了两种主流研究视角,即均衡论和演进论^[8]。其中,均衡论主要关注发生危机后的恢复力表现如何,研究内容多是针对抗风险能力的测度,并将其作为因变量考察外部冲击的影响^[9];而演进论、创新地理则批判了均衡论,认为抵抗风险的能力是区域的固有属性、具有路径依赖,其调整和转型非常困难^[10]。

在科技管理的视角下,科技发展抗风险能力被定义为区域科技发展体系的针对外界风险表现出的适应性和恢复性能力,包括该体系经受风险之后波动、变化的全过程^[11]。作为一个综合性概念,科技发展抗风险能力主要有以下两个方面的含义:一是平衡能力,指的是科技系统抵抗风险和从外部冲击中恢复原有水平的平衡力;二是演进能力,这不仅涉及到单一科技系统内部的调整 and 适应,而且更重视在更广泛的层面上,不同科技系统如何通过区域间的产业互动和结构重组来加强它们之间的相互依存关系。科技发展的抗风险能力也被视为科技社会体系(Sociotechnical System)的构造方式,其决定着科技社会体系受到灾难冲击后的危机性质和恢复时长。

近年来,国内外学者关于科技发展抗风险能力的研究根植于技术发展、危险识别、风险感知和社会活动等领域,并且针对这些领域的研究有了进一步的细分,具体表现在:(1)科技发展风险框架和系统研究:Hellström^[12]关注基础设施如何嵌入技术和社会轨迹,例如对农业粮食生产及分布式生产及制造系统等,在此基础上提出了一个“责任科技创新”的总体框架,这个框架为系统性的科技创新进行技术评估和管理提供了学术支撑;Alhawari等^[13]提出一个子概念框架,采用知识管理过程来提高其有效性并增加科技创新技术项目成功的可能性。(2)科技发展风险来源的研究:Bahli和Rivard^[14]在交易成本理论的基础上研究了技术发展外包的风险因素,并使用最小二乘法回归进一步评估了风险来源的可靠性和有效性。Wang等^[15]提出了一个新的科技风险管理框架,将科技风险管理与企业战略和绩效衡量系统相结合,用于识别、评估、响应和控制相关的科技系统发展风险因素。(3)对科技发展风险的估计和量化研究:Rainer Jr等^[16]针对科技信息系统在金融风险中的应用提出了一种定性和定量方法相结合的风险分析过程。Christensen等^[17]开发了一套新的科技发展风险识别模型,可以将环境评估与风险管理、风险缓解和持续改进方法(如设计、项目或生产过程)联系起来。在我国,黄锦成等^[18]结合风险矩阵图分析法、风险影响度评价、风险警戒点、趋势预测的风险研究方法,构建了一套科技计划项目风险监控指标体系,该体系能够从项目风险识别、未来预测、风险控制等方面提供针对性的分析评价。上述研究在科技风险管控与科技发展抗风险能力领域中进行了广泛、系统的研究,研究为科技风险系统的识别、影响因素的检验和模型的评估提供了相关学术支撑依据,但是仍存在研究视角集中在企业科技创新能力方面、没有聚焦到宏观的地方科技发展体系上等问题。

1.2 城市震后影响研究

宏观层面上,国内外学者对于地震后的灾后影响研究集中于社会反应和政府重建能力的研究视角。Liu等^[19]在地震灾民评估的基础上,提出了一个由民生、城市住宅、基础设施、公共服务、生态环境和精神家园六大类指标构成的评估体系;李晓翔和刘春林^[20]聚焦于地震灾害探讨了社会脆弱性、灾害风险、抗灾能力及恢复力之间的相互关系。沙勇忠,阎劲松和王峥嵘^[1]利用情感分析法,对雅安地震后中国红十字会信任危机这一案例的微博平台媒体数据进行了实证研究,指出突发事件会迅速影响网民情绪和公众信任。微观层面上,对于地震灾后影响研究主要聚焦于冲击产生后某一个具体方面(如经济、旅游等)的恢复与发展。Xu和Itoh^[21]通过利用1995年日本西部阪神地震作为东北亚集装箱运输的外生冲击,研究表明运输部门的密度经济可以影响运输效力的作用。宋妍,李振冉和张明^[2]运用了合成控制法对四川地震后181个县级地区的经济数据进行了分析,研究汶川地震对这些地区经济的长期间接效果。阮文奇等^[22]聚焦于“8·8九寨沟地震”,使用信息扩散半径、空间自相关等方法探讨景区自然灾害型危机信息流的扩散规律。

上述关于城市的震后影响研究主要为聚焦到个体层面的定性分析、案例分析,而从整体层面对灾后科技发展进行系统分析和定量实证研究的文献相对不多。与此同时,国内外现有研究对于科技发展抗风险能力的评价体系多是基于区域内在科技发展影响因素的综合,针对地震这类外部自然灾害冲击事件对科技发展能力影响的评估与研究证据相对较少。

本文计划构建中国地级市层面面板数据,以地震这一自然灾害作为切入点,探讨自然灾害发生后对于科技发展抗风险能力的影响,并从实证研究的角度为震后影响以及科技抗风险能力层面的研究提供启示。

1.3 研究假设

地震冲击一直被视作破坏地方科技发展的因素,地震导致大量的建筑设施和科研设备损坏,直接破坏当地的科技发展基础并威胁到未来的科技发展,这种直接性的破坏是对城市灾后重建过程中针对科技能力恢复、提升的一次重大考验^[23]。地震冲击使得城市震后发展活动对于科技发展的影响是多方面的,对科技发展抗风险的评估表现也在多个维度中表现。

Jigyasu^[24]在研究中指出,城市建筑和科技发展基础往往体现了在不断地尝试和错误中积累起来的经验。因此,在经受强烈外部自然灾害冲击后进行重建的过程中,城市的科技发展基础设施会针对风险进行更新迭代,这些冲击带来的影响因素将被整合到建议的解决方案中,形成更有利于科技抗风险的发展环境。受自然灾害冲击的城市可能通过增加投入、加大保护以降低科技安全在可能遇到的下一次灾害中受到破坏^[25];同时,剧烈的外部自然灾害也会促进原有的科研设备进行更新迭代^[26],进而使得科技发展抵御外部冲击的能力提升,

从而对当地科技发展体系和科技抗风险能力产生积极的影响。基于此,本文提出以下假设:

H1:地震灾后发展过程对地区的科技发展抗风险能力产生积极影响,促进科技抗风险能力的提升。

城市灾后发展的科技发展离不开基础设施的更新和完善。在此过程中,电信、交通、数据等基础设施的完善可以为灾后城市发展的科技发展抗风险能力的提升提供更好的基础条件。Kong等^[27]提出了一个在区域内制定自然灾害基础设施复原力改善战略的城市基础设施弹性模型,并结合了灾前和灾后复原力改善措施,指出自然灾害冲击后城市基础设施系统之间的相互依存关系。例如,通过在交通基础设施中引入智能交通系统、无人驾驶技术等,可以提高交通运输的安全性和效率^[28]。具体来看,交通基础设施的修复与重建涵盖了对受地震损坏的交通建筑如道路、桥梁和隧道的修复或重建工作,旨在恢复交通系统的连贯性和运作效率。这涉及多项工程,包括填补路面裂缝、加固桥梁结构以及修缮隧道等,确保交通网络的顺畅与安全,更加完善的交通基础设施建设为灾后的科技发展抗风险能力提升提供保障;电信基础设施的完善和重建指修复或重建受地震破坏的通信设施,包括电话线路、移动通信基站、互联网网络等。灾后电信基础设施的完善还可以提供更好的数据传输能力和信息共享平台,为震后的科技发展提供更便捷、高效的信息交流平台,从而提升当地科技发展能力;数据基础设施(如国际互联网用户数)是现代科技体系的重要组成部分,其完善与否直接决定了信息流通效率和资源整合能力。灾后重建过程中,数据基础设施的升级为科技发展提供了基础支撑,加速了科技体系对外部冲击的适应能力。具体表现为,当数据基础设施水平较高时,灾后发展活动对科技抗风险能力的促进作用更为显著。基于此,本文提出以下假设:

H2a:交通基础设施的提升在地震城市灾后发展过程中对科技发展抗风险能力的影响中起积极的调节作用;

H2b:电信基础设施的提升在地震城市灾后发展过程中对科技发展抗风险能力的影响中起积极的调节作用;

H2c:数据基础设施的提升在地震城市灾后发展过程中对科技发展抗风险能力的影响中起积极的调节作用。

地震对于科技发展抗风险能力的影响也会受到不同城市特征因素的影响^[29]。在产业结构方面,不同城市的产业结构差异较大,地震对科技发展的影响也会因此而异。谭前进等^[30]的研究表明,一些城市可能依赖于高科技产业、数字经济或创新型产业,这些产业更加依赖于科技支持和信息传递,因此这些城市的灾后重建过程对科技发展抗风险能力的影响可能更为显著;城市的教育资源水平也会对科技发展的影响产生异质性。教育资源包括当地的高等教育机构建设、研究机构基础和科研战略资源储备等。Lee^[31]的研究显示,发展中国家和发达国家人力资本中等和高等教育水平的不同,对决定当地科学技术的发展起着关键作用。高水平的教育

资源更能够培养出科技人才和创新人才,推动科技发展和应对地震等灾害的能力。在科技投入方面,科技投入包括研发经费、科技创新机构和科技产业的发展情况等。王少和孔燕^[32]以典型发达国家科技研发投入与诺贝尔科学奖获奖作为切入点,研究科技投入与科技发展之间的关系。研究结果发现,更高的科技投入对当地的科技发展具有显著的积极促进关系。相比于科技投入不高的城市,科技资金投入更高的城市在灾后重建过程中拥有更丰富的科技资源和条件更好的科技发展环境。基于此,本文提出以下假设:

H3a:产业结构越好的城市,城市震后发展对科技抗风险能力的提升越明显;

H3b:教育资源越好的城市,城市震后发展对科技抗风险能力的提升越明显;

H3c:科技投入越高的城市,城市震后发展对科技抗风险能力的提升越明显。

2 研究方法

2.1 模型构建

城市灾后对科技发展抗风险能力的影响是一个重要而复杂的研究主题。本文选择地震冲击作为具体的研究场景,选择经历过大于或等于5级以上地震冲击的城市作为实验组,构建多时点双重差分模型来研究突发性重大地震灾害发生后,城市的灾后发展对于科技体系抗风险能力(Tech_anti_risk)的影响。本文构建的双重差分计量模型如式(1)所示:

$$Tech_anti_risk_{i,t} = \alpha + \mu_i + \lambda_t + \theta(Treat_i \times Period_t) + \beta x_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (1)$$

式(1)中,i表示个体,t表示年份。Treat代表实验组别虚拟变量,表示实验组和对照组的差异;Period代表实验期观测年份虚拟变量,表示城市在经受和未经受地震冲击的年份差异。二者组成的交乘项表示地震冲击对实验组的处理效应。这两个虚拟变量的交乘项系数 θ 是本文中重点关注的系数,该系数的正反表示地震对科技发展抗风险能力影响的方向,系数的大小则表示具体的影响程度。 μ 代表城市层面的地区固定效应; λ 代表时间层面的年份固定效应; α 表示常数项; x 表示控制变量; ϵ 表示误差项。

2.2 样本选择

基于数据的可获得性,本文仅选取全国的283个地级市作为研究对象,涉及的样本包括17个少数民族自治地区、3个盟。

城市受地震影响的强度和等级与地震的震级大小息息相关,依据中国地震局设定的地震等级划分标准,地震的震级每相差一个单位,意味着地震释放的能量约相差30倍。基于不同强度等级地震会造成不同的震级范围和破坏程度,中国地震局将地震的震级细分为5个等级。本文选取有感且会对城市造成显著破坏的地震

作为研究对象,以5级以上地震的发生作为外生事件,构建准自然实验模型,选择地震震级在5级以上的地震发生地级市(共31组)作为实验组,未发生地震或者发生地震震级数小于5级的地级市(共252组)相应成为对照组。

3 数据选取与说明

3.1 被解释变量

科技发展的抗风险能力的概念内涵可以追溯到物理学中与冲击(或抗冲击强度)相关的概念。这种概念是指物体在冲击载荷作用下吸收变形功和断裂功的能力,反映物体内部的缺陷和对外来冲击负荷的抵抗能力。科技发展抗风险能力即反映的是科技发展系统内部对外部冲击的稳定能力。

表1 地震的震级划分和名称^①

名称	震级范围	破坏程度
超微震	小于1级	人们感觉不到,只有用仪器才能测出,称为无感地震
微震	1~3级	只有用仪器才能测出
小震	3~5级	人们可以感觉,故称为有感地震,但一般不会造成破坏
中震	5~7级	该级别地震可造成不同程度的破坏
大地震	大于7级	该级别地震可造成十分严重的破坏

回顾国内外学者的研究,在关于抗风险能力的实证研究中,大多数文献对于抗风险能力指标的构建方法主要有两种:一是采用构建综合的指标体系进行测度^[33];二是采用一个对冲击反应程度的核心变量进行测度^[34,35]。由于抗风险能力的指标测度相对复杂,国内外对于科技发展抗风险能力的指标评价体系构建尚不完全,学术界内尚未确定一套具备完备的、科学的、具有公信力的科技发展抗风险能力评价指标体系。近年来相关文献多选择第二种方法测度科技发展抗风险能力指标,比如Martin等^[7]使用英国各地区9个不同产业部门就业人口构成作为核心指标,研究该核心变量受到冲击后的变化在作为研究区域经济应对衰退冲击影响时的重要作用,对抗风险能力概念在应对外界冲击时的研究作了实证层面的延伸和实际层面的检验;Bergeijk等^[36]以全球不同国家的贸易量作为核心指标,研究国家间经济发展的抗风险能力在受到金融危机冲击影响之后的变化,使用核心指标的变化及波动情况来衡量某一方面在受到外界冲击时抗风险能力的变化再次得到了检验。

综上,本文选择第二种研究方法对被解释变量科技发展抗风险能力进行变量构建,通过设置一个与科技发展抗风险能力相关的核心变量作为参考的基准状态,通过计算地震冲击后核心变量与该变量在观测年份内平均值的缺口,得出该变量的波动变化情况来对科技发展抗风险能力进行测度。借鉴孙久文等^[37]、方磊等^[38]、Faggian等^[39]的方法,选择科研技术服务从业人员数(万人)这一地方科技发展能力的关键指标,构建被解释变

①划分依据来源:国家地震局 <https://www.cea.gov.cn/cea/dzpd/dzcs/5537275/index.html>。

量 Tech_anti_risk 为这一指标的离散程度来显示该指标在经受地震冲击后的波动情况,表现地区科技发展的抗风险能力,其具体衡量为:在经受到地震冲击之后,如果 Tech_anti_risk 的系数为负,则表明地震冲击减小了该变量的波动程度,经受冲击后科技发展抗风险能力关键指标的波动程度减小,经过冲击之后的科技发展趋于稳定,即科技发展抗风险能力提升;反之,如果该变量的回归系数为正,则表明地震之后该变量的波动程度加剧,城市的灾后过程使得科技发展趋于不稳定,即科技发展抗风险能力降低。

3.2 解释变量

(1)实验组和控制组虚拟变量。本文构建了一个虚拟变量 Treat 来代表实验组和对照组,按照样本选择中国地震局对于地震等级的划分,将在观测年份内经受了大于或等于5级地震冲击的城市划分为实验组,其虚拟变量编码为1;未经受地震或者经受了5级以下不足以对人类造成明显摧毁的地震划分为对照组,其虚拟

变量编码为0。

(2)处理时间虚拟变量。考虑到不同城市遭受地震冲击的时间上存在差异,本文构建了一个虚拟变量 Period 来代表实验组经受地震冲击的年份差异,在观测年份内处于地震发生前的年份编码为0,地震发生后的年份编码为1。二者的交乘项 Treat × Period 构成本文的解释变量 Post_earthquakes,即地震发生后城市灾后活动带来的处理效应。

3.3 控制变量

本文选择地区生产总值(GRP),第三产业增加值在当地 GRP(地区生产总值)中的比重(Tertiary)^[40],当年实际使用的外资额(Trade)^[41],地方普通高等学校数量(University),当地政府年末科技财政支出(Investment)作为回归的控制变量,数据收集于《中国统计年鉴》。本文对于数据指标除了普通高等学校数量之外均进行了取对数的标准化处理,所用的变量描述性统计结果见表2。

表2 变量描述性统计

指标属性	指标选取	变量指代	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
被解释变量	科技发展抗风险能力	Tech_anti_risk	3450	0	0.934	17.726	13.884
解释变量	城市灾后活动	Post_earthquakes	3468	0.079	0.27	0	1
	地区生产总值(万元)	GRP	3411	16.4	0.967	13.538	19.76
控制变量	第三产业增加值占GDP比重(%)	Tertiary	3161	3.639	0.254	2.152	4.425
	当年实际使用外资金额(万元)	Trade	3263	9.989	1.849	1.099	14.941
	普通高等学校数(个)	University	3386	8.625	14.661	1	93
	地方政府科技支出(万元)	Investment	3452	10.115	1.421	6.252	15.529

4 研究结果与稳健性检验

4.1 基准回归结果

本文采用双重差分模型对基准回归进行分析,结果展示在表3中。在最初的回归方程(1)中,仅对自变量和因变量进行了回归分析,没有引入任何控制变量。随后的回归方程(2)至方程(6)则逐步引入了控制变量进行冲击回归分析,以此来进一步验证回归结果的稳定性。

所有回归分析都控制了年份固定效应和地区固定效应。代表地震冲击的自变量系数在所有回归中均在1%,且系数的大小变化是稳定的。这些结果表明,在经历地震之后城市的灾后活动对于当地的科技发展抗风险能力有着显著的正向影响,其具体影响范围大约在0.31~0.33个百分点的区间内,增强了地方的科技抗风险能力。

4.2 平行趋势检验

平行趋势假设是应用双重差分方法进行因果效应评估的关键条件。该假设要求在处理发生之前,处理组和对对照组的结果变量应具有相同的变化趋势。

本文选取了地震灾害发生的前6期到发生后的后11期作为观测年份进行平行趋势检验,检验结果如图1。横轴表示处理效应的年份变化,0表示处理效应发生的当年,负数表示处理效应前的年份,其回归结果均不显著;正数表示处理效应后的年份,回归结果在地震发生后的0到4期是显著的,并且呈现下降趋势,与基准

回归结果一致。这表明地震发生之后城市灾后发展过程对科技发展抗风险能力的激励促进作用的影响具有一定的时间效应期限,具体为处理效应后4期,即地震发生后的4年内,城市的灾后发展都会对当地的科技发展抗风险能力具有显著促进作用。

4.3 安慰剂检验

为了排除非处理效应的随机因素对回归结果产生的可能误差,本部分参考曹清峰^[42]的安慰剂检验设置做法,对于地震发生的年份进行随机化处理组和控制组的安慰剂检验。

具体做法为:保持地震发生的观测年份不变,假设在t年有n个城市经历了5级以上地震的冲击,那么就从当年及之前没有经历过地震冲击的对照组城市中随机抽取n个城市生成新的处理组,在此随机生成的实验组和控制组基础上继续利用式(1)中的回归模型进行基准回归,可得到一次安慰剂检验的回归结果。通过这种方式,可以检验地震发生年份的处理效应是否显著不同于随机变化产生的效果,从而验证实证结果的稳健性。如果安慰剂检验表明,在虚假的处理年份中,处理效应统计上不显著或与实际处理效应的方向不一致,则支持了处理的有效性。反之,如果在虚假的处理年份中也观察到类似的效应,则可能表明存在其他潜在的混淆因素,需要进一步分析。

表3 基准回归结果

地震后城市活动对科技发展抗风险能力影响的基准回归						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Post_earthquakes	-0.319*** (-3.28)	-0.362*** (-3.59)	-0.364*** (-3.67)	-0.370*** (-3.87)	-0.338*** (-3.86)	-0.355*** (-3.99)
GRP		0.749*** (3.99)	0.539*** (3.10)	0.519*** (2.67)	0.406** (2.30)	0.848*** (4.17)
Tertiary			-0.668* (-1.76)	-0.808* (-1.77)	-0.853* (-1.86)	-0.736* (-1.84)
Trade				0.026 (1.28)	0.027 (1.29)	0.022 (1.09)
University					0.110** (2.54)	0.099** (2.35)
Invest						-0.010 (0.15)
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	291	290	290	285	283	283
观测值	3450	3408	3159	2990	2952	2933
R ²	0.065	0.078	0.080	0.084	0.125	0.138

注:括号内为稳健标准误,*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1,下同

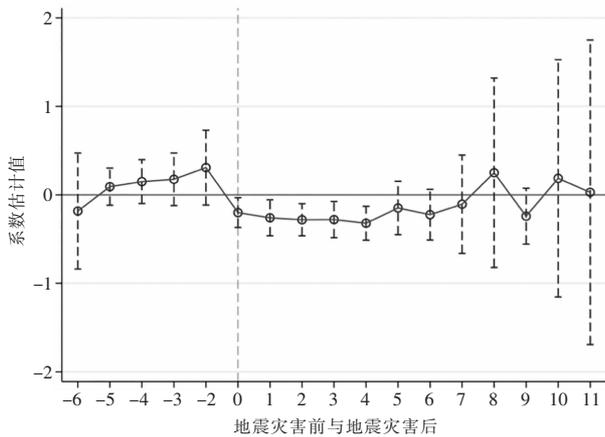


图1 平行趋势检验

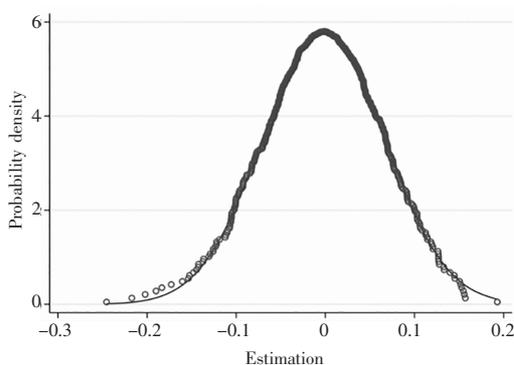


图2 安慰剂检验

将此过程重复500次,并将500次回归的结果系数以散点的形式表现在图2中,其分布态势为以0为中心的正态分布,且回归的系数区间基本保持在(-0.25,2)之间,与真实的地震冲击回归结果系数-3.29有明显差

距,故本文的基准回归结果通过了安慰剂检验,排除了实验组和对照组生成的随机因素对回归结果的影响。

4.4 倾向得分匹配检验

考虑到城市灾后发展过程对科技发展抗风险能力的影响可能内生于所属城市特征,为进一步减少样本内生性对回归结果产生的影响,本文采用倾向得分匹配来缓解这一问题。为了更准确地评估城市灾后对地级市的影响,采用多个维度的变量,并运用最近邻匹配法(Nearest Neighbor Matching, NNM)来匹配受到地震冲击影响的地级市与那些特征相似但未受地震冲击影响的城市。通过这种方法,可以尽量减少由于可观察因素引起的选择偏差。

为了可视化匹配的质量,本文绘制了匹配前后两组样本——处理组(受到5级或5级以上地震冲击的地级市)和控制组(未受地震冲击或受到5级以下地震冲击的地级市)的核密度分布图,如图3所示。从图3中可以明显看出,经过倾向得分匹配后,处理组和控制组的核密度分布曲线非常接近,这表明匹配过程成功地平衡了两组在多个维度上的特征,使得它们在城市灾害发生之前的观测特征上具有相似的分形态。这样的匹配效果为后续的双重差分分析提供了一个坚实的基础,从而有助于提高估计结果的稳健性。

为了确保匹配过程的有效性,本文在使用最近邻匹配法进行样本匹配后进行了平衡性检验。平衡性检验的结果展示在表4中。表4显示了匹配前后数据标准差的减少情况,这表明经过匹配处理后的数据具有更好的集中趋势,即数据分布更加一致。此外,匹配后的标准化偏差(% bias)均小于10%,% bias的绝对值较匹配之前大幅下降,这个指标衡量了处理组与控制组之间在各个匹配变量上的差异程度。一般来说,% bias 小于

10%表明匹配效果良好。同时,所有变量的t检验结果都支持了原假设,即在统计上无法拒绝处理组与控制组在匹配变量上没有系统差异的假设。综合这些指标,本文的倾向得分匹配的平衡性检验通过。

图4和图5显示了倾向得分匹配的均衡性检验结果和匹配前后的共同取值范围情况,图上的标准化偏差和拟合结果均表明匹配后的数据结果明显优于匹配前的分散状态。

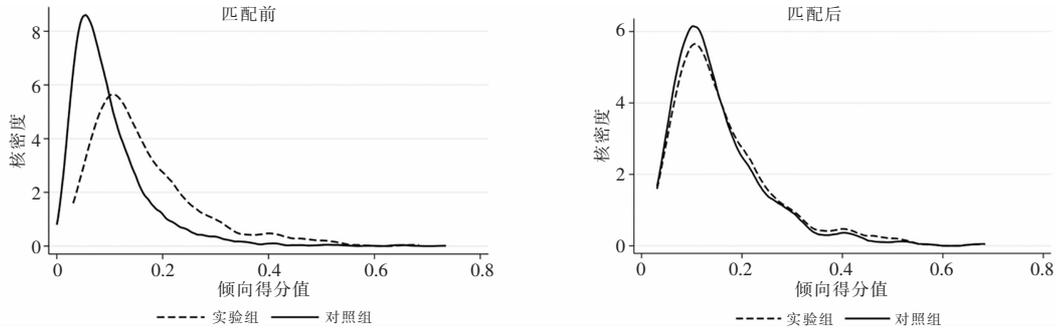


图3 匹配前后的核密度

表4 平衡性检验结果

Variable	Unmatched	Matched	Treated	Control	% bias	% reduct bias	t	p > t
GRP	U		16.141	16.483	-39.6		-6.44	0.000
	M		16.141	16.095	7.3	81.6	0.95	0.988
Tertiary	U		37.628	39.555	-18.9		-3.11	0.002
	M		37.628	37.048	8.7	97.0	0.07	0.946
Trade	U		8.9424	10.136	-63.1		-11.21	0.000
	M		8.9424	9.0227	-5.4	91.4	-0.31	0.760
Education	U		8.0161	8.9687	-6.6		-1.11	0.267
	M		8.0161	8.7299	-2.4	94.1	-0.30	0.761
Investment	U		9.6737	10.233	-43.3		-6.82	0.000
	M		9.6737	9.551	9.5	78.1	0.41	0.680

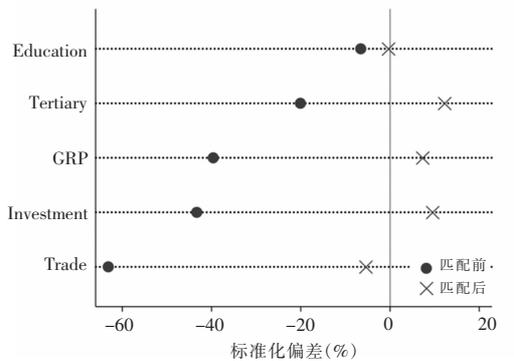


图4 均衡性检验

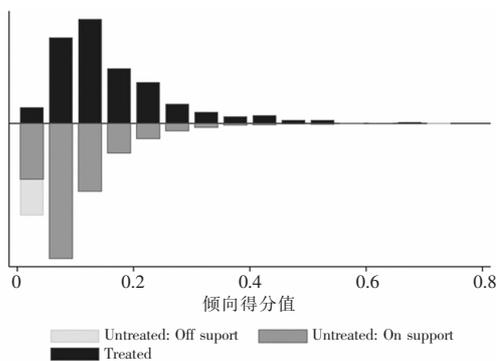


图5 共同取值范围

表5进一步汇报了经过倾向得分匹配之后的双重差分回归结果,回归模型控制了时间和地点双向固定效应,并且考虑了与基准回归相同的控制变量影响。回归结果显示,经倾向得分匹配后的回归结果仍然是显著的,影响方向也与基准回归一致,其回归数值0.328与基准回归的数值范围的0.329也非常接近,倾向得分匹配之后的回归结果进一步验证了地震后城市灾后对于科技发展抗风险能力的影响。

表5 倾向得分匹配回归结果

	PSM - DID
	-0.328 ***
PSM - DID	(-1.67)
控制变量	是
城市固定效应	是
年份固定效应	是
观测值	2766
样本数	280

4.5 地震带城市剔除检验

位于地震带上的城市更高频率或更大可能经受地震灾害,通常具备较为成熟的灾后重建体系和抗震技术,使得这些城市与未处在地震带上的城市在灾后重建过程中可能会出现不同的应对策略。

此外,地震带城市的灾后重建不仅受到震后恢复需求的影响,还可能受到长期积累的抗震技术和灾害应对经验的驱动,进而与科技发展抗风险能力产生内生性关联。剔除这些城市有助于减少内生性问题的干扰,使得模型能够更清晰地揭示灾后重建过程对其他城市科技发展抗风险能力的独立影响,从而提高研究结论的广泛适用性和稳健性。本文在样本中剔除了位于地震带上的城市再次进行回归,结果如表6所示依然为负向显著,进一步验证了H1。

表6 剔除地震带城市检验回归结果

	科技发展抗风险能力
Post_earthquakes	-0.125 *** (-2.92)
控制变量	是
城市固定效应	是
年份固定效应	是
观测值	2690
样本数	259

5 讨论与分析

5.1 调节机制

本文的基准回归结果表明地震冲击之后的城市灾后会对其科技发展抗风险能力产生积极的促进作用,本部分将对其中的影响机制进行进一步的讨论和分析,地震发生后城市灾后发展过程具体是通过哪些途径的完善来提升科技发展抗风险能力的。

借鉴王永进和冯笑^[43]的做法,在采用调节变量与Post_earthquakes交乘构成三重差分回归的方法进行调节机制检验,并选择电信基础设施、交通基础设施、数据基础设施3个维度,如果交乘项的估计系数通过显著性检验,则说明地震之后城市发展活动对科技发展抗风险能力的影响受到了对应调节变量的影响。

5.1.1 电信基础设施完善提升城市灾后科技发展抗风险能力

电信基础设施在灾后城市发展过程中对于科技发展水平的恢复和抗风险能力的提升具有重要性,其不仅关系到紧急救援的效率和效果,还在灾后城市发展、信息共享、经济社会活动的恢复以及科学研究发展和技术革新等方面发挥着关键作用。

马明^[44]使用空间杜宾模型,并结合四种不同的空间权重矩阵来分析网络基础设施对区域创新能力的影响。其研究结果指出,电信基础设施在模型中对于其他区域的创新能力有负面影响。这可能意味着电信基础设施的发展并未均匀促进各个地区的创新,反而可能导致了一些地区(如中西部)的人力资本向更加发达的东部地区流动。这种单向流动可能会削弱原地区的创新能力,因为高技能人才和知识资源是推动创新的关键因素。此外,这项研究的结果也强调了空间计量经济学方法在评估区域政策效果时的重要性,特别是在考虑区域

间相互作用和依赖关系的情况下。地震可能导致电信基础设施的破坏,如通信基站、光缆等受损,电信网络中断或受限。城市灾后发展中电信条件的恢复与提升对于科技发展抗风险能力的提升至关重要。通过电信网络的完善,科技人员可以远程协作、共享数据和知识,推动科技研究和灾后发展。此外,可靠的电信条件也有助于加强城市与外界的联系与合作,吸引科技资源和投资,进而提高城市的科技抗风险能力。

基于此,选取地区的电信业务总量(Telecom)为变量,构建其与Post_earthquakes的交乘项进行电信基础设施的调节效应回归,回归结果如表7列(1)所示,其结果为负向且显著,证明了电信业务总量在城市灾后发展过程中对科技发展抗风险能力的影响模型中起到了显著的调节作用,验证了H2a。

5.1.2 交通基础设施完善提升城市灾后科技发展抗风险能力

交通基础设施是现代产业体系发展的重要载体,交通基础设施对灾后的科技恢复有至关重要的作用,还对经济社会的长期发展和人民生活质量的提升具有重要意义。秦建群和夏春玉^[45]采用Tobit模型回归检验了2004至2017年我国285个地级市交通基础设施对生产性服务业多样化的影响,实证结果表明交通基础设施会促进生产性服务业多样化集聚。

强烈的地震冲击会对城市的交通基础设施造成破坏,如道路、桥梁、隧道等受损,交通网络中断或受限。因此在城市灾后发展中,交通条件的恢复与改善对于科技抗风险能力的提升至关重要。受灾城市通过恢复交通条件促进人员和物资的流动,使科技人才、技术设备等资源能够快速到达受灾区域,支持科技创新和城市灾后发展。此外,畅通的交通条件也有助于加强城市间的合作与交流,促进科技资源的共享与合作研发,提高城市在面对地震这类自然灾害时的科技抗风险能力。

基于此,选取地方公路货运总量(Transport)作为代表交通基础设施的变量,构建其与Post_earthquakes的交乘项进行交通基础设施的调节效应回归,回归后的结果如表7列(2)所示,其结果为负向显著,证明了公路运输货运总量在城市灾后发展对科技发展抗风险能力具有显著的调节效果,验证了H2b。

5.1.3 数据基础设施完善提升城市灾后科技发展抗风险能力

数据基础设施是现代科技发展的重要支撑条件,其完善程度直接影响科技信息的传递效率、资源整合能力以及技术创新的实现路径。在地震发生后的城市发展中,数据基础设施的恢复与升级能够显著提高城市在灾后环境中的科技发展韧性,为应对未来潜在风险提供坚实保障;数据基础设施不仅能通过直接途径影响科技发展,更通过与灾后发展活动的交互作用提升灾后发展的科技抗风险能力。在城市经受地震灾害冲击之后的数据基础设施完善方面,比如5G网络等的建设和应用属

于可以支持更快速、可靠的数据传输和物联网技术的应用^[46],进一步提升城市在灾后的科技发展抗风险能力。

选择国际互联网用户数(Internet)作为代表当地数据基础设施的变量,构建其与 Post_earthquakes 的三重差分项进行数据基础设施的调节效应回归,回归后的结果如表 7 列(3)所示,其结果为负向显著,验证了 H2c。

5.2 异质性分析

对城市特征进行异质性分析需要确定哪些城市发展特征对灾后的科技发展抗风险能力恢复与提升有价值,这些特定城市特征的异质性分析有助于进一步深入考虑这些特征在科技发展抗风险能力提升上的现实意

义和政策价值。

具体来说,参考石大千等^[47], Li 等^[48]对于城市特征异质性的做法,对地方每年科技支出(万元)进行三等分:一等分组为低科技支出城市,二、三等分组分别为中、高科技支出城市,对不同的三个分组进行基准回归的分组回归,得出城市灾后发展对科技发展抗风险能力的影响在科技支出水平不同城市的异质性结果。同理,又分别采用不同产业增加值占 GDP 比重(%)和每万人中在校大学生数量代表城市的产业结构异质性和教育资源异质性,分别进行分组回归之后进行对比和整合,异质性分析结果如图 6 所示。

表 7 调节机制回归结果

	(1) 电信基础设施	(2) 交通基础设施	(3) 数据基础设施
Post_earthquakes × Telecom	-0.030 *** (-3.66)		
Post_earthquakes × Transport		-0.043 *** (-3.70)	
Post_earthquakes × Internet			-0.024 *** (-2.88)
控制变量	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
R ²	0.121	0.123	0.121
观测值	2932	2921	2933
样本数	283	283	283

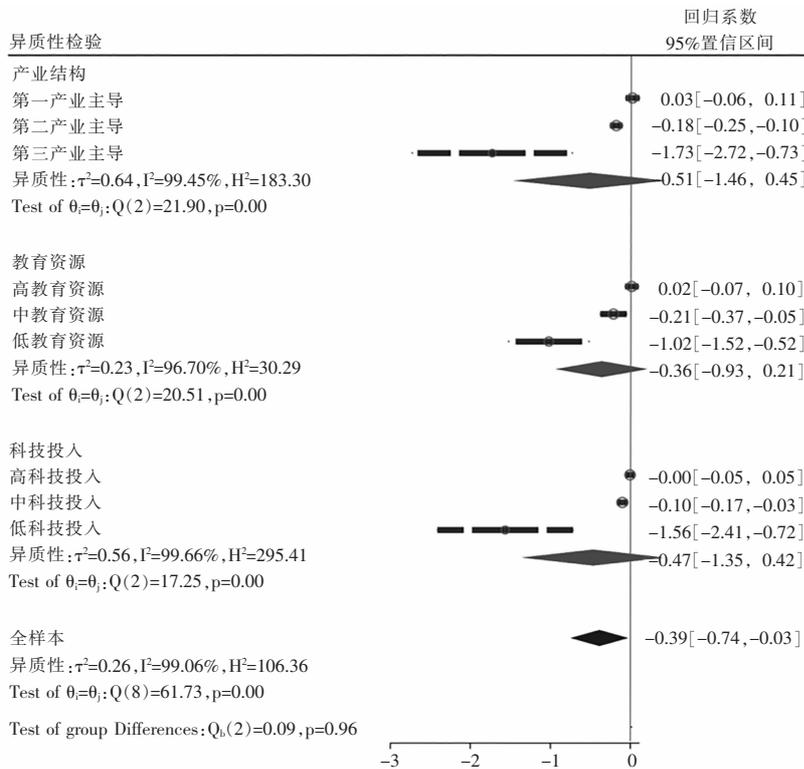


图 6 异质性检验分组回归

5.2.1 产业结构异质性

不同产业结构的经济在灾后的恢复速度是不同的,恢复所需的时间和效益也不同。相比之下,以第二产业和第三产业为主导产业结构的城市在灾后带动经济增长、劳动力市场恢复和营造更好的科技发展创新环境方面比以第一产业为主导产业的城市更有优势。产业结构的不同直接影响着灾后科技发展中新质生产力培育的效果,谷良俊和杨春清^[49]通过建立VAR模型、采用因果检验及脉冲响应等计量模型评估了产业结构升级对科技发展过程中新质生产力发展的影响效果,其结果显示城市现代化的产业体系越完善,这种产业产值的增长越明显。

针对不同产业结构的城市异质性特征,回归结果如表8所示。结果显示第二产业和第三产业为主导的样本城市中,回归结果均为负向显著,且以第三产业为主导产业的城市回归结果的系数要更大于以第二产业为主导的城市,这说明产业结构优化能够更好放大城市灾后发展过程对于科技发展抗风险能力的提升效果,验证了H3a。

5.2.2 教育资源异质性

教育资源的优劣直接关系到一个地区科技发展的人才资本的好坏和人才储备的多少。Lee^[31]的研究显示,发展中国家和发达国家人力资本中等和高等教育水平的不同在决定当地科学技术的发展方面起着关键作用。不同的城市因其教育资源的不同而在灾后的科技抗风险能力提升方面有着不同的表现。相对于教育资源较差的城市,越好的教育资源越能够帮助灾后科技发展抗风险能力的恢复和提升,为当地的科技发展体系和创新环境提供更丰富、优质的人才支持和教育环境。

表8 产业结构异质性检验结果

	(1)	(2)	(3)
	第一产业	第二产业	第三产业
产业结构异质性	0.028 (0.63)	-0.175*** (-4.43)	-1.725*** (-3.40)
控制变量	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
R ²	0.140	0.266	0.228
观测值	934	985	982

针对不同教育资源的城市异质性特征,回归结果如表9所示。结果显示教育资源为中和高的样本城市回归结果均为负向显著,且教育资源越好的城市回归结果的系数越大,这说明教育资源的提升能够更好优化城市灾后科技发展抗风险能力,验证了H3b。

5.2.3 科技投入异质性

地方财政中的科技支出水平对于科技发展抗风险能力和灾后的科技发展起到重要作用。科技投入对于激发当地科技发展活力、科技创新积极性具有重要的积极影响。包健^[50]的研究表明,地方财政科技支出水平与地方的科技发展能力呈现显著的正相关关系,能够对专利授权

数量和当地国内技术市场合同成交额起到显著的促进效果。李建华等把科技经费投入角度作为切入点,基于对中国30个地区的实证研究,研究科技经费投入水平对各地区科技发展产生的影响,其研究结果显示科技经费投入因素在科技创新中具有显著的正向相关作用^[51]。

表9 教育资源异质性检验结果

	(1)	(2)	(3)
	低	中	高
教育资源异质性	0.018 (0.43)	-0.210*** (-2.53)	-1.018*** (-4.00)
控制变量	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
R ²	0.132	0.217	0.228
观测值	609	626	647

针对不同科技投入的城市异质性特征,回归结果如表10所示。结果显示科技投入水平为中等和高等的样本城市回归结果均为负向显著,且科技投入越高的城市回归结果的系数越大,这说明科技投入的增加能够更好放大灾后的科技发展抗风险能力的提升效果,验证了H3c。

表10 科技投入异质性检验结果

	(1)	(2)	(3)
	高支出	中等支出	低支出
科技投入异质性	-1.563*** (-3.64)	-0.100*** (-2.77)	-0.004 (-0.14)
控制变量	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
R ²	0.259	0.214	0.092
观测值	993	1028	912

6 研究结论与政策启示

6.1 研究结论与启示

本文旨在探讨地震发生后城市灾后发展对科技发展抗风险能力的提升作用,以及分析此提升过程中的关键影响机制和城市特征异质性如何发挥作用。通过详尽的文献回顾、案例分析和数据统计,研究得出以下结论:

(1)地震后的城市灾后发展显著提升了科技发展的抗风险能力。研究表明,经历了5级以上的地震城市在灾后重建过程中会提升该城市的科技发展抗风险能力,表现为城市灾后重建使得科技发展核心指标的波动性减小,科技发展应对自然灾害风险的能力提升,科技发展的抗风险能力增强。本文的基准回归结果表明,5级以上地震对于科技发展抗风险能力的积极影响在0.31至0.33个百分点区间,研究的结果考虑了经济、科技、教育等方面控制变量的影响,并且控制了年份和地区的双向固定效应。同时,本文的实证回归结果在进一步进行平行趋势检验、安慰剂检验、倾向得分匹配检验等

一系列稳健性检验后依然成立,验证了基准回归结果的稳健性。此外,根据平行趋势检验图,城市灾后重建对于科技抗风险能力的积极作用具有短期时效性,其对城市科技抗风险能力的影响作用在灾后重建的四年内显著。

(2) 交通、电信、数据基础设施的建设完善是提升地震后城市灾后科技发展抗风险能力的关键影响机制。本文的影响机制分析结果表明,经历了5级以上地震的城市在灾后发展过程中主要在交通、电信、数据基础设施3个层面出现显著的调节作用,使得其对科技发展抗风险能力的结果呈现显著性。这表明这类自然灾害的发生将会刺激受灾城市采取更加有效地完善和提升交通、电信、数据网络基础设施建设层面的方针政策,这些基础设施的快速恢复和升级为科技活动提供了必要的物质基础,促进了信息流通与资源共享,提升了当地科技发展的应对风险能力和水平。

(3) 地震后的城市发展对科技发展抗风险能力的影响具有典型的城市异质性特征。城市异质性特征对于城市灾后重建过程对科技发展抗风险能力的影响显著表现在产业结构、教育水平、科技投入3个方面。依据本文的异质性分析结果,城市灾后重建对于科技发展抗风险能力提升的作用对于以第三产业为主导的、教育资源好、科技投入高的城市最为显著,其影响效果随着这3个特征的倾向性减小而逐渐减弱。

本文的现实启示在于,灾后重建过程中,基础设施的恢复和产业结构的调整对于提升地方科技发展抗风险能力具有重要作用。政府应优先加大灾后基础设施建设投入,特别是交通、电信、数据等关键领域,为科技创新提供坚实基础。同时,推动产业结构的多元化,鼓励高技术产业与传统产业的融合,促进科技创新与经济复苏的同步发展。此外,增加科技投入,优化教育资源配置,提升高素质人才培养,也是增强科技抗风险能力的关键。

与此同时,考虑到不同地区在灾后重建中的差异性,政策应具有地方特色,应因地制宜地设计灾后恢复和科技发展策略。政府应根据各地区的产业基础、科技水平和资源配置情况,量身定制政策工具,确保灾后重建的科技效益最大化。建立灾后科技应急机制,提升灾后重建效率和应急响应能力,也是增强地方政府在灾后时期应对科技挑战的重要措施。通过这些政策措施,地方政府可以增强科技系统的韧性,推动科技自立自强,提升城市在面对未来自然灾害时的综合抗风险能力。

6.2 研究不足与展望

本文在一些维度上还存在些许不足,未来的研究可考虑从以下几个方面入手开展更深入的研究:由于样本收集与数据收集存在一定的局限性,本文的研究范围局限在中国的地级市层面,未来研究在完善、详尽的区县级数据基础上可以进一步细化重大自然灾害冲击对科技发展体系的影响研究,在地理空间区域范围内进行更深入的研究;由于科技抗风险能力的概念在学术界发展

尚不完善,本文初步借用韧性概念在经济韧性、城市韧性的概念发展中进行延伸应用,今后学者可在科技抗风险能力这一概念和应用领域进行更深入的研究,应用更加精准的概念完善、丰富这一指标在实证领域的构建和测度;由于本文选择的研究模型对于外生性冲击事件具备一定的前提要求,本文在重大自然灾害的研究背景下选择了经受大于5级以上地震冲击作为城市灾后研究对科技发展影响的一个切入点。未来学者的研究可以尝试通过其他自然灾害的类型和视角选用不同的研究方法继续进行深入,拓宽在这一研究领域关于洪水、飓风等其他自然灾害对科技发展体系影响的研究,为城市在面对自然灾害时制定合理的科技发展政策提供学术研究基础和政策建议。

参考文献:

- [1] 沙勇忠,阎劲松,王峥嵘. 雅安地震后红十字会的公众信任研究——基于微博数据的网民情感分析[J]. 公共管理学报, 2015, 3(12):93-104+58-59.
- [2] 宋妍,李振冉,张明. 自然灾害对经济增长的长期间接影响——基于汶川地震灾区县级数据的合成控制法分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 9(29):117-26.
- [3] Cho A. Post-tsunami Recovery and Reconstruction: Governance Issues and Implications of the Great East Japan Earthquake[J]. Disasters, 2014, 38:157-78.
- [4] Kates R W, Kaspersen J X. Comparative Risk Analysis of Technological Hazards[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1983, 80(22):7027-7038.
- [5] Starr C. Social Benefit Versus Technological Risk[J]. Science, 1969, 165(3899):1232-1238.
- [6] Alexander D E. Resilience and Disaster Risk Reduction: An Etymological Journey[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2013, 13(11).
- [7] Martin R. Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessionary Shocks[J]. Journal of Economic Geography, 2012, 12(1):1-32.
- [8] Hassink R. Regional Resilience: A Promising Concept to Explain Differences in Regional Economic Adaptability? [J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 2010, 3(1):45-58.
- [9] Fingleton B&Garretsen H&Martin R. Recessionary Shocks and Regional Employment: Evidence on the Resilience of U. K. Regions[J]. Journal of Regional Science, 2012, 52(1):109-33.
- [10] Ron, Martin, Peter, et al. Path Dependence and Regional Economic Evolution[J]. Journal of Economic Geography, 2006.
- [11] 张家年,马费成. 科技安全的分析模型及其核心要素表征[J]. 中国科技论坛, 2020(5):9.
- [12] Hellström T. Systemic Innovation and Risk: Technology Assessment and the Challenge of Responsible Innovation[J]. Technology in Society, 2003, 25(3):369-384.
- [13] Alhawari S, Karadsheh L, Nehari Talet A, et al. Knowledge-Based Risk Management Framework for Information Technology Project[J]. International Journal of Information Management, 2012, 32(1):50-165.
- [14] Bahli B, Rivard S. Validating Measures of Information Technology Outsourcing Risk Factors[J]. Omega, 2005, 33(2):175-187.

- [15] Wang J, Lin W, Huang Y - H. A Performance - oriented Risk Management Framework for Innovative R&D Projects [J]. *Technovation*, 2010, 30(11):601 - 611.
- [16] Rainer Jr R K, Snyder C A, Carr H H. Risk Analysis for Information Technology [J]. *Journal of Management Information Systems*, 1991, 8(1):129 - 147.
- [17] Christensen J, Søndergaard K, Serwanski L, et al. A Risk Management Framework for Implementation of Emerging Technologies [Z]. Reading; Academic Conferences International Limited. 2018:199 - 207.
- [18] 黄锦成, 杨颂阳, 阮付贤, 等. 科技计划项目风险监控指标体系及应用研究 [J]. *科技进步与对策*, 2006(11):129 - 131.
- [19] Liu H T, Zhang D Q, Wei Q, et al. Comparison Study on Two Post - Earthquake Rehabilitation and Reconstruction Modes in China [J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2017, 23:109 - 118.
- [20] 李晓翔, 刘春林. 自然灾害管理中的跨组织合作——基于社会弱点的视角 [J]. *公共管理学报*, 2010, 1(7):73 - 84 + 126 - 7.
- [21] Xu H T, Itoh H. Density Economies and Transport Geography: Evidence from the Container Shipping Industry [J]. *Journal of Urban Economics*, 2018, 105:121 - 132.
- [22] 阮文奇, 张舒宁, 李勇泉. 自然灾害事件下景区风险管理: 危机信息流扩散与旅游流响应 [J]. *南开管理评论*, 2020, 2(23):63 - 74.
- [23] 李昌珑, 高孟潭. 中国地震科技事业百年历程、基本经验与当代启示 [J]. *科技导报*, 2021, 39(12):103 - 108.
- [24] Jigyasu R. Appropriate Technology for Post - Disaster Reconstruction [J]. *Rebuilding after Disasters From Emergency to Sustainability*, 2010:49 - 69.
- [25] Steinberg L J, Cruz A M. When Natural and Technological Disasters Collide: Lessons from the Turkey Earthquake of August 17, 1999 [J]. *Natural Hazards Review*, 2004, 5(3):121 - 30.
- [26] Tobin G A, Montz B E. Natural Hazards and Technology: Vulnerability, Risk, and Community Response in Hazardous Environments [J]. *Geography and Technology*, 2004:547 - 70.
- [27] Kong J, Zhang C, Simonovic S P. Optimizing the Resilience of Interdependent Infrastructures to Regional Natural Hazards with Combined Improvement Measures [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2021, 210:107538.
- [28] Boakye J, Guidotti R, Gardoni P, et al. The Role of Transportation Infrastructure on the Impact of Natural Hazards on Communities [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2022, 219:108184.
- [29] 汪小龙. 区域一体化、经济韧性与科技创新 [J]. *科学学与科学技术管理*, 2023, 44(12):101 - 17.
- [30] 谭前进, 聂鸿鹏, 于涛. 科技创新与产业韧性的耦合协调研究 [J]. *现代管理科学*, 2023(2):48 - 56.
- [31] Lee J - W. Education for Technology Readiness; Prospects for Developing Countries [J]. *Journal of Human Development*, 2001, 2(1):115 - 51.
- [32] 王少, 孔燕. 科技投入与科技发展的关系揭示——以典型发达国家 R&D 投入与诺贝尔科学奖关联性为中心 [J]. *科学管理研究*, 2017, 35(4):28 - 31.
- [33] Briguglio L, Cordina G, Farrugia N, et al. Conceptualizing and Measuring Economic Resilience [J]. *Building the Economic Resilience of Small States, Malta; Islands and Small States Institute of the University of Malta and London; Commonwealth Secretariat*, 2006:265 - 88.
- [34] 周泽将, 罗进辉, 李雪. 民营企业身份认同与风险承担水平 [J]. *管理世界*, 2019, 11(35):193 - 208.
- [35] 张敏, 童丽静, 许浩然. 社会网络与企业风险承担——基于我国上市公司的经验证据 [J]. *管理世界*, 2015(11):161 - 75.
- [36] Van Bergeijk P A, Brakman S & Van Marrewijk C. Heterogeneous Economic Resilience and the Great Recession's World Trade Collapse [J]. *Papers in Regional Science*, 2017, 96(1):3 - 12.
- [37] 孙久文, 孙翔宇. 区域经济韧性研究进展和在中国应用的探索 [J]. *经济地理*, 2017, 37(10):1 - 9.
- [38] 方磊, 张雪薇. 科技金融生态对区域经济韧性的空间效应及影响机制 [J]. *中国软科学*, 2023(6):117 - 28.
- [39] Faggian A, Gemmiti R, Jaquet T, et al. Regional Economic Resilience; the Experience of the Italian Local Labor Systems [J]. *The Annals of Regional Science*, 2018, 60(2):393 - 410.
- [40] 周叔莲, 王伟光. 科技创新与产业结构优化升级 [J]. *管理世界*, 2001(5):70 - 8 + 89 - 216.
- [41] 刘星, 赵红. 外商直接投资对我国自主创新能力影响的实证研究——基于省级单位的面板数据分析 [J]. *管理世界*, 2009(6):170 - 1.
- [42] 曹清峰. 国家级新区对区域经济增长的带动效应——基于 70 大中城市的经验证据 [J]. *中国工业经济*, 2020, (07):43 - 60.
- [43] 王永进, 冯笑. 行政审批制度改革与企业创新 [J]. *中国工业经济*, 2018(2):24 - 42.
- [44] 马明. 网络基础设施对区域创新能力影响的实证检验 [J]. *统计与决策*, 2015(3):98 - 101.
- [45] 秦建群, 夏春玉. 交通基础设施如何影响生产性服务业空间集聚? ——基于市场分割视角 [J]. *财贸研究*, 2022, 33(5):31 - 44.
- [46] Miao Q. Technological Innovation, Social Learning and Natural Hazard Mitigation; Evidence on Earthquake Fatalities [J]. *Environment and Development Economics*, 2017, 22(3):249 - 273.
- [47] 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.
- [48] Li Y, Zhang J, Yang X, et al. The Impact of Innovative City Construction on Ecological Efficiency: A Quasi - Natural Experiment from China [J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2021, 28:1724 - 1735.
- [49] 谷良俊, 杨春清. 产业结构升级培育县域新质生产力的理论和经验证据——以 I 县为例 [J]. *技术经济与管理研究*, 2024(6):15 - 21.
- [50] 包健. 地方财政科技支出对地方科技发展的影响分析 [J]. *科学管理研究*, 2015, 33(3):108 - 111.
- [51] 李建华, 李琳, 毛刚. 科技经费投入视角下科技创新与区域经济的实证研究 [J]. *社会科学战线*, 2013(3):94 - 98.

(责任编辑:秦颖)