科技创新

区域异质性视角下数字技术对医疗器械企业创新的影响

靳 珅[1], 王光辉[2]

(1. 澳门科技大学商学院, 澳门 999078; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 基于区域异质性视角,构建有调节的中介效应模型,实证检验2017—2023年中国上市医疗器械企业中数字技术应用对创新的影响机制。研究表明:数字技术应用显著正向促进企业创新,且效应强度呈现中部最强、东部次之、西部最弱的区域梯度差异;风险承担在二者间起部分中介作用,中介效应占比呈现东部最高、中部中等、西部最低的梯度特征。需求冲击通过双路径调节作用机制:正向强化数字技术对创新的直接促进效应,该调节作用在东部最强、中部中等、西部未达显著水平;负向抑制风险承担的中介传导作用,抑制强度表现为中部最强、东部中等、西部最弱。区域资源禀赋差异与需求冲击强度差异共同导致数字技术驱动创新的异质性,需结合区域发展特质制定分层政策和发展战略。

关键词: 区域异质性; 数字技术应用; 企业创新; 机制研究

中图分类号: C93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2026)07-0033-12

数字技术并非泛指所有信息技术,而是特指人工智能(AI)、大数据、云计算、物联网(IoT)、区块链等新一代信息技术在企业运营、研发、生产等环节的应用。数字技术在医疗器械行业的广泛应用,正在深刻重塑企业的创新路径与运营模式。作为典型的资本密集型和技术密集型行业,医疗器械企业的创新能力与市场适应性直接决定其核心竞争力,关乎企业在激烈市场竞争中的生存与长远发展[1]。数字技术的深度渗透为医疗器械企业搭建了全新的创新平台,提供了高效的研发工具,不仅显著提升了产品研发效率与全流程智能化水平,更通过大数据分析、人工智能算法等先进手段,精准优化了市场策略制定与客户服务体系,推动企业从传统研发模式向数据驱动的创新模式转型。在全球经济环境复杂多变、行业竞争日趋激烈的背景下,数字技术的应用有效增强了企业对市场风险的感知与承担能力,对保障企业可持续发展、促进社会经济稳定运行具有至关重要的作用[2]。值得注意的是,区域异质性对技术应用效果与创新效能的作用机制具有不可忽视的影响。区域异质性指不同地理区域在资源禀赋、制度环境、基础设施、产业基础、人力资本等方面的系统性差异,这些差异导致同一政策或技术在不同区域产生不同的效果[3]。依据国家统计局及《中国区域经济统计年鉴》标准,将样本划分为东部(含京津冀、长三角、珠三角等)、中部(山西、河南等6省)和西部(川渝、西北、西南等)3大区域,以捕捉数字技术应用效果的空间分异。区域创新系统理论明确强调,不同区域在政策环境、产业基础、人才储备等资源禀赋上的空间差异,直接影响了创新网络的构建质量与运行效率[4]。具体而言,地理情景中的数字基础设施密度、产业集群专业化程度与地方政策支持力度等因素共同构成地理约束条件,导致数字技术在不同区域的应用深度、广度及实际效果呈现出显著的区域差异[5]。此外,近年来突发性公共卫生事件导致的需求冲击频繁发生,使医疗器械企业面临前所未有的挑战与压力。市场需求在短时间内的剧烈波动、全球供应链的局部中断、企业资金链的持续紧张等多重风险相互叠加,显著增加了企业的运营难度与生存风险,同时也从客观上倒逼医疗器械企业加速数字化

收稿日期: 2025-11-24

作者简介: 靳珅(1990—),男,山西大同人,博士研究生,研究方向为企业创新与区域创新;通信作者王光辉(1987—),男,山东烟台人,博士,研究员,研究方向为区域经济与区域创新网络。

转型进程，通过构建数字化研发体系、智能化生产流程与敏捷化供应链，不断提升自身的抗风险能力与创新效率[6]。在数字技术加速重构医疗器械产业生态的背景下，忽视区域异质性将导致政策“一刀切”与企业战略误判。通过实证分析方法，探讨区域异质性条件下数字技术应用对医疗器械企业创新的具体影响机制，突破既有研究普遍假设技术效应同质化的局限，揭示数字技术驱动创新的非线性区域规律，并识别风险承担与需求冲击的双路径机制及其空间分异，为医疗器械企业制定差异化的数字化创新战略与各级政府出台针对性的区域政策提供扎实的理论支持与实践参考。

1 文献综述

1.1 数字技术与医疗器械企业创新

数字技术应用对医疗器械企业的创新具有显著的促进作用。在医疗器械行业，数字技术的应用贯穿于研发设计、生产制造、供应链管理和产品服务等环节。人工智能和大数据技术有效提高了产品研发的效率和精度，缩短研发周期[7]。智能制造技术如自动化生产线和机器人技术则显著提升了生产效率和产品质量。物联网和大数据技术应用于供应链管理，实现供应链的可视化和智能化，降低库存成本，提高响应速度[8]。远程监控和数据分析技术能够提供个性化的产品服务，增强客户体验[9]。随着越来越多的企业应用数字技术，这些企业能够更好地实现数据与资源共享，使数据互通成为可能，这种数字化分享生态将形成一种多赢效应[10]。

从地理视角看，区域创新系统理论指出，地理要素通过资源禀赋、基础设施密度与产业集群网络的空间分化，塑造技术扩散与创新转化的效率[11]。中国东部地区数字基础设施完善、高端人才集聚、产业协同网络紧密，数字技术更易嵌入研发与生产环节，形成“技术-创新”良性循环；中部地区虽承接部分产业转移，但数字基建短板与技术吸收能力不足；西部地区受限于地理区位劣势与资源约束，数字技术投入回报周期长，应用效果相对有限[12]。同时，刘新争[13]对数字技术应用的效果提出质疑，数字化技术应用需要大量的人力和物力投入，其中资本投入占主要部分，可能导致企业陷入资金链断裂的困境，这种风险在地理约束较强的中西部地区将更为突出。

1.2 风险承担的中介效应

企业风险承担能力是指企业稳健经营、防控风险损失、实现可持续发展的能力。风险承担在数字技术应用与企业创新之间起到了重要的中介作用[14]。一方面，风险承担水平较高的企业，更愿意将资源投入到高风险、高回报的创新项目中，从而提升企业的创新能力[15]；另一方面，数字技术的应用通过降低信息不对称、增强企业韧性等方式，提升了企业的风险承担能力，进而促进了企业的创新活动[16]。区域政策支持力度、金融资源可得性与技术服务配套构成风险承担的地理边界[17]。东部地区因政策试点优势与资本市场活跃，企业通过数字技术提升风险承担后更易获得创新资源支持；中部地区政策激励不足，数字技术赋能风险承担的效果受限于融资约束；西部地区高地理壁垒导致风险分散渠道匮乏，即使数字技术提升风险承担意愿，也难以转化为持续创新动力[18]。此外，程华和王慧霞[19]提出，当风险承担水平过高时，企业可能因为资源过度分散、管理者过度自信、决策偏短视等原因，导致创新水平下降，这种现象在地理资源配置失衡的区域更为明显。

1.3 需求冲击的调节作用

需求冲击是指由外部事件引发的社会总需求的突然性变动。近年来公共卫生事件引发的需求冲击对全球经济和社会产生了深远影响，医疗器械企业也面临着前所未有的机遇与挑战。需求冲击一方面增加了对医疗器械的需求，尤其是防护用品、检测设备等，不少企业从中获利。另一方面，也给企业的生产、销售和供应链管理带来了诸多挑战，如原材料短缺、物流受阻、市场需求波动等[20]。在此背景下，数字技术的应用为企业提供应对挑战的有效手段，对企业的创新也产生一定的影响。数字技术帮助企业实现了研发、生产、销售过程的自动化和智能化，提高了灵活性和抗风险能力[21]。

积极应对需求冲击的企业往往大力发展数字化技术，并优先从数字技术应用中获得效益提升[22]。而地理异质性进一步加剧了需求冲击下数字技术应用的区域分化：东部地区依托完善的数字基建与跨区域协同网络，能够快速通过数字化优化产能调配与供应链响应；中部地区受限于物流半径与数字平台覆盖不足，需求冲击导致的业务扩张对数字技术的需求难以充分满足；西部地区因需求冲击规模较小且技术基础薄弱，数字技术应用的边际效益较低[23]。这种区域差异凸显了地理情景对“技术-创新”关系的影响，为深入探讨区域异质性的作用提供了现实依据。

1.4　文献评述

现有文献全面地研究了数字技术企业创新的积极作用和风险承担的中介角色,为研究奠定了良好基础。然而,也有3个方面需要补充:①多数研究隐含“技术效应均质化”假设,忽视中国东、中、西部在数字基建、产业生态等方面的深刻差异,缺乏从区域异质性这一结构性前提出发,深入探讨“技术-创新”关系的空间分异机制;②现有学者对医疗器械行业的研究较少,没有形成针对这一高科技产业的专属创新机制研究;③关于需求冲击的研究多聚焦创新绩效本身,缺乏对其如何调节“技术-风险-创新”复杂链条的机制剖析,更未揭示该调节作用的区域异质性。针对上述研究空白,本文的必要性与创新性得以凸显:首次将区域异质性作为核心分析视角,构建“有调节的中介效应”模型,为理解数字技术赋能医疗器械企业创新的地理约束提供了新证据,也为制定分区域的产业政策与企业战略提供了精准理论支撑。

2　理论基础与研究假设

2.1　数字技术与企业创新

地理条件作为经济活动的底层约束,通过区域资源禀赋、基础设施和产业网络的差异,深度影响数字技术对医疗器械企业创新的影响效果。经典的“核心-边缘”理论指出,区域发展不均衡源于要素集聚能力的梯度分化[24]。东部地区虽具备先发优势,却面临创新饱和与路径依赖,土地成本高企挤压研发投入,高端人才竞争加剧创新内卷,导致数字技术边际收益递减。反观中部地区,依托规模化劳动力储备与低成本制造生态,显著降低技术吸收成本;区域性供应链网络加速技术协同,使数字技术更易释放规模创新红利。而西部地区受制于地形阻隔与基建薄弱,产业碎片化阻碍技术扩散,创新要素重组效率明显滞后。数字化转型理论强调,数字技术通过流程优化、数据整合与跨主体协作驱动创新,但其效能高度依赖区域适配性:东部受禀赋瓶颈制约创新深度,西部因网络脆弱性限制技术渗透,而中部凭借“低成本-高协同”的差异化优势,构建更高效的要素重组通道。这一现象印证了熊彼特创新本质论,创新即生产要素的新组合[25]。区域间的发展条件差异,会改变人才、数据等创新要素的流动方式与组合效率,导致数字技术对创新的促进作用在不同地区呈现分化现象。基于上述分析,提出如下假设。

H1:数字技术应用对医疗器械企业创新具有显著正向影响,且影响强度因区域资源与生态差异呈现梯度分化,表现为中部地区>东部地区>西部地区。

2.2　风险承担的中介作用

创新活动的高风险性决定了风险承担能力是连接技术投入与创新产出的关键纽带。“探索与利用”理论指出,企业需在风险探索与资源利用间寻求平衡,而这种平衡能力的培育依赖地理情境中的制度与资源支撑[26]。数字技术通过提升企业动态能力强化风险承担水平。一方面,大数据与人工智能技术降低信息不对称,帮助企业精准识别创新机会并控制风险;另一方面,数字化转型改善了公司治理与资源整合效率,增强企业应对研发不确定性的韧性,这一机制符合“动态能力”理论中学习机制对风险承担的促进作用。区域差异化进一步影响风险承担向创新的转化效率。区域产业生态作为重要的地理条件,对风险承担的落地效果产生显著影响[27]。东部地区产业配套齐全、市场活跃,企业通过数字技术提升风险承担后,能快速获得资金支持将风险意愿转化为研发投入,中介效应更强;中西部地区面临显著资源禀赋约束,产业配套落后且市场响应缓慢,即使数字技术提升企业风险承担意愿,也因产业生态支撑难以转化为持续创新动力,导致风险承担的中介效应较弱。这种差异本质上是地理要素影响下区域差异导致的资源供给能力差异。基于上述分析,提出如下假设。

H2:风险承担在数字技术应用与医疗器械企业创新之间起中介作用。该中介效应存在区域差异,东部地区中介效应占比显著高于中部、西部地区。

2.3　需求冲击的调节作用

外部冲击下企业的适应能力受地理条件制约,复杂适应系统理论指出企业需通过动态调整能力结构应对环境变化,而地理情境决定了这种调整的基础与效率[28]。需求冲击作为一种重大的外部冲击,对数字“技术-创新”关系产生调节效应,这种调节的差异根植于地理条件塑造的资源储备与响应能力。从需求拉动方面看,需求冲击引发医疗防护设备、检测试剂等需求激增,倒逼企业加速数字化转型以快速响应市场[29]。东部地区作为公共卫生事件的高发区,数字基建完善且供应链韧性强,企业能通过数字化手段快速优化产能调配、缩短研发周期,使数字技术的创新赋能作用被进一步放大;中西部地区公共卫生事件影响较小,需求冲击规模小,且数字平台覆盖不足,需求拉动对数字技术直

接作用的强化弱于东部。同时，从资源挤占方面看，需求冲击的短期爆发可能挤占长期研发资源。中部企业因创新基础和资源储备处于中间水平，在需求冲击短期爆发时更易出现研发资源被挤占的情况，从而削弱风险承担向创新的传导；东部地区创新资源充裕且多元化，需求冲击对研发资源的挤占效应较弱，风险承担的传导作用受影响较小；西部地区虽创新基础薄弱，但需求冲击的短期爆发规模有限，资源挤占效应反而不及中部显著。基于上述分析，提出如下假设。

H3：需求冲击正向调节数字技术应用对医疗器械企业创新的直接作用，且这种调节效应东部大于中部、西部；

H4：需求冲击负向调节风险承担对医疗器械企业创新的传导作用，且这种调节效应中部大于东部、西部。概念模型如图 1 所示。

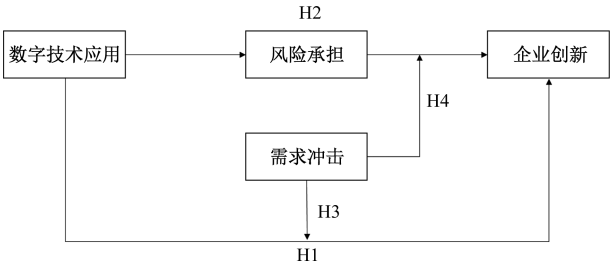


图 1　概念模型

3　模型设定与变量选取

3.1　模型设定

3.1.1　基准回归

构建固定效应模型，控制不可观测的个体异质性和时间趋势，是面板数据分析的标准做法[30]。通过构建基准回归模型，进而研究数字技术应用与医疗器械企业创新水平影响。设立如下基准回归模型：

$$INNO_{it} = \beta_0 + \beta_1 DIGI + \sum_{m=1}^{k} \beta_m C_{mit} + D_i + T_i + e_{it} \quad (1)$$

式中：$INNO_{it}$ 为企业创新水平，表示第 i 个个体在时间 t 的观测值；DIGI 为数字技术应用程度；C_m 为第 m 个控制变量；D_i 为个体固定效应；T_i 为时间固定效应；e_{it} 为随机误差项，表示第 i 个个体在时间 t 的随机扰动；β_1、β_m 分别为与解释变量和控制变量相关的系数；β_0 为常数项。

3.1.2　有调节的中介效应回归

构建式(2)～式(5)所示的有调节的中介回归模型。其中 COVID 为调节变量，代表需求冲击；RISK 为中介变量，代表风险承担。中介效应检验采用三步回归法[31]，并结合 Bootstrap 重复抽样，计算中介效应置信区间，避免传统 Sobel 检验的局限性。此外，在直接路径和间接路径中分别引入调节变量 COVID 及其交互项，以识别调节效应的作用位置与方向[32]。

$$RISK_{it} = \beta_0 + \beta_1 DIGI + \sum_{m=1}^{k} \beta_m C_{mit} + D_i + T_i + e_{it} \quad (2)$$

$$INNO_{it} = \beta_0 + \beta_1 DIGI + \beta_2 RISK + \sum_{m=1}^{k} \beta_m C_{mit} + D_i + T_i + e_{it} \quad (3)$$

$$INNO_{it} = \beta_0 + \beta_1 DIGI + \beta_2 COVID + \beta_3 (DIGI \times COVID) + \sum_{m=1}^{k} \beta_m C_{mit} + D_i + T_i + e_{it} \quad (4)$$

$$INNO_{it} = \beta_0 + \beta_1 DIGI + \beta_2 RISK + \beta_3 COVID + \beta_4 (RISK \times COVID) + \sum_{m=1}^{k} \beta_m C_{mit} + D_i + T_i + e_{it} \quad (5)$$

3.2　数据来源与预处理

以 2017—2023 年中国上市医疗器械公司为研究样本。企业其他经营数据来自 IFIND 数据库，样本筛选过程如下：剔除主要变量数据缺失的样本，剔除 ST、*ST、PT 和被终止上市等研究样本，对部分数据缺失的进行线性插值处理。最终得到共 213 家公司 7 年数据，1 491个研究样本。

3.3　变量测量

3.3.1　被解释变量：医疗器械企业的创新水平(INNO)

鉴于医疗器械企业细分领域非常多，各个领域的创新水平差异非常大，单一指标难以全面评估企业的创新水平，因此，构建一个综合性的医疗器械企业创新水平评价指标体系，并采用 AHP-熵值法对各项指标进行权重赋值[33]。结果见表 1。

3.3.2　解释变量：数字技术应用(DIGI)

采用文本挖掘技术提取上市公司年报文本中与数字化技术应用相关的关键词[34]，根据特征词进行搜索、匹配、统计词频，对关键技术方向的词频进行分类，形成最终的总词频，并对其进行取对数处理。数字技术应用水平的指针测度过程主要分为以下 3 个步骤：①数据采集与预处理。基于 Python 自动化脚本从沪深交易所公开平台抓取全量 A 股上市公司年报文档，利用光学字符识别(optical character recognition，OCR)技术将非结构化的 PDF

表 1　医疗器械企业创新水平评价指标体系及指标权重

一级指标	权重/%	二级指标	权重/%
创新投入	33.49	研发支出	1.62
		研发强度	4.02
		研发支出增长率	3.73
		研发人员数量	4.98
		研发人员投入强度	4.06
		研发人员增长率	3.62
		研发人员平均工资	4.18
		研发投入密度	3.96
创新产出	38.64	发明专利数量	6.38
		人均发明专利	5.28
		研发投入效率	5.88
		营业收入增长率	3.72
		净资产收益率 ROE	3.59
		研发人员平均净利润	3.59
		无形资产账面原值—专利技术	5.35
创新保障	27.87	硕士人数占比	4.17
		研发人员数量占比	3.82
		政府补贴强度	5.83
		政府补贴	9.84
		资产负债率	3.97
		无形资产比例	4.26
		劳动生产率	4.16

文件转化为标准化文本数据,建立可供分析的语料数据库。②特征词汇识别与提取。根据数字技术应用领域研究文献,构建包含人工智能、区块链、云计算等核心技术的多维度术语库,运用正则表达式和自然语言处理技术,开发自动化关键词抓取程序,实现大规模文本的特征词汇定位。③量化分析与指标构建。通过文本挖掘算法统计目标词汇在年报中的分布密度,对原始频次数据进行归一化处理,采用自然对数转换消除量纲差异,最终形成具有可比性的企业数字化应用程度评估指数。整个流程综合运用了网络爬虫、文本解析和统计建模技术,确保评价指标的科学性与客观性。采用年报文本挖掘法构建指标,并非主观判断(RISK)、需求冲击(COVID)。

3.3.3　中介变量与调节变量:风险承担(RISK)、需求冲击(COVID)

企业风险承担是指识别、把握和控制风险机会,缓冲和掩盖风险。创建和发展企业的一个关键因素是增强风险承受能力[35]。医疗器械行业具有高技术壁垒、长研发周期和强监管特征,创新活动伴随巨大不确定性。风险承担能力使企业敢于投入资源开展前沿研发,突破技术瓶颈,加速产品迭代。尤其在数字转型与突发公共卫生事件背景下,较强的风险承担意愿有助于企业把握机遇、提升韧性,将技术优势转化为创新成果,从而维持核心竞争力。使用企业在观测时段内的总资产收益率(ROA)波动程度来度量企业风险承担水平,盈余波动性越大,说明企业风险承担水平越高。该指标被广泛用于代理企业战略激进性,尤其适用于中国上市公司研究。其中 ROA 使用息税前利润除以年末总资产衡量。具体采用式(6)、式(7)计算,其中 EBIT 为息税前利润,ASSET 为年末总资产。以每 3 年(t 年至 $t+2$ 年)作为一个观测时段,分别滚动计算经行业调整后的 ROA(AdjROA)的标准偏差和极差,同时将该结果乘以 100 得到风险承担指标以衡量企业风险承担水平[36]。

$$\mathrm{AdjROA}_{i,t}=\frac{\mathrm{EBIT}_{i,t}}{\mathrm{ASSET}_{i,t}}-\frac{1}{x}\sum_{k=1}^{x}\frac{\mathrm{EBIT}_{i,t}}{\mathrm{ASSET}_{i,t}} \tag{6}$$

$$\mathrm{RISK}_{i,t}=\sqrt{\frac{1}{T-1}\sum_{t-1}^{T}\left(\mathrm{AdjROA}_{i,t}-\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\mathrm{AdjROA}_{i,t}\right)^{2}}\ \Big|\ T=3 \tag{7}$$

需求冲击指由外部突发事件(如突发公共卫生事件)引发的对特定产品(如防护服、呼吸机、检测试剂)的短期、剧烈、非预期的需求激增。以企业是否从事突发公共卫生事件相关业务作为代理变量,反映其受外部需求扰动的程度。通过虚拟变量构造方式对其进行操作化定义:企业从事需求冲击相关业务的为 1,不从事的为 0。

3.3.4　控制变量

控制变量包括总资产收益率(ROA)、托宾 Q 值(TOBI)、现金资产比率(CASH)、第一大股东持股比例(SHAR)、资产负债率(DEBT)、员工数量(EMPL)、账面市值比(B/M)、管理费用率(MFEE)、资产增长率(ASSE)。这些控制变量均针对医疗器械企业的关键特征进行选取,确保分析结果的精确性。变量定义见表 2。

4　实证研究

4.1　基准回归与区域异质性分析

数字技术应用对医疗器械企业创新具有显著正向促进作用。表 3 显示,数字技术应用在 1% 水平上显著为正,这与医疗器械行业技术密集型特征高度契合。数字化技术可直接优化医疗器械核心技术参数,提升产品临床适用性与精确度,契合行业对产品质量和安全性的高要求。借助数据分析工具,企业能精准捕捉市场需求动态,快速调整研发方向,适应医疗器械领域技术迭代快、需求多元化的特性。数字化系统实现对产品成本、质量、临床功效等关键指标的全流程管控,提升创新成果综

表 2　变量定义

变量类型	变量名称	变量符号	变量定义
被解释变量	企业创新水平	INNO	医疗器械企业创新水平评价指标
解释变量	数字技术应用	DIGI	文本挖掘提取上市公司年报文本中与数字化技术应用相关的关键词词频
中介变量	风险承担	RISK	ROA 波动程度
调节变量	需求冲击	COVID	虚拟变量，从事相关业务的为 1，不从事的为 0
控制变量	总资产收益率	ROA	净利润除以总资产
	托宾 Q 值	TOBI	市场价值与其重置成本的比值
	现金资产比率	CASH	现金及现金等价物与总资产的比值
	第一大股东持股比例	SHAR	单一最大股东持有的公司股份占公司总股本的比值
	资产负债率	DEBT	资产与负债的比值
	员工数量	EMPL	企业员工总数
	账面市值比	B/M	账面价值与市值的比值
	管理费用率	MFEE	管理费用总额与营业收入的比值
	资产增长率	ASSE	本期资产增加额与期初(上期)资产总额的比率

表 3　基准回归结果

变量	INNO			
	(1)	(2)	(3)	(4)
DIGI	0.846 9***	0.757 2***	0.324 1***	0.267 0***
	(0.072 2)	(0.047 9)	(0.049 7)	(0.051 6
ROA			0.028 3***	0.029 0***
			(0.002 5)	(0.002 5)
TOBI			0.049 8***	0.031 5
			(0.022 2)	(0.022 5)
CASH			−0.036 0	−0.365 0
			(0.245 1)	(0.255 7)
SHAR			0.003 1	0.009 9
			(0.005 2)	(0.006 5)
DEBT			1.530 1***	1.653 1***
			(0.331 5)	(0.350 2)
EMPL			0.688 0***	0.782 9***
			(0.058 9)	(0.064 9)
B/M			0.356 5*	0.307 9
			(0.216 8)	(0.221 7)
FEE			1.353 6***	1.093 8**
			(0.463 0)	(0.485 3)
ASSE			−0.000 4*	−0.000 4
			(0.000 3)	(0.000 4)
常数项	3.596 8***	4.137 3***	0.809 7***	0.437 1
	(0.437 8)	(0.289 8)	(0.353 5)	(0.352 0)
Individual	No	Yes	No	Yes
Year	No	Yes	No	Yes
样本数	1 491	1 491	1 491	1 491
R^2	0.084 6	0.163 4	0.372 3	0.375 6
F	137.57	30.90	42.42	76.26

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著相关；括号内为标准误。

合效益。同时，国家针对医疗器械软件、人工智能等新型产品的注册审批与监管政策优化，使应用数字技术的企业更易获得监管豁免与政府补贴，进一步强化创新激励机制[37]。

基于中国区域发展的差异性特征，构建数字技术应用对医疗器械企业创新影响的地理异质性分析框架。国家依据区域经济基础、社会条件与自然禀赋实施差异化发展战略，为区域创新差异研究提供政策背景。参照《中共中央 国务院关于促进中部地区崛起的若干意见》《国务院发布关于西部大开发若干政策措施的实施意见》以及党的十六大报告的精神。中国被划分为 4 大经济区域：东部地区涵盖北京、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南；中部地区包括山西、河南、湖北、湖南、江西、安徽；西部地区包含四川、重庆、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、内蒙古、广西；东北地区为黑龙江、吉林、辽宁[38]。东北地区样本企业有 2 家，未做进一步分析。因数据缺失，港澳台地区未纳入研究范围。在理论上，区域资源禀赋、产业基础与技术环境的差异，导致数字技术对医疗器械企业创新的边际效应呈现区域异质性。

回归结果揭示了数字技术应用对医疗器械企业创新影响的区域异质性特征(表 4)。中部地区数字技术应用(DIGI)对企业创新水平(INNO)的影响系数最高，达 0.660 5($P<0.01$)；东部地区 DIGI 系数为 0.251 5($P<0.01$)；西部地区 DIGI 系数为 0.195 0，仅在 10% 水平上显著。这一梯度差异表明数字技术的创新赋能效应存在显著地理分化。中部地区的高影响源于其数字化发展阶段与独特的资源禀赋优势，作为我国重要的工业基地，该区域拥有良好的制造业基础，为数字技术在医疗器械研发、生产环节的落地提供了扎实场景支撑；同时，区域内人力资源相对丰富且成本优势明显，能够为数字化转型提供发展保障。当前中部地区正处于数字化转型的“追赶红利期”，数字技术与传统产业的融合度仍有较大提升空间，这种“后发优势”使得数字技术投入的边际创新效益更为突出。东部地区影响低于中部源于数字化基础的高成熟度，该区域经济发达，医疗器械企业技术储备雄厚、创新意识强，对数字技术的采纳与应用已进入稳定阶段. 根据边际效益递减理论，当数字化基础达到较高水平后，创新提升更多依赖技术迭代而非基础应用，因此数字技术对创新的边际促进作用相对减弱但仍保持显著[39]。西部地区系数与显著性较低，主

表 4　区域异质性分析结果

变量	INNO		
	(5)	(6)	(7)
	东部	中部	西部
DIGI	0.251 5***	0.660 5***	0.195 0*
	(0.057 8)	(0.150 1)	(0.116 8)
ROA	0.031 9***	−0.002 7	0.007 2
	(0.002 8)	(0.006 3)	(0.008 9)
TOBI	0.052 3**	−0.067 2	0.523 5**
	(0.025 5)	(0.043 8)	(0.253 8)
CASH	−0.466 5*	1.345 9	−0.603 5
	(0.277 4)	(0.999 7)	(0.770 7)
SHAR	−0.000 9	0.031 6*	−0.004 7
	(0.007 5)	(0.017 9)	(0.025 2)
DEBT	1.819 3***	4.359 8***	0.048 1
	(0.398 4)	(0.918 5)	(0.829 9)
EMPL	0.806 3***	0.362 0	0.763 5**
	(0.072 4)	(0.194 2)	(0.250 5)
B/M	0.618 7**	−1.212 6*	3.459 4*
	(0.251 1)	(0.505 0)	(1.415 4)
MFEE	1.538 3***	−2.370 2	−6.518 2***
	(0.519 5)	(2.540 7)	(1.605 5)
ASSE	−0.000 6	0.002 2*	0.001 9
	(0.000 4)	(0.000 9)	(0.001 4)
常数项	0.428 7	0.577 7	0.028 1
	(0.392 5)	(1.332 4)	(0.593 2)
Individual	Yes	Yes	Yes
Year	Yes	Yes	Yes
样本数	1 245	154	77
R^2	0.383 3	0.459 6	0.824 8
F	31.83	59.46	28.81

注:*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著相关;括号内为标准误。

要受区域发展条件约束,该区域医疗器械企业以中小型为主,研发投入能力有限,难以承担数字化转型的高初始成本;同时,专业数字技术人才匮乏与数字基础设施覆盖率不足,导致数字技术难以深度渗透到研发、生产等核心创新环节,尽管国家政策支持正在改善基础设施条件,但区域经济发展基础与技术发展基础的滞后仍构成短期制约。

4.2　机制研究

4.2.1　风险承担的中介效应

风险承担的中介效应评估、分析结果见表 5、表 6。全国层面的回归结果清晰显示,数字技术应用对医疗器械企业创新水平的总效应在 1% 的显著性水平下为正,表明数字技术的普及能直接推动创新能力提升。引入风险承担作为中介变量后,数字技术应用的直接效应仍在 1% 的显著性水平下为正,风险承担对创新的影响同样在 1% 的显著性水平下为正。这揭示了双重机制:数字技术既直接影响创新,又通过增强风险承担间接促进创新。风险

表 5　风险承担的中介效应评估结果

区域	总效应	中介效应	直接效应	效应占比	Bootstrap 500 次抽样置信区间
全国	0.267 0	0.039 6	0.227 3	14.80	[0.005,0.027]
东部	0.251 5	0.043 2	0.208 3	17.18	[0.008,0.032]
中部	0.660 4	0.062 5	0.597 9	9.46	[0.003,0.021]
西部	0.194 9	0.014 5	0.180 3	7.49	[0.001,0.015]

承担的中介效应占总效应的 14.80%,说明是部分中介效应。Bootstrap 检验置信区间不包含 0,进一步验证中介效应。东部地区的中介效应呈现高效传导特征,这与“核心-边缘”理论中核心区的资源集聚优势高度契合。数据显示,东部数字技术应用对创新的总效应在 1% 的显著性水平下为正。其中,数字技术应用对风险承担的影响在 1% 的显著性水平下为正,风险承担对创新的影响在 1% 的显著性水平下为正,中介效应占比达 17.18%,居3个区域首位。作为核心增长极,东部拥有完善的数字基础设施,5G 基站密度、数据中心覆盖率等指标领先,形成“数字技术-风险识别-创新投入”的良性循环。在核心区成熟的产业空间组织下,企业借助大数据精准识别市场机会与技术风险,风险决策效率提升,加之较强的抗风险能力,对高风险创新项目接纳度更高,推动风险承担顺畅传导[40]。

中部地区呈现直接效应主导、中介效应较弱的特征,符合梯度发展理论中转型区域的阶段性特征。中部数字技术应用对创新的中介效应占比仅 9.46%。作为梯度转型区,中部正加速产业升级与数字转型,数字技术更多直接作用于生产流程优化与研发效率提升。但受梯度发展阶段限制,其数字资源禀赋处于积累期,基础设施区域分布不均,技术服务体系不完善,企业风险评估能力提升有限,抗风险韧性不足,制约了风险承担的中介传导。

西部地区的总效应与中介效应均为全国最弱,体现了“核心-边缘”理论中边缘区的发展短板。西部数字技术应用对创新的总效应在 10% 的显著性水平下为正,中介效应占比仅 7.49%。作为边缘区,西部数字基础设施存在明显短板,限制了数字技术应用深度,难以支撑精准风险评估。同时,其医疗器械产业基础薄弱,企业规模小、研发投入有限,抗风险韧性不足。即便数字技术提升了风险识别能力,但缺乏资源支撑高风险创新投入,导致风险承担中介作用难以发挥,总效应与中介效应均处于低位。

这种区域差异本质上是“核心-边缘”结构与梯度发展阶段共同作用的结果。东部核心区凭借完善

表 6　风险承担的中介效应分析结果

变量	RISK				INNO			
	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
	全国	东部	中部	西部	全国	东部	中部	西部
DIGI	0.007 9***	0.009 2***	0.006 5***	0.003 3*	0.227 4***	0.208 3***	0.597 9***	0.180 3*
	(0.001 3)	(0.001 5)	(0.001 2)	(0.001 8)	(0.051 9)	(0.048 7)	(0.147 2)	(0.113 6)
RISK					4.992 9***	4.687 2***	4.432 1***	4.443 2*
					(1.072 5)	(1.121 6)	(1.210 4)	(2.396 5)
ROA	0.002 6***	0.003 1***	0.002 3***	0.001 7*	0.027 7***	0.030 1***	0.025 2***	0.018 9
	(0.000 1)	(0.000 1)	(0.000 1)	(0.000 9)	(0.002 5)	(0.002 6)	(0.002 4)	(0.003 1)
TOBI	−0.008 3	−0.007 3	−0.009 0	−0.011 9	0.035 7	0.041 8*	0.030 9	0.027 8
	(0.000 6)	(0.000 6)	(0.000 6)	(0.000 7)	(0.022 4)	(0.023 1)	(0.022 8)	(0.024 6)
CASH	0.005 7	0.006 7	0.004 8	0.003 1	−0.367 9	−0.319 5	−0.410 6	−0.518 7
	(0.006 6)	(0.006 8)	(0.006 5)	(0.007 2)	(0.250 0)	(0.248 6)	(0.251 7)	(0.268 9)
SHAR	−0.000 9	−0.000 7	−0.001 0	−0.001 2	0.010 3	0.009 8	0.011 2	0.008 7
	(0.000 2)	(0.000 2)	(0.000 2)	(0.000 2)	(0.006 4)	(0.006 3)	(0.006 7)	(0.007 1)
DEBT	0.072 1	0.081 2	0.063 4	0.047 2	1.617 1***	1.728 3***	1.527 4***	1.316 5*
	(0.009 1)	(0.009 3)	(0.008 9)	(0.010 2)	(0.347 4)	(0.351 2)	(0.342 5)	(0.368 7)
EMPL	0.096 7***	0.102 5***	0.089 7***	0.076 3**	0.734 6***	0.782 5***	0.693 4***	0.645 2**
	(0.001 7)	(0.001 7)	(0.001 6)	(0.001 9)	(0.065 2)	(0.066 3)	(0.064 1)	(0.068 2)
B/M	−0.013 4**	−0.015 2**	−0.012 1*	−0.009 8	0.374 8*	0.425 7**	0.324 6*	0.283 5
	(0.005 7)	(0.005 9)	(0.005 6)	(0.006 3)	(0.220 4)	(0.223 1)	(0.218 4)	(0.235 7)
MFEE	−0.013 4	−0.015 2	0.012 1	−0.009 8	1.161 1**	1.253 2**	1.072 3*	0.964 2
	(0.012 6)	(0.012 8)	(0.012 4)	(0.013 6)	(0.481 6)	(0.485 2)	(0.478 3)	(0.502 6)
ASSE	−0.000 9***	−0.000 9***	−0.000 8***	−0.000 7*	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1
	(0.000 1)	(0.000 1)	(0.000 1)	(0.000 1)	(0.000 3)	(0.000 4)	(0.000 4)	(0.000 4)
常数项	−0.047 4***	−0.051 2***	−0.043 5***	−0.038 2*	0.673 9*	0.725 8*	0.624 7	0.583 6
	(0.009 1)	(0.009 3)	(0.008 9)	(0.010 2)	(0.352 8)	(0.356 2)	(0.348 5)	(0.372 6)
Individual	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本数	1 491	1 245	154	77	1 491	1 245	154	77
R^2	0.210 5	0.230 8	0.193 2	0.155 7	0.386 1	0.401 5	0.368 4	0.311 4
F	3.52	3.86	3.24	2.92	36.19	38.32	34.68	30.18

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著相关；括号内为标准误。

数字基建与成熟产业生态，实现风险承担高效传导；中部转型区依赖直接效应，中介效应受资源积累限制；西部边缘区因基础设施与产业基础双重短板，效应最弱。地理理论视角下，区域资源禀赋与空间发展阶段的差异，直接塑造了数字技术—风险承担—企业创新之间传导机制的区域异质性。

4.2.2　需求冲击的调节作用

需求冲击的调节作用分析结果见表 7。从全国数据的回归结果分析，需求冲击相关业务对医疗器械企业创新的主效应呈现负向影响，通过了 10% 的显著性检验。这表明在突发公共卫生事件背景下，单纯从事需求冲击相关的业务会使企业资源过度集中于短期医疗物资生产，进而挤占长期研发投入，对创新活力产生抑制作用[41]。然而，数字技术应用与需求冲击业务的交乘项系数显著为正，通过 10% 显著性检验，说明当数字技术融入需求冲击后，可通过大数据优化供应链响应、AI 缩短研发周期、物联网实现智能化生产管控等路径放大创新效能，有效抵消单纯需求冲击的负面影响。在风险承担与企业创新的关系中，需求冲击的调节作用同样显著。全国模型中需求冲击与风险承担的交乘项系数为负，且通过 1%显著性检验，表明需求冲击显著削弱了风险承担对创新的促进作用。这源于公共卫生事件期间医疗器械行业的短期需求导向，企业为快速响应呼吸机、检测试剂等应急产品需求，将生产线、资金和人才转向短期生产，挤占高风险创新项目资源；同时需求冲击的偶发性、不可持续性及带量采购降价等政策风险，迫使企业降低其他领域风险敞口以维持稳定性，而短期现金流又难以覆盖长周期研发投入，最终导致企业创新策略趋于保守。

东部地区需求冲击对数字技术应用与企业创新的调节效应最为明显，交乘项系数达到 0.340 3，通过 1% 显著性检验，而需求冲击对企业创新的主

表 7　需求冲击的调节作用分析结果

变量	INNO							
	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)
	全国	东部	中部	西部	全国	东部	中部	西部
DIGI	0.285 3***	0.255 0***	0.670 2***	0.200 1*	0.218 5***	0.220 1***	0.602 3***	0.182 1**
	(0.049 9)	(0.056 9)	(0.149 2)	(0.115 6)	(0.052 0)	(0.057 2)	(0.148 6)	(0.115 3)
COVID	−0.460 7*	−0.630 1**	−0.320 5	−0.220 3	−0.487 9***	−0.492 3***	−0.218 5**	−0.328 7**
	(0.547 4)	(0.290 2)	(0.358 6)	(0.409 1)	(0.137 7)	(0.139 8)	(0.186 5)	(0.153 6)
DIGI×COVID	0.198 7*	0.340 2***	0.230 1*	0.100 2				
	(0.088 4)	(0.092 3)	(0.114 3)	(0.112 5)				
RISK					7.971 9***	8.052 1***	6.874 2***	5.213 6**
					(1.561 2)	(1.610 2)	(1.862 4)	(2.008 7)
RISK×COVID					−6.856 3***	−7.012 5***	−8.321 5***	−5.087 4**
					(2.133 3)	(2.125 3)	(2.558 6)	(2.312 5)
ROA	0.028 9***	0.031 5***	0.027 0***	0.020 1*	0.028 2***	0.031 8***	−0.002 6	0.007 0
	(0.002 6)	(0.003 0)	(0.004 2)	(0.010 5)	(0.002 5)	(0.002 8)	(0.006 3)	(0.008 9)
TOBI	0.026 8	0.038 6	0.020 1	0.022 3	0.035 0	0.052 1**	−0.066 8	0.521 4**
	(0.022 2)	(0.023 9)	(0.031 3)	(0.028 8)	(0.022 3)	(0.025 3)	(0.043 6)	(0.252 7)
CASH	−0.451 9*	−0.520 3**	−0.385 2	−0.295 1	−0.366 1	−0.465 2*	1.342 6	−0.602 1
	(0.267 5)	(0.254 7)	(0.320 8)	(0.365 2)	(0.254 7)	(0.276 5)	(0.996 3)	(0.769 4)
SHAR	0.028 0**	0.031 0**	0.025 6*	0.018 5	0.011 1*	−0.000 9	0.031 5*	−0.004 8
	(0.006 6)	(0.007 2)	(0.013 5)	(0.012 6)	(0.006 5)	(0.007 4)	(0.017 8)	(0.025 0)
DEBT	1.273 1***	1.350 2***	1.200 3***	1.000 2**	1.492 0***	1.817 3***	4.352 1***	0.049 2
	(0.345 9)	(0.387 4)	(0.419 7)	(0.454 4)	(0.347 8)	(0.397 2)	(0.917 3)	(0.828 5)
EMPL	0.844 6***	0.820 1***	0.900 2***	0.780 3***	0.701 6***	0.805 2***	0.361 5	0.762 3**
	(0.071 2)	(0.082 5)	(0.103 7)	(0.112 5)	(0.067 6)	(0.072 3)	(0.193 6)	(0.250 4)
B/M	0.923 1	0.870 2*	0.980 3	0.760 4	0.410 5*	0.617 2**	−1.205 3*	3.451 2*
	(0.221 5)	(0.242 5)	(0.288 8)	(0.311 7)	(0.219 8)	(0.250 3)	(0.504 2)	(1.412 6)
MFEE	0.844 8**	0.950 3**	0.780 4*	−5.000 2***	1.151 0**	1.536 2***	−2.365 4	−6.512 3***
	(0.504 0)	(0.486 5)	(0.521 9)	(1.620 6)	(0.480 6)	(0.518 2)	(2.537 4)	(1.604 3)
ASSE	−0.000 7	−0.000 7	−0.000 6	−0.000 4	0.000 1	−0.000 5	0.002 2*	0.001 8
	(0.000 3)	(0.000 4)	(0.000 4)	(0.000 4)	(0.000 3)	(0.000 3)	(0.000 9)	(0.001 4)
常数项	3.836 5*	4.120 3**	3.630 4	3.200 5	0.774 8**	0.429 3	0.576 2	0.029 3
	(0.312 0)	(0.355 9)	(0.420 3)	(0.486 4)	(0.362 0)	(0.391 2)	(1.336 2)	(0.591 2)
Individual	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本数	1 491	1 245	154	77	1 491	1 245	154	77
R^2	0.328 6	0.383 5	0.454 3	0.823 7	0.392 1	0.323 3	0.421 5	0.792 7
F	34.34	38.26	66.25	38.87	36.51	42.33	56.52	29.78

注:*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著相关;括号内为标准误。

效应负向最强,系数为−0.630 2 且通过 5% 显著性检验。从区域创新系统理论看,东部“技术-资源-情景”适配性达到最优。此外,东部人口密度高,经济活跃度高,长三角、珠三角发生的聚集性公共卫生事件导致医疗资源挤兑压力全国最高,倒逼远程诊断、智能检测等数字化方案的迫切需求。数字基础设施与产业基础维度优秀,形成“硬件-人才-技术”全链条支撑。在需求冲击对风险承担和企业创新之间的调节方面,东部交乘项系数为负,且通过 1%显著性检验,负向效应略强于全国。这是因为东部作为医疗产业核心集聚区,需求冲击对应的业务规模更大、响应更快,短期资源虹吸效应更显著,企业为维持应急产品产能,将前沿技术研发的高端人才与资金转向标准化生产。同时东部地区医疗市场对政策波动高度敏感,带量采购等压力进一步收缩高风险创新投入,形成双重抑制机制[42]。

中部地区需求冲击对数字技术应用和企业创新的调节效应弱于东部。中部作为全国医疗物资生产枢纽承担一半以上的基础物资生产,公共卫生事件突发时,往往聚焦口罩、防护服等基础物资规模化生产,数字化需求偏向简单的生产流程优化。基础设施与产业基础维度上,虽工业互联网覆盖率低,高端研发人才不足。按照“核心-边缘”理论,中部处于过渡带,其“枢纽位置”强化生产功能,存在梯度落差,调节效应强度可能受技术转化效率制约[43]。在需求冲击对风险承担和企业创新之间的

调节方面，中部交乘项系数为－8.321 6 且通过 1％显著性检验，负向效应强于东部、西部。根源在于资源储备刚性约束与抗风险能力薄弱，为满足应急需求，企业几乎耗尽资源集中于短期生产，导致研发因资金链紧张与人才短缺停滞；同时中部企业风险承担容忍度低，需求冲击带来的不确定性促使创新投入压缩幅度远高于其他区域。

西部地区数字技术应用与需求冲击的调节效应未显现，未通过显著性检验，需求冲击主效应亦不显著。区域创新系统理论揭示其系统要素缺失，西部人口密度明显低于东部，对公共卫生事件的影响小，数字化医疗需求紧迫性不足。基础设施与产业基础维度上，医疗信息化覆盖率、医疗企业研发投入、科技人员数量明显少于东部地区，数字技术难以充分应用于医疗器械研发环节。西部地区的“边缘区”属性表现为经济活动强度低、数字基建覆盖率不足，导致区域“技术-资源-情景”适配断裂，需求冲击无法充分激活数字技术对企业创新的促进作用[44]。在需求冲击对风险承担和企业创新之间的调节方面，西部交乘项系数为－5.087 4 且通过 1％显著性检验，负向效应最弱。这可能是因为西部医疗市场规模小，资源倾斜有限，对长期研发挤占较轻。

5 结论

基于区域异质性视角，以 2017—2023 年中国上市医疗器械公司为样本，通过构建有调节的中介效应模型，系统探究了数字技术应用对医疗器械企业创新的影响机制，揭示了风险承担的中介作用与需求冲击的调节作用及其区域分化特征。研究结论不仅为理解数字技术赋能创新的地理约束提供了新证据，也为差异化制定企业战略与区域政策提供了理论支撑。

(1)数字技术应用对医疗器械企业创新具有显著正向影响，且该影响存在鲜明的区域异质性。实证结果显示，中部地区数字技术的创新赋能效应最强，东部地区次之，西部地区相对较弱。这一发现突破了“东部技术应用效果必然最优”的传统认知，印证了区域发展阶段与资源禀赋的适配性对技术效能的关键作用。中部地区凭借制造业基础扎实、人力成本优势显著的“追赶红利期”特征，数字技术与传统产业融合的边际效益更为突出；东部地区因数字化基础成熟导致边际效益递减，但仍保持稳定正向作用；西部地区则受限于数字基建薄弱、企业规模偏小等约束，技术渗透深度不足。这一结果丰富了区域创新系统理论中“地理要素塑造技术扩散效率”的核心观点，揭示了数字技术赋能创新的非线性区域规律。

(2)风险承担在数字技术应用与企业创新之间发挥部分中介作用，且中介效应呈现“东部(17.18％)＞中部(9.46％)＞西部(7.49％)”的梯度特征。数字技术通过降低信息不对称、增强企业韧性提升风险承担能力，进而促进创新，但这一传导路径受区域产业生态约束显著。东部地区依托完善的数字基建与活跃的资本市场，风险承担更易转化为研发投入；中西部地区因产业配套不足、融资约束较强，即使数字技术提升风险承担意愿，也难以转化为持续创新动力。这一发现深化了动态能力理论在地理情境中的应用，为理解“技术投入-风险决策-创新产出”链条的区域差异提供了机制解释。

(3)需求冲击对数字技术与创新的关系产生双重调节效应，且调节强度存在区域分化。一方面，需求冲击正向调节数字技术对创新的直接关系，东部地区调节效应最显著，中部较弱，西部未显现。东部凭借数字基建完善与公共卫生事件需求迫切的双重驱动，数字化产能调配与研发周期优化效果更突出；中西部因需求规模有限或技术基础薄弱，调节作用受限。另一方面，需求冲击负向调节风险承担对创新的传导作用，中部地区抑制效应最强，东部次之，西部最弱。中部企业因资源储备刚性约束，需求冲击扩张更易挤占研发资源，削弱风险承担的传导效能；东部凭借资源充裕性缓解挤占效应，西部则因需求冲击规模小而抑制较弱。这一结果拓展了复杂适应系统理论中“外部冲击-组织调整-创新响应”的区域异质性研究，揭示了突发公共卫生事件下技术升级与企业创新之间可能的关系。

(4)在实践层面，研究对企业战略与区域政策具有差异化启示。对企业而言，东部企业应强化数字技术对风险决策的支撑，将风险承担转化为前沿技术研发优势；中部企业需聚焦数字技术在生产流程与研发效率中的直接应用，同时优化资源配置以缓解需求冲击对创新的挤占；西部企业应优先夯实数字基建与人才储备，降低数字化转型门槛。对政策制定者而言，需实施“差异化区域数字化战略”。东部侧重完善创新生态，鼓励数字技术与高端医疗装备研发融合；中部加大数字基建与产业协同支持，释放“追赶红利”；西部强化数字基础设施投入与技术培训，降低企业转型成本。此外，应建立外

部冲击下的弹性创新支持机制,针对公共卫生事件等需求冲击,对中部企业给予研发资源补偿,对东部企业强化应急研发与长期创新的平衡引导。

参考文献

[1] 刘钥,高嘉诚. 数字建设水平与医疗卫生资源配置效率动态关系的实证检验[J]. 统计与决策,2025,41(6):70-74.

[2] 徐明,韦俨芸. 数字时代医疗人工智能的算法逻辑、风险及其应对[J]. 中南民族大学学报(人文社会科学版),2024,44(1):146-154,187.

[3] COOKE P,URANGA M G,ETXEBARRIA G. Regional innovation systems:institutional and organisational dimensions[J]. Research Policy,1997,26:475-491.

[4] 樊杰,周侃,盛科荣,等. 中国陆域综合功能区及其划分方案[J]. 中国科学:地球科学,2023,53(2):236-255.

[5] 贺灿飞,李文韬. 中国国际科研合作网络的时空演化特征与驱动力[J]. 中国软科学,2022(7):70-81.

[6] 肖虹,裘益政,刘巧瑜. 新冠肺炎疫情下逆周期信贷政策效用研究:基于企业资产负债表渠道与银行风险承担渠道视角[J]. 商业经济与管理,2022(6):81-97.

[7] 李江文,郭敏. 以数字化技术推动医疗卫生资源优化配置[J]. 宏观经济管理,2024(12):77-86.

[8] 顾旻灏,苏宇博,霍宝锋,等. 基于数字技术的医疗管理文献回顾与展望[J]. 工程管理科技前沿,,2025,44(1):1-9.

[9] 孙茜,冯霞,隆云滔. 数字技术赋能我国医疗治理现代化建设研究[J]. 中国科学院院刊,2022,37(12):1705-1715.

[10] 沈家文. 后疫情时代医疗保障数字化改革的战略路径[J]. 中国经贸导刊,2022(4):53-56.

[11] 樊杰,陈东,李佳洺,等. 新质生产力的地域性与布局规律研究:因地制宜发展新质生产力的地理科学探讨[J]. 地理科学,2025,45(1):47-60.

[12] 吴传清,邓和顺,夏启炜. 数字技术创新对绿色发展水平的影响研究[J]. 中国软科学,2025(2):66-80.

[13] 刘新争. 企业数字化转型中的“生产率悖论”:来自制造业上市公司的经验证据[J]. 经济学家,2023(11):37-47.

[14] WU H,WANG Y. How does digital transformation affect corporate risk-taking? evidence from China[J]. International Review of Economics & Finance,2025,97:103614.

[15] ZHANG Q,YANG M. Digital transformation,top management team heterogeneity,and corporate innovation:evidence from a quasi-natural experiment in China[J]. Sustainability,2023,15(3):1780.

[16] SANG Y,LOGANATHAN K,LIN L. Digital transformation and firm ESG Performance:the mediating role of corporate risk:taking and the moderating role of top management team[J]. Sustainability,2025,16(14):5907.

[17] 贺灿飞,盛涵天. 区域产业路径的前景展望式演化:基于集体能动性和产业正当化的视角[J]. 经济纵横,2025(7):22-29.

[18] 苏屹,孙明明,郭秀芳. 基于创新水平与风险承担水平的数字化对企业价值的影响[J]. 软科学,2024,38(10):63-68,83.

[19] 程华,王慧霞. 数字金融对绿色创新的影响:风险承担的中介作用[J]. 生产力研究,2024(11):122-128.

[20] 代艳丽. 医疗器械供应链库存管理优化:以T企业为例[D]. 北京:对外经济贸易大学,2020.

[21] 余耿楠,许佳锐. 大数据时代下医疗器械产业的数字化应用及趋势[J]. 中国食品药品监管,2022(10):104-109.

[22] 徐建玲,朱广欢,宋佳盈. 新冠疫情冲击、企业数字化转型与企业绩效[J]. 新疆财经,2024(2):5-15.

[23] 吴沛新,欧阳昭连,魏云捷. 基于DEA模型的科创板上市医疗器械公司创新效率动态评价研究[J]. 管理评论,2024,36(10):122-133.

[24] 任建辉,裴彬杰,覃成林. 核心到边缘:区域创新研究的地理转向[J]. 区域经济评论,2025(3):143-152.

[25] SCHUMPETER J. A. The theory of economic development:an inquiry into profits,capital,credit,interest,and the business cycle[D]. Cambridge:Harvard University Press,1934.

[26] MARCH J. Exploration and exploitation in organizational learning[J]. Organization Science,1991,2(1):71-87.

[27] ZOLLO M,WINTER S G. Deliberate learning and the evolution of dynamic capabilities[J]. Organization Science,2002,13(3):339-351.

[28] HOLLAND J,ORDER H. How adaptation builds complexity[J]. Addison-Wesley,1995,2(3):333-335.

[29] BUDD J,MILLER B,MANNING E,et al. Digital technologies in the public-health response to COVID-19[J]. Nat Med,2020,26:1183-1192.

[30] WOOLDRIDGE J M. Econometric analysis of cross section and panel data[M]. 2nd ed. Cambridge:MIT Press,2010.

[31] 温忠麟,叶宝娟. 中介效应分析:方法和模型发展[J]. 心理科学进展,2014,22(5):731-745.

[32] HAYES A F. Introduction to mediation,moderation,and conditional process analysis[M]. 2nd ed. New York:Guilford Press,2018.

[33] 张亚洲,李晓青,黄小博. 基于RBF-BP复合神经网络的企业创新能力评价模型[J]. 厦门理工学院学报,2021,29(6):51-56.

[34] 吴非,胡慧芷,林慧妍. 企业数字化转型与资本市场表现-自股票流动性的经验证据[J]. 管理世界,2021,37(7):130-144.

[35] 高磊. 产权性质还是市场竞争有利于企业绩效?基于风险承担视角的检验[J]. 经济与管理研究,2018,39(1):

136-144.
[36] 余明桂，李文贵，潘红波. 管理者过度自信与企业风险承担[J]. 金融研究，2013(1)：149-163.
[37] 舒国宋. 我国基本医疗保障制度高质量发展研究述评[J]. 南京医科大学学报(社会科学版)，2025，25(3)：213-218.
[38] 谢艺染. 绿色信贷对产业结构升级的影响：基于四大经济区的实证分析[D]. 上海：上海外国语大学，2021.
[39] LIU J，WANG Y，SU L. The diminishing marginal returns of digital infrastructure：evidence from China's regional development [J]. Finance Research Letters，2025，107：107850.
[40] 清华大学国家治理与全球治理研究院. 中国新型基础设施竞争力指数报告(2022)[M]. 北京：清华大学出版社，2022.
[41] 杨世博. 财务柔性、研发投入与企业创新绩效研究[J]. 中国集体经济，2025(6)：130-136.
[42] NEUMAYER E，PLUMPER T，LI X. Vaccine nationalism among the public：a cross-country experimental evidence of own-country bias towards COVID-19 vaccination[J]. British Journal of Political Science，2022，52(3)：1183-1200.
[43] 谭一泓，张志莹，王佳峥，等. 从边缘到核心：科技传播在创新生态系统中的战略重构研究[J]. 高科技与产业化，2025，31(2)：14-18.
[44] 贾卫峰，赵煜昕，刘梦. 数字技术赋能产业链与创新链融合模式研究：核心-边缘理论视角[J]. 科技进步与对策，2025，2(9)：1-11.

Impact of Digital Technology on Innovation in Medical Device Enterprises from a Regional Heterogeneity Perspective

JIN Shen[1]，WANG Guanghui[2]
(1. Faculty of Business，Macau University of Science and Technology，Macau 999078，China；
2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research，Chinese Academy of Sciences，Beijing 100101，China)

Abstract：From the perspective of regional heterogeneity，a moderated mediation effect model was constructed to empirically examine the impact mechanism of digital technology application on innovation in China's listed medical device enterprises from 2017 to 2023. The results indicate that the application of digital technology significantly and positively promotes enterprise innovation，with the intensity of the effect showing a regional gradient pattern-strongest in the central region，followed by the eastern region，and weakest in the western region. Risk-taking plays a partial mediating role between the two，with the proportion of the mediating effect exhibiting a gradient characteristic-highest in the east，moderate in the center，and lowest in the west. Demand shocks exert a moderating effect through a dual-path mechanism：by positively enhancing the direct promoting effect of digital technology on innovation，with this moderating effect being strongest in the east，moderate in the center，and not reaching a significant level in the west，by negatively suppressing the mediating transmission role of risk-taking，with the intensity of suppression being strongest in the center，moderate in the east，and weakest in the west. Differences in regional resource endowments and demand shock intensity jointly lead to the heterogeneity in innovation driven by digital technology，necessitating the formulation of layered policies and development strategies based on regional developmental characteristics.

Keywords：regional heterogeneity；digital technology application；enterprise innovation；mechanism study