

大数据技术能否提升企业供应链效率?

蔡蒙 谢建国

摘要:在数字经济时代,大数据技术逐渐成为提升企业供应链管理能力的的重要手段。本文构建了企业大数据技术和供应链效率的测度指标,深入探讨了大数据技术如何提升供应链效率。研究表明,大数据技术应用提升了供应链效率,其主要作用机制包括创新韧性的增强、企业敏捷响应度的优化以及生产经营效率的提升。经内生性分析和稳健性检验后,本文的主要结论依然成立。进一步分析发现,大数据技术对提升供应链效率的作用在供应链中断风险较低以及供应链集中度较低的企业中更加明显。本文的研究不仅丰富了数字经济背景下企业大数据技术应用对供应链管理的理论和实证研究,也为企业利用大数据技术促进供应链企稳增效提供了政策启示和实证参考。

关键词:大数据技术 供应链效率 创新韧性 敏捷响应度 生产经营效率

中图分类号:F270;F746

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2026)03-0085-14

一、问题提出

党的二十届四中全会审议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》将“重要产业链供应链、重大基础设施安全”作为加强重点领域国家安全能力建设的重要内容。在不确定性因素持续上升的背景下,如何在保障产业链供应链安全的同时提升其运行效率,已成为关系企业竞争力形成和宏观经济平稳运行的关键问题。近年来,全球生产网络不断深化,供应链结构愈发复杂,外部冲击呈现出频发和多样化的特征,对企业在生产组织和风险应对等方面提出了更高要求^[1]。特别是在需求波动加剧和要素价格不稳定的情况下,传统依赖经验判断和事后调整的管理方式,已难以支撑企业实现高效运转。由此,提升供应链运行效率,增强企业对复杂环境变化的适应能力,成为推动产业体系稳定运行和高质量发展的现实需要。

在上述背景下,围绕数据采集和数据分析形成的大数据技术,为企业优化供应链管理提供了新的技术基础。从生产要素属性看,数据本身具有可重复利用和边际成本较低的特征,其经济价值的实现依赖于相应技术手段的有效应用^[2]。通过大数据技术,企业能够对生产和交易等环节形成更为连续和精准的认识,从而改善决策过程并提升运营效率。随着相关技术不断成熟,其在供应链管理中的应用范围持续拓展,不仅有助于企业提高对运行状态的感知能力,也为优化资源配置和流程衔接提供了条件。因此,从企业层面

收稿日期:2025-08-10; 修回日期:2026-02-01

基金项目:国家社会科学基金重点项目“全球化与逆全球化问题研究”(24AZD050)

作者简介:蔡蒙 南京大学商学院博士研究生,南京,210093;

谢建国 南京大学商学院教授、博士生导师,通信作者。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

考察大数据技术应用是否能够提升供应链效率,对于深化数字化背景下企业行为调整的理解具有重要的理论价值和现实指向。

基于中国上市公司数据,本文系统考察企业大数据技术对供应链效率的影响及其作用机制。相较于已有研究,本文的边际贡献主要体现在三个方面。第一,本文从企业供应链运行视角出发,将大数据技术应用引入供应链效率分析框架,重点关注其在缓解不确定性冲击、改善跨环节协调方面的作用机制,为理解数字技术如何重塑企业内部与外部协同提供了新证据。第二,本文在企业层面构建了反映大数据技术应用程度的度量指标,并结合上游投入保障、中游生产运作和下游履约表现等维度,系统测度了企业供应链效率指标,丰富了数字技术和供应链管理研究的测度内容。第三,本文从企业供应链运行特征出发,对大数据技术应用影响供应链效率的内在作用机制进行了系统梳理和实证检验,并围绕企业在不确定环境下面临的响应约束和资源配置问题,构建了相对清晰的机制分析框架,拓展了现有关于数字化和供应链管理关系的研究边界。

二、文献综述

(一) 企业大数据技术应用

随着信息网络技术的快速发展,现代社会进入了大数据时代。大数据指的是规模超出传统数据库软件工具捕获、存储、管理和分析能力的数据集,其经典特征包括数据体量庞大、数据类型丰富、处理速度快、价值密度低但商业价值高以及数据真实性等,这些特征不仅体现了大数据的复杂性,也为其在多个领域的广泛应用打下了基础^[3]。从全球视角来看,大数据的广泛应用已经在经济、金融等领域引起了各界的高度关注,为各类组织提供了通过智能化分析优化决策的工具。在新发展理念的指导下,中国的大数据产业取得了显著进展^[4]。大数据正在深刻改变传统的生产方式和经济运行机制,推动经济运行水平和效率的提升,成为促进经济转型和增强国家竞争力的重要动力^[5]。

在数字经济时代,大数据已成为企业竞争的关键资源,通过技术赋能推动企业实现价值创造^[6],大数据不仅增强了企业的动态能力,还改善了其业务模式和核心能力,帮助企业适应快速变化的市场环境^[7]。作为新的生产要素,大数据通过与传统生产要素的结合,推动了企业的产品创新,并显著提升了企业的创新能力和产品创新绩效。其次,大数据在企业实践中对市场价值产生了显著的正向作用,特别是规模较大、盈利能力强且有形资产比例低的企业更容易应用大数据,通过提高生产效率和加大研发投入推动企业市场价值增长^[8]。大数据还在资本市场中展现了重要影响,通过改善信息不对称、增强市场预期并促进研发与创新绩效,从而显著提升企业股票流动性^[9]。在供应链金融创新方面,大数据与区块链技术的结合,通过共识机制确保交易数据的透明性和安全性,进一步推动了去中心化和普惠金融^[10]。在环境、社会与治理(ESG)领域,大数据技术应用显著提升了企业的ESG评价,并为企业在数字化转型过程中提供了宝贵的经验和实践支持^[11]。

(二) 供应链效率

提升供应链效率已成为实现经济高质量发展和应对复杂市场环境的关键议题。现有研究从多个角度探讨了供应链效率的影响因素及机制。首先,贸易便利化被证明是提升供应链效率的重要推动力。研究发现,贸易便利化通过缩短采购提前期和降低不确定性,降低了出口企业库存水平,尤其是在全球价值链嵌入较深的企业中效果更为明显^[12]。其次,交通基础设施的发展,特别是高铁的开通,进一步提升了供应链效率,通过提升生产效能、拓展销货市场和增强信息共享,提高了企业库存周转率,尤其在国有企业、成长期企业和供应链下游企业中表现尤为明显^[13]。城市群的形成也通过释放经济结构潜能,优化了供应链效率。研究发现,城市群的获批削弱了交通和行政壁垒,提升了企业的信息流和物流效率,但对上游企业的资金流效率有所抑制^[14]。此外,数字技术的应用提高了供应链效率,特别是在高新技术企业和竞争激烈的行业中,通

过提升供需匹配精准度并降低外部交易成本,推动了供应链效率的提升^[15]。

(三) 企业大数据技术应用和供应链的关系

在数字经济时代,企业数字化转型被认为是提升供应链效率和增强供应链韧性的关键手段。数字化转型能够优化供应链配置、提升多元化水平并降低上下游交易中的协调成本,从而提升供应链整体效率^[16]。特别是在不确定的经济环境中,企业利用数字化技术推动供应链多样化配置,为产业链供应链的安全及韧性提升提供微观依据^[17]。数字化转型对供应链的影响,体现在优化供需匹配、提升供应商创新能力和增强供需关系稳定性方面。这些途径不仅有助于提升上游企业生产率,还促进了产业链供应链的纵向协同^[18]。此外,数字化转型还表现出后向溢出效应,在不同产业环境中具有显著异质性^[19]。

与数字化转型相比,企业大数据技术应用不仅要求管理者灵活使用大数据技术提炼有用知识,还需结合机器智能与人类智慧,优化决策过程。通过大数据技术提供的全局视角,管理者能够做出更精准的决策,并通过人机协作模式释放大数据技术应用的多元价值^[20]。大数据技术在供应链中的应用,尤其在需求预测、库存管理和供应链优化方面,显著提升了供应链效率,特别是在大规模企业和股权集中度较高的企业中,效果更为显著^[21]。然而,目前关于企业大数据技术应用与供应链效率之间的关系研究较少。

梳理已有研究,本文发现关于企业大数据技术应用和企业供应链效率的研究存在三方面不足。首先,对大数据技术应用与供应链效率关系的探讨不足。尽管部分研究分析了数字化转型和供应链效率的关系,但对企业如何利用大数据技术在供应链优化中提升效率的系统性研究仍然匮乏。其次,未充分揭示大数据技术应用的多维作用机制。现有文献多集中于大数据技术应用对单一维度的作用,缺乏对其在增强供应链效率方面的综合性作用机制的系统分析。最后,企业层面实证研究的欠缺。现有研究更多关注宏观层面或行业层面的供应链问题,而基于企业层面的微观实证研究相对较少。鉴于上述不足,本文将从企业大数据技术应用的视角出发,系统分析其对供应链效率的影响机制,为丰富相关领域的理论与实践提供参考。

三、理论分析与研究假设

(一) 企业大数据技术应用对供应链效率的直接影响

企业大数据技术应用正在重构供应链运行中的信息获取与资源调度机制。在传统供应链体系中,企业往往依赖有限的信息来源进行预测与决策,数据更新频率较低^[22],且不同环节的数据记录方式存在差异,往往导致计划执行出现偏差。在此情况下,只要某一节点出现压力积聚,上下游就可能出现衔接失衡,进而影响供应链整体运行稳定性。随着大数据技术应用的深化,企业能够基于大量持续积累的经营信息提取关键内容,从而对供应链运行状态形成更加全面的认知。这一信息基础的改善,使企业能够更准确地识别需求趋势与运行压力所在,提高计划安排的有效性和准确性^[18]。信息质量提升后,供应链在计划执行中出现的偏差概率显著降低,资源浪费现象随之减少,整体运行效率得到改善。因此,大数据技术应用为企业制定和调整生产安排提供更可靠的信息支持,从根本上缓解管理层对不完全信息的依赖,使供应链运行更加稳健和清晰。

在信息基础得到改善的条件下,大数据技术应用进一步促进供应链内部各环节的协同效率提升。供应链是一种高度依赖协同的系统,上下游在计划与执行过程中紧密关联,一旦某一节点出现延滞,其他环节便可能受到牵连,导致资源使用效率下降^[23]。大数据技术显著提升信息传递速度,使企业能够及时掌握供应链运行过程中的关键动态,从而减少因信息滞后产生的沟通与等待成本。随着数据共享水平提升,上下游之间的计划衔接愈加顺畅,供应链整体运行呈现出更强的连续性与可预测性。例如,在市场需求发生变化时,大数据分析可帮助企业提前调整关键准备工作,减少突发波动对供应链稳定性的影响。在更充分的信息基础上,订单执行过程更加顺畅,交付表现更加稳定,企业对市场变化的反应能力也得到强化。综上,大

数据技术应用提升了供应链运行的基础条件和执行质量,使系统能够以更低的成本和更短的周期完成生产与交付任务,从而显著提高供应链效率。

基于以上分析,本文提出假设 1:大数据技术应用能够提高企业供应链效率。

(二) 企业大数据技术应用对供应链效率的作用机制

1. 创新韧性机制

企业大数据技术应用为持续创新和内部改进提供了更坚实的基础,从而增强创新韧性,改善供应链运行表现。创新韧性强调企业在外部环境波动或内部资源压力加剧时,依然能够保持持续改进和创新行动的能力。在传统条件下,由于信息获取受限,创新活动常常受到多方面约束,使企业难以在复杂情境中保持稳定的改进节奏^[24]。大数据的引入显著缓解了上述限制。企业在大数据支持下能够对经营活动形成更系统的记录与分析,从而构建有利于识别改进方向的创新环境。基于这一基础,技术更新与流程调整更具针对性。在更为完善的数据基础上,企业能够及时识别供应链运行中的结构性约束,并据此推进局部改进,降低信息滞后造成的决策偏差^[25]。随着数据基础不断增强,企业在组织调整与技术开发方面的判断依据更加充分,创新活动能够在不确定环境中持续推进。当企业在复杂情境中仍能保持改进能力时,供应链运行效率也更易呈现持续改善的趋势。

创新韧性的增强还反映在企业面对突发冲击时的调整能力上。当外部环境突然变化时,缺乏及时信息的企业往往难以及时调整生产安排,从而导致供应链各环节出现偏离^[16]。而在大数据支持下,企业能够在较短时间内识别关键运行信息的变化,并据此迅速采取调整措施。在此基础上,企业能够降低突发冲击带来的损失,并通过及时调整生产安排和资源配置,避免供应链运行出现进一步失衡。在冲击情境中仍能保持创新行动并维持供应链运行水平,正是创新韧性发挥作用的具体表现。此外,大数据支持下的持续反馈机制,使企业能够更清晰地识别供应链长期运行中的关键约束,为形成更具前瞻性的改进路径提供基础。这一持续性过程有助于企业在内部改进中形成累积效应,使供应链在更稳定的结构下运行,并呈现更高的效率水平。

基于以上分析,本文提出假设 2:大数据技术通过提升企业的创新韧性,提高企业供应链效率。

2. 企业敏捷响应度机制

企业大数据技术应用能够显著提升敏捷响应度,这一能力在供应链效率改善中具有关键作用。敏捷响应度的核心在于企业在运行条件出现变化时,能够在较短时间内识别问题并及时调整,从而避免供应链环节产生持续偏离。在信息匮乏的情境中,企业往往难以及时发现关键运行环节的潜在失衡,导致供应链运作效率下降^[26]。而在大数据条件下,企业能够通过关键节点的运行变化进行实时监测,进而在更短时间内识别运行异常。例如,企业在生产组织过程中积累的大量历史数据与实时数据,为管理层提供了较为可靠的判断基础,使其能够及时识别运营中出现的偏离迹象。随着监测体系的不断完善,企业从识别异常到落实调整的整体速度显著提升,使供应链在运行波动中保持相对稳定^[27]。在这种情境下,敏捷响应度的提升不仅体现为信息处理速度加快,也使供应链运行节奏能够得到更有效的维护,使企业通过及时协调实现更合理的资源配置。

敏捷响应度的增强还体现在企业应对外部市场变化的能力上。在外部条件变化较快的情境中,供应链效率往往更容易受到影响,尤其是在企业未能及时调整生产结构与资源配置时,供应链各环节易出现不同形式的运行失衡^[28]。大数据的应用为企业提供了更为清晰的外部变化识别基础,使其能够结合历史需求规律、产品替代性和行业结构变化,形成对未来趋势更有依据的判断。当企业能够及时结合这些趋势信息调整生产计划与采购策略时,供应链整体的运行结构就能够得到稳定维护。此外,敏捷响应度的提升有助于企业在与供应商协同过程中保持更高的执行效率。企业能够基于实时数据向供应商传递订单变化与需求

预测信息,从而减少信息不一致导致的协同偏差,促使供应链在动态环境中实现更具弹性的运行模式^[29]。随着这种协同基础的增强,供应链在面对外部冲击时通常能保持更稳健的运行状态,供应链效率也因此得到进一步提升。综上,敏捷响应度在供应链效率提升中的作用既体现在短期运行条件调整上,也关系到供应链长期运行的稳定性。

基于以上分析,本文提出假设3:大数据技术通过提升企业敏捷响应度,提高企业供应链效率。

3. 生产经营效率机制

生产经营效率反映了企业在既定资源条件下实现预期产出的能力,是衡量其内部管理质量的重要指标^[30]。在供应链运行过程中,生产环节若出现效率失衡,往往会沿着链条引发连锁反应,从而影响整体运作状态。当企业缺乏系统化的信息处理能力时,难以对关键运行任务作出有效判断,可能导致运行节奏失调、资源使用分布不均等情况。大数据技术为改善这一局面提供了新的基础。企业能够依托长期积累的运营数据构建更清晰的流程识别体系,通过对生产链条的深入分析识别影响效率的核心节点。例如,在生产计划安排中,大数据分析能够将历史产能利用规律与实时订单变化结合使用,使排产调整更为精确^[31]。此外,在物料组织方面,企业可以通过数据监测及时发现供料节奏和生产需求节奏之间的细微偏离,并通过提前调整避免出现等待性停工。在成本管理中,数据分析有助于识别资源使用的结构性特征,使内部管理更加依托证据而非经验判断。随着这些数据基础不断完善,生产经营效率能够在稳定运行中逐步提升,为供应链效率提供更为坚实的支撑。

生产经营效率的提升还体现在企业对外部环境变化的适应能力上。在外部条件变化较快时,供应链运行往往更容易受到影响,而企业能否及时调整内部运行结构,将直接决定供应链的连贯性^[32]。当企业具备大数据支撑的分析能力时,能够结合历史数据和实时信息,对外部变化可能引发的运行偏离作出更准确的判断,并提前在组织安排或资源分配方面进行调整。随着数据体系的不断丰富,企业能够形成更为成熟的运营监测模式,通过持续追踪关键指标的变化避免因滞后调整导致的效率下降。同时,大数据分析能够改善生产链条内部的衔接状况,使管理消耗减少,内部协调水平提高,使企业在变化条件下仍能保持较高运行稳定性^[33]。随着这种稳定性的不断增强,供应链的整体运作节奏能够得到有效维持,使企业在更复杂的市场环境中仍能保持较高质量的供应链表现。因此,生产经营效率的提升不仅体现为内部管理能力的改善,也构成了推动供应链效率持续提升的重要结构性基础。

基于以上分析,本文提出假设4:大数据技术通过提升企业的生产经营效率,提高企业供应链效率。

四、实证设计

(一) 样本选取和数据来源

本文以2010—2023年中国上市公司为研究对象,基于多源数据构建企业层面的面板数据。具体而言,上市公司基本财务信息和公司治理指标来自深圳希施玛数据科技有限公司CSMAR中国经济金融研究数据库和万得(Wind)数据库,为供应链效率测度提供了可靠的数据支撑;企业大数据技术应用指标来源于上市公司年度报告文本,用以测度企业在大数据技术方面的投入强度和应用水平。在对样本数据进行清洗并处理极端值后,最终形成用于实证分析的研究样本数据。

(二) 模型设定

为考察企业大数据技术应用对供应链效率的影响,本文设定了如下双向固定效应回归模型:

$$Efficiency_{it} = \alpha + \beta BDTECH_{it} + X'_{it}\gamma + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $Efficiency_{it}$ 表示企业 i 在 t 年的供应链效率综合指数; $BDTECH_{it}$ 表示企业 i 在 t 年大数据相关技

术的应用程度; X' 表示控制变量向量; μ_i 和 ν_i 分别表示企业固定效应和年份固定效应; ε_{it} 为随机扰动项。

在基准回归的基础上,本文进一步构建机制检验模型,以考察企业大数据技术应用影响供应链效率的内在作用路径。具体而言,本文重点检验企业大数据技术应用是否影响相关机制变量,从而识别其潜在的传导渠道。相应的机制检验模型设定如下:

$$Mechanism_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 BDTECH_{it} + X'_{it}\gamma + \mu_i + \nu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, $Mechanism_{it}$ 表示机制变量,分别包括创新韧性、企业敏捷响应度和生产经营效率。若 α_1 在统计上显著,且结合基准回归中企业大数据技术应用对供应链效率的促进作用,可以认为大数据技术应用通过相应机制对企业供应链效率产生了影响。

(三) 变量说明

1. 被解释变量:供应链效率

本文以企业在供应链不同环节的表现作为供应链效率的衡量基础,通过构建涵盖上游投入保障能力、中游生产运作水平和下游交付履约表现的综合指标,系统刻画企业供应链运行状况。供应链的核心特征在于跨环节协同,单一财务周转类指标难以全面反映企业在供应端、生产端与客户端之间的整体协调程度。因此,本文将供应链效率拆分为若干在上市公司层面可以客观获取且在理论上具有明确指向的指标,并采用熵权法构建综合指数,以提高指标体系的解释力。

第一,上游供应维度。本文选取应付账款周转率作为投入保障能力的主要衡量指标。该指标反映企业在采购环节的赊购安排与支付节奏,体现企业在保障投入供应等方面的运作状况。周转速度越快,说明企业能够更有效地完成采购结算,有利于形成相对稳定的供货渠道,减轻支付环节对物料供应连续性的约束,从而提升上游环节的运作质量。第二,中游生产维度。本文采用营业成本周转率来反映企业在生产环节的运作状态。与仅关注库存存量的指标相比,营业成本周转率能够综合体现物料消耗与产成品形成等环节的整体表现,并在此基础上反映成本回收过程,更加贴近生产过程的实际运行。该指标在给定成本投入水平下揭示资金循环的速度与资源转换的成效,数值越高,说明企业在生产组织和成本管控方面的衔接更加顺畅,有助于缩短生产周期、降低占用资金规模,为供应链其他环节的顺利衔接创造条件。第三,下游交付维度。本文选取应收账款周转率来衡量下游履约表现。该指标体现企业在产品交付与货款回收等活动中的运作节奏,并兼顾客户关系维护,是反映客户端运行状况的重要财务变量。周转速度越快,表明企业能够更及时地完成订单结算,并在客户服务中保持较高的履约水平,从而提升终端环节的稳定性。

在上述三个维度的基础上,本文采用熵权法构建供应链效率综合指数。首先,对各单项指标进行区间标准化处理,使其处于统一的量纲区间内;其次,根据各指标在样本中的离散程度计算熵值和信息冗余度,据此确定客观权重;最后,按照权重对各指标进行加权求和,得到企业年度供应链效率指数。

2. 核心解释变量:企业大数据技术应用水平

参考柏淑嫒等^[11]的方法,本文基于2010—2023年沪深A股上市公司年报文本数据,采用文本分析技术构建企业大数据技术应用水平的代理指标。

首先,在文本范围的选择上,本文将年报中的管理层讨论与分析作为识别主体。该部分内容通常涉及经营过程中的关键事项,能够较真实地呈现企业在信息化建设方面的投入与实践。为提升文本质量,本文对原始年报进行统一处理,包括清除格式性残留并将内容转换为简体中文,以确保分词处理的准确性。其次,在关键词体系构建方面,本文综合政策文件、技术文献和行业实践,形成覆盖数据采集、存储、分析与建模等关键环节的词库,包括“大数据”“数据挖掘技术”“数据处理”“数据架构”“机器学习”等关键词。在文本识别环节,本文使用程序化方法对处理后的年报文本进行分词,并在精确匹配基础上统计每家企业在每一年中所有关键词的出

现次数。为验证指标的稳健性,本文在不同词库范围下重新计算企业大数据技术应用水平,所得结果与基准测度基本保持一致,表明该指标具有较高的稳定性与可靠性。综合上述步骤,本文得到企业层面的大数据技术应用指标。该指标数值越高,表示企业在经营活动中披露与大数据相关的应用越充分。

3. 控制变量

本文选取企业层面的控制变量。企业年龄(*age*),以当年年份减去企业上市年份后进行度量,企业上市时间越长,其生产组织与管理体系通常更为成熟,可能在应对外部冲击和维持供应链运行方面具有一定优势,因此有必要控制企业生命周期因素。企业性质(*soe*)为虚拟变量,若企业为国有企业则取值为1,否则为0,用以控制不同所有制企业在治理结构和经营目标方面的差异。营业收入增长率(*growth*),采用当期营业收入相对于上期营业收入的增长率进行衡量,反映企业的扩张能力和市场表现,其可能影响其在供应链中的地位及运行效率。股权制衡度(*balance*),以第二至第五大股东持股比例之和与第一大股东持股比例之比进行衡量,反映企业内部股权结构的制衡程度。市净率(*pb*),以企业每股市场价格和每股净资产的比值表示,用以刻画企业在资本市场中的估值水平。账面市值比(*bm*)由企业账面价值除以其总市值得到,用于刻画企业价值评估的相对保守程度或成长性特征。

(四) 主要变量描述性统计

主要变量的描述性统计结果如表1所示。从表1可知,大数据技术应用水平的均值为0.5115,标准差为0.9298,说明不同企业在大数据技术应用深度和数字化嵌入程度方面存在较为明显的差异。供应链效率的均值为0.1182,标准差为0.3462,表明样本企业在供应链运行表现上存在一定的异质性。其余变量的取值范围和分布特征总体较为合理,也与已有相关研究的结果基本相符。

表1 描述性统计结果

变量类型	变量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	<i>Efficiency</i>	0.1182	0.3462	-0.8426	1.6783
解释变量	<i>BDTECH</i>	0.5115	0.9298	0.0000	2.9650
控制变量	<i>age</i>	11.6842	6.9710	1.0000	30.0000
	<i>soe</i>	0.3422	0.4740	0	1
	<i>growth</i>	0.1224	0.3871	-0.6122	2.8463
	<i>balance</i>	0.8122	0.5369	0.0714	3.4268
	<i>pb</i>	2.4171	1.9860	0.3128	12.6843
	<i>bm</i>	0.5028	0.3276	0.0426	1.9825

五、实证结果与分析

(一) 基准回归

企业大数据技术应用对企业供应链效率的影响结果如表2所示。列(1)在控制变量的基础上进行估计,但未控制企业固定效应与年份固定效应;列(2)进一步引入了企业固定效应和年份固定效应,以增强识别的精确性。从回归结果来看,在列(1)中,大数据技术应用的回归系数为0.0407,且在1%水平下显著,初步表明大数据技术应用提升了企业的供应链效率。在列(2)中,控制了企业固定效应、年份固定效应后,大数据技术应用的回归系数为0.0386,显著性依然保持在1%水平,且系数估计基本稳定。这说明,大数据技术应用对企业供应链效率的正向影响具有较强的稳健性。就控制变量而言,相关指标对供应链效率具有一

定解释力,估值相关变量的影响相对有限,整体结果具有较好的合理性。总体而言,基准回归结果为本文研究假设 1 提供了直接证据,即大数据技术应用能够促进企业供应链效率的提升。

表 2 基准回归结果

变量	(1)	(2)
<i>BDTECH</i>	0.040 7*** (0.008 5)	0.038 6*** (0.013 5)
<i>age</i>	0.001 8* (0.001 0)	0.002 1* (0.001 2)
<i>soe</i>	-0.004 2 (0.006 0)	-0.015 3 (0.012 5)
<i>growth</i>	0.020 1*** (0.005 4)	0.030 5*** (0.007 6)
<i>balance</i>	0.028 9** (0.012 8)	0.018 3*** (0.006 2)
<i>pb</i>	0.001 9*** (0.000 6)	0.002 2*** (0.000 7)
<i>bm</i>	-0.024 2** (0.010 9)	-0.027 2** (0.013 1)
企业固定效应	未控制	控制
年份固定效应	未控制	控制
观测值	20 342	20 342
R^2	0.462 1	0.667 2

注:括号内统计量为标准误,*、**和***分别代表估计值在10%、5%和1%水平下显著。后表同。

率的估计系数为0.027 9,且在5%水平下显著,表明在控制潜在内生性问题后,大数据技术应用对供应链效率的正面影响依然存在。进一步的弱工具变量检验也表明模型不存在明显的工具变量弱相关问题。Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量远大于在10%统计水平上的临界,说明工具变量具有较强识别力;Kleibergen-Paap LM 统计量的 P 值为0.000 0,拒绝了工具变量不可识别的原假设。综合来看,工具变量法的估计结果从经验层面支持了大数据技术应用提升供应链效率的因果推断,表明前述基准回归结论受内生性影响较小。

2. 倾向得分匹配

为进一步增强因果识别的可信度,本文在工具变量法基础上,引入倾向得分匹配作为补充识别策略,通过改善处理组与控制组的可比性,缓解由可观测特征差异导致的选择偏误。具体而言,首先基于企业特征变量构建倾向得分,并采用一对一最近邻匹配和核匹配两种方法对企业样本进行再配对。上述处理有助于在可观测维度上找到特征相近但大数据技术应用水平存在差异的企业组别,使匹配后的样本在分组上更接近准随机状态,从而提高估计结果的稳健性。随后,在匹配后的样本基础上重新进行固定效应回归,检验在排除可观测异质性因素影响后,大数据技术应用是否仍然能够提升供应链效率。表 3 报告了最近邻匹配与核匹配后的估计结果。可以看到,匹配后的大数据技术应用系数仍显著为正,并且在方向和数值上与基准回归结果基本一致。这说明企业之间原有的可观测特征差异并未主导估计结果,大数据技术应用提升供应链效率的结论在可比较

(二) 内生性分析

1. 工具变量法

为解决可能的内生性问题,本文采用工具变量法进行识别。具体选择 1995 年长途光缆线路密度作为工具变量 (IV)。一方面,该变量是中国早期通信基础设施的重要组成部分,能够反映城市在互联网接入和数据传输方面的初始禀赋,与后续数字基础设施发展以及企业数字化能力之间存在较为显著的路径依赖关系。另一方面,1995 年的光缆建设主要由当时的国家通信战略安排和自然地理条件所决定,其形成时间早于企业现代供应链管理体系的建立,与当前企业供应链效率不存在直接因果联系,难以通过其他未观测渠道系统性影响供应链效率,因此在理论上能够满足排他性要求。

工具变量回归结果见表 3。表 3 列(1)报告了第一阶段回归结果,1995 年光缆密度的回归系数为 0.062 3,且在 1%水平下显著,说明该工具变量与企业大数据技术应用之间具有较强相关性。表 3 列(2)给出了第二阶段回归结果,大数据技术应用对供应链效率

本上依然稳健成立。综合工具变量估计与倾向得分匹配的双重识别策略,可以在较大程度上排除反向因果和样本选择性带来的偏误,从而进一步提高本文推断的可靠性。

表3 内生性分析回归结果

变量	工具变量法		倾向得分匹配法	
	第一阶段回归	第二阶段回归	最近邻匹配	核匹配
<i>IV</i>	0.0623*** (0.0091)			
<i>BDTECH</i>		0.0279** (0.0121)	0.0261*** (0.0085)	0.0302*** (0.0109)
控制变量	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	20342	20342	16372	15883

(三) 稳健性检验^①

为检验基准回归结论的稳健性,本文采用多种方法进行稳健性检验。首先,为缓解潜在的反向因果关系并增强时间逻辑一致性,进一步采用滞后一期的大数据技术应用变量进行回归估计,结果表明前期大数据投入对当期供应链效率仍具有促进作用,说明相关影响具有一定的持续性。在误差结构处理方面,考虑到企业可能受到所在城市共同环境因素的影响,本文将标准误聚类至城市层面,调整后核心解释变量的回归系数仍在统计上显著,符号方向与基准回归一致。其次,在样本选择方面,通过剔除存在极端供应链表现和数据质量存疑的企业后重新估计模型,结果显示大数据技术应用对供应链效率的正向影响并未受少数异常样本所驱动。最后,考虑到重点城市在数字经济基础设施和政策支持方面可能存在系统性优势,本文仅保留非关键城市企业样本进行回归估计,发现核心结论在资源条件相对有限的城市中依然成立。综合上述多种稳健性检验结果可以看出,本文关于大数据技术应用提升企业供应链效率的结论具有较好的稳健性。

六、进一步分析

(一) 机制分析

为进一步理解企业大数据技术应用影响供应链效率的内在逻辑,本文从供应链运行特征出发,对其潜在作用机制进行分析。具体而言,本文重点考察企业大数据技术应用是否显著改变企业在创新调整和响应节奏等方面的组织行为特征,并结合基准回归结果,对相关机制在供应链效率提升过程中的传导作用进行分析。

1. 创新韧性

在供应链运行过程中,企业不仅面临需求波动和要素价格变化,还需要持续应对技术更新和生产组织方式调整所带来的不确定性。在这一背景下,创新韧性强调企业在外部冲击下保持创新活动连续性并实现技术路径动态调整的能力,其核心在于企业能否通过持续创新支撑供应链运行的稳定性与适应性。本文采用敏感性指标法,以专利申请量的相对变化(企业专利申请量的对数增长率)衡量企业创新活动对外部环境变化的响应程度,从而测度企业的创新韧性水平。

基于上述分析,本文进一步检验企业大数据技术应用是否影响创新韧性。表4的回归结果显示,企业大数据技术应用对创新韧性具有正向影响,其回归系数为0.0826,且在10%水平下显著。这表明,大数据技术

^① 限于篇幅,具体稳健性检验结果省略,备索。

应用有助于企业在信息获取和知识整合过程中降低技术调整的不确定性,使创新活动在外部环境变化下保持相对稳定。结合基准回归中企业大数据技术应用提升供应链效率的结果,可以推断创新韧性在二者之间发挥了重要的潜在传导作用。一方面,更高的创新韧性有助于企业在面对技术演进或生产条件变化时,通过持续技术调整减弱对上下游协作关系的冲击;另一方面,创新活动的稳定推进也有助于缓解技术不确定性对供应链衔接效率的制约,从而支撑供应链运行的整体稳定性和适应性。因此,假设 2 得到证实。

2. 企业敏捷响应度

企业敏捷响应度通常被用于体现企业在不确定环境中快速识别变化并作出调整的能力,其核心在于缩短从信息获取到组织决策再到执行落实的时间间隔。在上市公司治理结构下,重大经营决策通常需要通过董事会讨论形成,因此董事会会议频率在一定程度上能够反映企业在外部环境变化下调整决策节奏的能力。基于这一考虑,本文借鉴范合君等^[34]的做法,采用当期董事会会议次数作为企业敏捷响应度的测度指标,会议次数越多,表明企业在应对外部变化时启动决策调整的频率越高。

在机制识别中,本文进一步检验企业大数据技术应用是否影响企业敏捷响应度。表 4 的回归结果显示,企业大数据技术应用对企业敏捷响应度具有正向影响,其回归系数为 0.063 2,且在 5%水平下显著。这表明,大数据技术应用有助于企业在信息处理和分析过程中降低决策不确定性,使组织能够更加及时地启动应对机制,从而加快整体响应节奏。结合基准回归中企业大数据技术应用提升供应链效率的结果,可以推断敏捷响应度在其中发挥了重要的潜在传导作用。一方面,更高的敏捷响应度有助于企业在需求变化或外部扰动出现时,及时调整生产计划和交付安排,减少信息滞后对上下游协作关系的冲击;另一方面,决策节奏的加快也有助于缓解供应链运行中的时间错配问题,从而提升整体协同效率。因此,假设 3 得到证实。

3. 生产经营效率机制

在供应链体系中,企业内部运行状况直接影响其与上下游主体的协同效果。生产经营效率用于测度企业在既定资源约束下协调内部流程并维持稳定运作的的能力,其本质在于通过管理优化降低内部摩擦成本,为外部协作提供可靠的运行基础。当内部运行效率不足时,即便外部信息条件有所改善,也可能因组织执行受限而削弱供应链协同效果。基于这一认识,本文将生产经营效率视为连接企业内部管理与供应链运行表现的重要机制变量。

在机制识别中,本文以管理费用率作为生产经营效率的代理指标,用以衡量企业在管理活动中的成本控制能力与运行效率水平。表 4 的回归结果显示,企业大数据技术应用对生产经营效率具有促进作用,其回归系数为 0.106 1,且在 5%水平下显著。这表明,大数据技术应用有助于企业在信息整合和流程管理过程中降低管理成本占比,从而改善内部运行状况。结合基准回归中企业大数据技术应用提升供应链效率的结果,可以推断生产经营效率在其中发挥了重要的传导作用。一方面,较高的生产经营效率有助于企业稳定推进生产交付等关键环节,减少内部管理摩擦对外部协作的干扰;另一方面,内部运行基础的夯实也有助于提升组织在复杂环境下的执行能力,从而支撑供应链运行的协调性。因此,假设 4 得到证实。

表 4 机制检验回归结果

变量	创新韧性	企业敏捷响应度	生产经营效率
<i>BDTECH</i>	0.082 6 [*] (0.046 4)	0.063 2 ^{**} (0.028 0)	0.106 1 ^{**} (0.052 5)
控制变量	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制
观测值	20 342	20 342	20 342
R^2	0.346 2	0.523 2	0.412 6

(二) 异质性分析

1. 供应链中断风险

为了更深入地探讨企业大数据技术应用对供应链效率的影响,本文基于供应链中断风险的高低对样本进行分组,开展异质性分析。供应链中断风险是企业面临外部冲击时供应链稳定性的重要衡量指标。由于供应链中断风险的高低可能影响企业应对挑战的能力,其对供应链效率的作用可能存在显著差异,因此有必要从异质性视角进行探讨。

从表5可以看出,企业大数据技术应用对供应链效率的提升存在显著的异质性。在中断风险低的企业中,大数据技术应用对供应链效率的回归系数为0.0430,显著性水平为1%;而在中断风险高的企业中,回归系数为0.0051,同样在1%水平下显著,但效果较弱。这一结果说明,低中断风险的企业在大数据技术的支持下,可以更高效地协调供应链资源、优化流程,从而实现更明显的效率提升。相反,高中断风险的企业尽管能够通过大数据技术实现一定程度的效率改进,但其供应链的不确定性和复杂性可能限制了效率提升的空间。这提示企业在供应链中断风险较高的情况下,应注重优化供应链流程并加强风险管理,以进一步发挥大数据技术的潜力。为了进一步检验分组回归系数间的差异是否具有统计显著性,本文采用邹检验进行系数差异性检验。检验结果表明,两组样本的回归系数存在显著差异,支持异质性分析的结论。

2. 供应链集中度

供应链集中度是企业在供应链中的主导能力,体现了其在商业行为中的议价能力和对上下游企业的控制程度。在供应链中,话语权的高低对企业应对外部冲击和优化内部管理的能力具有重要影响。因此,本文基于供应链集中度的高低进行分组,以探讨大数据技术应用对供应链效率的影响差异。

表5展示了供应链集中度高低对供应链效率的异质性影响。在供应链集中度低的企业中,大数据技术应用对供应链效率的回归系数为0.0385,在5%的水平下显著。而在供应链集中度高的企业中,回归系数为0.0089,仅在10%水平下显著。这一结果表明,当企业在供应链中话语权较低时,大数据技术的应用提升了供应链效率。这可能是因为弱话语权企业更需要通过技术手段弥补其议价能力的不足,以提升内部管理效率和资源利用率。而对于话语权较强的企业,其供应链效率本已处于较高水平,因而大数据技术应用的提升效果相对有限。这进一步说明,企业在供应链中的地位影响了大数据技术对供应链效率的边际贡献。为检验不同分组回归结果之间的系数差异是否具有统计显著性,本文进一步采用邹检验对组间系数进行比较。检验结果显示,两组样本中核心解释变量的回归系数在统计意义上存在显著差异。

表5 异质性分析回归结果

变量	供应链中断风险		供应链集中度	
	低	高	低	高
<i>BDTECH</i>	0.0430 ^{***} (0.0134)	0.0051 ^{***} (0.0018)	0.0385 ^{**} (0.0185)	0.0089 [*] (0.0049)
控制变量	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	8372	11970	10285	10057
R^2	0.4623	0.2761	0.3871	0.6061
系数差异 P 值	0.0001		0.0000	

七、结论与建议

本文基于2010—2023年中国上市公司数据,分析了企业大数据技术应用对供应链效率的影响及其作用机制。研究结论显示:企业大数据技术应用提升了供应链效率,这一结论在使用多种稳健性检验后仍然成立。进一步的研究显示,企业大数据技术应用是通过创新韧性的增强、敏捷响应度的优化和生产经营效率的提升等机制,对供应链管理发挥重要作用。异质性分析表明,大数据技术应用在供应链中断风险较低和供应链集中度较低的情境下,其对供应链效率的作用更加明显。

基于研究发现,本文提出如下政策建议:

第一,针对不同规模企业实施差异化的数字化支持策略。大型企业资源储备较为充足,应引导其建设覆盖技术开发环节和生产质量管控的企业级数据平台,推动数据在不同业务场景之间有序流动,以增强创新韧性和内部运行稳定性。中小企业在数字化投入方面面临现实约束,可由地方政府牵头建设共享型数据服务平台,重点提供需求分析以及供应商协作等功能,降低大数据实施门槛和使用成本,使中小企业在市场波动中能够提高响应速度,在控制成本的前提下改善敏捷响应表现。

第二,结合企业内部组织结构和运行复杂程度,优化大数据驱动的治理与激励机制。通过将大数据运行质量、资源配置效率等指标纳入企业内部管理评价体系,引导企业在流程优化和成本控制中深化数据应用。同时,可配合税收激励和专项融资支持,降低企业采用数据分析工具的成本,提升其对需求变化的识别能力和响应速度,从而增强供应链运行的灵活性和效率。

第三,根据供应链风险特征提供定向政策工具。供应链中断风险较高的企业,需要加强对采购和物流仓储环节的数据监控,可优先支持其部署异常识别系统和备用资源调配平台,使其在外部冲击下仍能保持基本运行能力。供应链集中度较高的企业在议价方面处于相对不利位置,应更多依托内部运行改善,通过构建数字化生产排程和成本绩效管理体系提升生产经营效率,以减轻供应链集中度带来的运行压力。同时,可鼓励有条件的龙头企业向上下游开放部分生产数据和质量信息,为中小配套企业提供更加透明的协同环境,减弱过高集中度导致的风险累积。

第四,结合区域发展条件差异,完善大数据治理与支撑体系。对于数字基础设施和要素配置条件相对完善的地区,应进一步推进数据流动相关制度建设,在数据共享规则、使用规范等方面形成更为清晰的制度框架,引导企业开展更深层次的数字化升级。对于数据基础和服务供给相对薄弱的地区,则应着力补齐基础设施短板,提升网络连接水平和数据服务供给能力,为企业改善生产经营效率和稳定供应链运行提供必要支撑。

参考文献:

- [1] 沈国兵,沈彬朝. 高标准贸易协定与全球供应链韧性:制度环境视角[J]. 经济研究,2024,59(5):151-169.
- [2] 程啸. 论大数据时代的个人数据权利[J]. 中国社会科学,2018(3):102-122.
- [3] WAMBA S F, AKTER S, EDWARDS A, et al. How 'big data' can make big impact: findings from a systematic review and a longitudinal case study[J]. International Journal of Production Economics, 2015, 165: 234-246.
- [4] 谢康,夏正豪,肖静华. 大数据成为现实生产要素的企业实现机制:产品创新视角[J]. 中国工业经济,2020(5):42-60.
- [5] 许宪春,任雪,常子豪. 大数据与绿色发展[J]. 中国工业经济,2019(4):5-22.
- [6] 陈德球,胡晴. 数字经济时代下的公司治理研究:范式创新与实践前沿[J]. 管理世界,2022,38(6):213-240.

- [7] 陈剑, 黄朔, 刘运辉. 从赋能到使能——数字化环境下的企业运营管理[J]. 管理世界, 2020, 36(2): 117-128.
- [8] 张叶青, 陆瑶, 李乐芸. 大数据应用对中国企业市场价值的影响——来自中国上市公司年报文本分析的证据[J]. 经济研究, 2021, 56(12): 42-59.
- [9] 吴非, 胡慧芷, 林慧妍, 等. 企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性的经验证据[J]. 管理世界, 2021, 37(7): 130-144.
- [10] 龚强, 班铭媛, 张一林. 区块链、企业数字化与供应链金融创新[J]. 管理世界, 2021, 37(2): 22-34.
- [11] 柏淑嫒, 潘子成, 曹伟, 等. 企业大数据应用对 ESG 评价的影响[J]. 世界经济, 2024, 47(8): 133-167.
- [12] 段文奇, 景光正. 贸易便利化、全球价值链嵌入与供应链效率——基于出口企业库存的视角[J]. 中国工业经济, 2021(2): 117-135.
- [13] 阎森, 孙新宇, 王嘉寅. 高铁开通带动中国制造业供应链效率提升——来自上市公司库存周转率的微观证据[J]. 产业经济研究, 2024(4): 85-99.
- [14] 张艾莲, 潘梦梦, 刘柏. 经济结构性潜能视角下城市群与企业供应链效率的实证研究[J]. 南开经济研究, 2023(5): 133-150.
- [15] 张任之. 数字技术与供应链效率: 理论机制与经验证据[J]. 经济与管理研究, 2022, 43(5): 60-76.
- [16] 巫强, 姚雨秀. 企业数字化转型与供应链配置: 集中化还是多元化[J]. 中国工业经济, 2023(8): 99-117.
- [17] ZHAO N Y, HONG J T, LAU K H. Impact of supply chain digitalization on supply chain resilience and performance: a multi-mediation model[J]. *International Journal of Production Economics*, 2023, 259: 108817.
- [18] 陶锋, 王欣然, 徐扬, 等. 数字化转型、产业链供应链韧性与企业生产率[J]. 中国工业经济, 2023(5): 118-136.
- [19] GENG Y, XIANG X J, ZHANG G S, et al. Digital transformation along the supply chain: spillover effects from vertical partnerships[J]. *Journal of Business Research*, 2024, 183: 114842.
- [20] 刘业政, 孙见山, 姜元春, 等. 大数据的价值发现: 4C 模型[J]. 管理世界, 2020, 36(2): 129-138.
- [21] 周家正, 赵家章. 大数据发展如何影响出口技术复杂度? ——来自国家级大数据综合试验区的经验证据[J]. 首都经济贸易大学学报, 2025, 27(2): 63-78.
- [22] RADULESCU M, DALAL S, LILHORE U K, et al. Optimizing mineral identification for sustainable resource extraction through hybrid deep learning enabled FinTech model[J]. *Resources Policy*, 2024, 89: 104692.
- [23] REJEB A, KEOGH J G, SIMSKE S J, et al. Potentials of blockchain technologies for supply chain collaboration: a conceptual framework[J]. *The International Journal of Logistics Management*, 2021, 32(3): 973-994.
- [24] LIM K Y H, ZHENG P, CHEN C H. A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives[J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2020, 31(6): 1313-1337.
- [25] BECHTSIS D, TSOLAKIS N, IAKOVOU E, et al. Data-driven secure, resilient and sustainable supply chains: gaps, opportunities, and a new generalised data sharing and data monetisation framework[J]. *International Journal of Production Research*, 2022, 60(14): 4397-4417.
- [26] HOFMANN E, RUTSCHMANN E. Big data analytics and demand forecasting in supply chains: a conceptual analysis[J]. *The International Journal of Logistics Management*, 2018, 29(2): 739-766.
- [27] AKPE O E E, MGBAME A C, OGBUEFI E, et al. The role of adaptive BI in enhancing SME agility during economic disruptions[J]. *International Journal of Management and Organizational Research*, 2022, 1(1): 183-198.
- [28] 成琼文, 朱婧丽. 人工智能应用如何提升制造企业韧性? [J]. 经济与管理研究, 2025, 46(8): 56-75.
- [29] 张亚斌, 马莉莉. 大数据时代的异质性需求、网络化供给与新型工业化[J]. 经济学家, 2015(8): 44-51.
- [30] 黄群慧, 余泳泽, 张松林. 互联网发展与制造业生产率提升: 内在机制与中国经验[J]. 中国工业经济, 2019(8): 5-23.
- [31] QIAO F, LIU J, MA Y M. Industrial big-data-driven and CPS-based adaptive production scheduling for smart manufacturing[J]. *International Journal of Production Research*, 2021, 59(23): 7139-7159.
- [32] 赵霞, 许雅雯, 徐永锋. 数字化协同如何影响供应链韧性——基于资源和关系整合的分析[J]. 产经评论, 2023, 14(5): 24-42.
- [33] MANIKAS I, SUNDARAKANI B, SHEHABELDIN M. Big data utilisation and its effect on supply chain resilience in Emirati companies[J]. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2023, 26(10): 1334-1358.
- [34] 范合君, 潘宁宁. 数字化转型、敏捷响应度与企业韧性[J]. 经济管理, 2024, 46(7): 36-54.

Does the Application of Big Data Technologies Improve Firms' Supply Chain Efficiency?

CAI Meng, XIE Jianguo
(Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract: In the era of the digital economy, big data technologies have emerged as a crucial driver for improving firms' supply chain efficiency. As global supply chain structures grow more complex and external shocks persistently accumulate, enhancing supply chain efficiency has become a vital pathway for firms to maintain stable development. Although existing studies have examined the impact of digital transformation on supply chain performance, systematic research on the mechanisms and causal effects of the application of big data technologies at the firm level remains limited.

This paper constructs indicators of firms' application of big data technologies and supply chain efficiency, and identifies the causal relationship between the two using a two-way fixed effects model based on data from A-share listed companies in China between 2010 and 2023. The density of long-distance optical cable lines in the city where the firm was registered in 1995 is selected as an instrumental variable to address potential endogeneity issues, which reflects the initial endowment of historical infrastructure and satisfies the requirement of exogeneity.

The empirical results show that the application of big data technologies improves firms' supply chain efficiency. This conclusion remains valid across multiple tests, including the use of instrumental variable and propensity score matching to address endogeneity issues, as well as altering the sample observation period and employing different clustering levels for standard errors. Further mechanism analysis indicates that this positive effect operates through three main paths: first, strengthening innovation resilience to promote knowledge integration and continuous innovation; second, enhancing firms' agile responsiveness to improve real-time perception and rapid reaction to external changes; third, improving operational efficiency to achieve optimized resource allocation and process coordination. Heterogeneity analysis reveals that this enhancement is more pronounced among firms facing lower supply chain disruption risk and supply chain concentration, suggesting that its effectiveness is jointly shaped by firms' operational foundations and supply chain structures.

Overall, this paper provides new empirical evidence for understanding the micro-level impact of big data technologies as a strategic factor of production and offers valuable implications for policy design. In general, policy efforts should clarify differentiated digital development paths for various types of firms and improve digital infrastructure and data circulation systems to provide targeted support for digital upgrading under different supply chain risk conditions. At the same time, firms should be guided to optimize innovation resilience, agile responsiveness, and operational efficiency, forming a sustainable digital operating system, and ultimately achieving comprehensive improvements in supply chain efficiency and overall competitiveness.

Keywords: big data technology; supply chain efficiency; innovation resilience; agile responsiveness; operational efficiency

编校:李 叶;魏小奋