

供应链数字化与供应链韧性

张树山, 谷 城

(东北师范大学 经济与管理学院, 吉林 长春 130117)

摘要: 提升供应链韧性是保障国民经济稳健循环的基础, 而供应链数字化为提升供应链韧性和安全水平提供了新契机。文章基于供应链创新与应用试点工作, 利用 2012—2021 年 A 股上市公司数据, 探究了供应链数字化对供应链韧性的影响。研究发现, 供应链数字化能够提升供应链韧性, 信息渠道、产品竞争力渠道和内部控制渠道是供应链数字化提升供应链韧性的重要传导机制。异质性分析表明, 供应链数字化对供应链韧性的影响主要存在于成熟期企业、产业链下游和营商环境优势地区。进一步研究发现, 供应链数字化能够提高供应链抵抗力和恢复力, 但对供应链恢复力的影响具有滞后性; 同时, 供应链韧性的提升伴随供应链管理效率的损失。文章的研究为打造数字供应链和畅通国民经济循环提供了政策启示。

关键词: 供应链数字化; 供应链韧性; 要素流动; 企业生命周期; 供应链管理效率

中图分类号: F272 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-9952(2024)07-0021-14

DOI: 10.16538/j.cnki.jfe.20231017.101

一、引言

党的二十大报告明确指出, 着力提升产业链供应链韧性和安全水平。当前, 我国供应链“堵链”“卡链”“断链”现象不断蔓延, 需要引入新的动力源来重塑供应链节点企业间的价值创造逻辑和商业模式。幸运的是, 新一代信息技术与供应链深度融合, 推动传统供应链向数字供应链转型升级 (Büyükoçkan 和 Göçer, 2018)。供应链数字化不仅实现了供应链的可视化和可持续性, 更重要的是实现了同一价值链的横向延伸和不同价值链间的纵向互动 (Nandi 等, 2021)。这有助于加快推进我国现代供应链建设进程, 促进国民经济循环畅通。在此背景下, 研究供应链数字化对供应链韧性的影响及其内在机制, 既是国家战略需求使然, 也是学术探究必然。

供应链韧性是指面对外部冲击时, 供应链系统能够保持链条稳定, 防止断链, 调整恢复至受冲击前的运行状态, 甚至化危为机实现供应链升级 (Gölgeci 和 Kuivalainen, 2020; Negri 等, 2021)。供应链数字化能否成为提升供应链韧性的新路径, 现有文献对此尚无定论。促进论者认为, 供应链数字化对供应链的影响会直观地表现在节点企业的管理模式、流程和结构上, 这种影响将对供应链的风险管控和商贸合作产生积极作用。例如, Rauniyar 等 (2023) 认为供应链数字化有利于构建一种供应链风险监督机制, 从而有效控制操作风险、财务风险、信息风险等内生风险因素; 史金艳等 (2019) 认为同一供应链网络中节点企业间存在信息交换和传导作用, 供

收稿日期: 2023-07-12

基金项目: 国家社会科学基金项目 (18BJY180)

作者简介: 张树山 (1972—), 男, 吉林洮南人, 东北师范大学经济与管理学院教授, 博士生导师;

谷 城 (1994—) (通讯作者), 男, 吉林长春人, 东北师范大学经济与管理学院博士研究生。

供应链数字化能够强化上下游企业间的“强连接”关系,提高供应链应对外部冲击的能力。而抑制论者基于不同视角对供应链数字化的有效性提出了质疑。例如, Büyüközkan 和 Göçer(2018)认为供应链数字化对组织结构和管理方式会产生一种“破坏性”变革,这将增加供应链的不确定性和风险。Dolgui 和 Ivanov(2022)认为供应链数字化存在较高的技术投资成本,这会严重削弱供应链的资金流动性。这种负面作用在企业数字化转型过程中也比较明显,如企业数字化转型过程中衍生的学习成本、管理成本、沉没成本等。Fatorachian 和 Kazemi(2021)认为供应链数字化会促进供应链的知识溢出和信息共享,而供应链透明度的提升将对供应链上下游企业间的合作关系产生冲击,降低供应链稳定性。可见,供应链数字化对供应链韧性会产生重要且持久的影响,而学术界对于供应链数字化赋能效应的看法不尽相同。其中一个重要的原因在于,两类文献大多停留在理论阐释上,缺少经验证据支持。

本文将供应链创新与应用试点工作视作企业实施供应链数字化的外生冲击,利用单时点双重差分模型考察了供应链数字化对供应链韧性的影响。研究发现,供应链数字化能够显著提升供应链韧性。机制检验表明,供应链数字化通过信息渠道、产品竞争力渠道和内部控制渠道来提升供应链韧性。异质性分析表明,对于成熟期企业、产业链下游和营商环境优势地区,供应链数字化对供应链韧性的提升作用更加显著。进一步研究发现,供应链数字化对供应链恢复力的影响具有滞后性;同时,供应链韧性的提升会造成供应链管理效率的损失。

本文的研究贡献体现在:第一,拓展了供应链数字化价值创造领域。关于供应链数字化赋能效应的现有研究大多停留在理论阐释上(Byüközkan 和 Göçer, 2018; Fatorachian 和 Kazemi, 2021; Dolgui 和 Ivanov, 2022; Rauniyar 等, 2023; 宋华和杨雨东, 2019),且观点不尽相同。有学者实证检验了供应链数字化对供应链安全稳定的影响(张树山等, 2021),以及供应链韧性视角下企业数字化转型如何影响企业绩效(陶锋等, 2023),而研究内容侧重在节点企业层面,并未对供应链韧性进行测度。本文为供应链数字化提升供应链韧性提供了直接的经验证据,回应了学术界对供应链数字化和供应链韧性关系的争论。第二,本文突破了现有文献在研究方法上的局限。关于供应链韧性的现有研究大多从理论上进行阐释或是基于问卷调查数据进行检验(Brusset 和 Teller, 2017; Dubey 等, 2021)。本文将供应链韧性解构为供应链抵抗力和恢复力两个维度并进行测度,弥补了现有文献对供应链韧性度量的不足。第三,本文揭示了供应链数字化影响供应链韧性可能存在的机制,拓展了供应链韧性研究的边界。此外,本文还从企业、行业和地区层面探究了供应链数字化对供应链韧性的异质性影响,这有助于为提升供应链韧性和安全水平提供精准的政策靶向。第四,本文检验了供应链数字化对供应链抵抗力和恢复力的影响,考察了供应链韧性提升对产品流和资金流的负面影响,这为企业在供应链数字化过程中加强供应链管理做出了有益提醒。

二、制度背景、理论分析与研究假设

(一)制度背景

为了在现代供应链上培育新增长点,推进供给侧结构性改革,我国采取先试点后推广、以点带面的工作方法开展试点工作。供应链创新与应用试点工作可划分为部署期、开展期和推广期三个阶段。

第一,工作部署期。2017年10月,国务院办公厅印发《关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》(下文简称《意见》)。这是中央首次就供应链建设出台的指导性文件,《意见》指出了供应链发展规划的总体要求和重点任务。

第二,工作开展期。2018年4月,商务部等8部门联合下发《关于开展供应链创新与应用试点的通知》(下文简称《通知》)。《通知》明确提出开展为期两年的供应链创新与应用试点,该试点包括城市和企业两个层面,试点城市以出台供应链创新发展的政策措施为主要任务,试点企业则需要积极应用现代信息技术、创新供应链技术和模式、构建和优化产业协同平台等。2018年10月,在城市和企业自愿申报、地方择优推荐的基础上,商务部等部门确定了北京等55个试点城市和TCL集团股份有限公司等266家试点企业,^①这标志着试点工作正式启动。

第三,工作推广期。2020年4月,商务部等8部门联合印发《关于复制推广供应链创新与应用试点第一批典型经验做法的通知》(下文简称《经验做法》),总结了36个试点主体的12类典型经验做法,将其进行复制和推广,确保供应链创新与应用试点任务如期完成。

试点工作使供应链具备高度数字化属性。第一,《意见》在“指导思想”上明确提出以供应链与互联网、物联网深度融合为路径,打造大数据支撑、网络化共享、智能化协作的智慧供应链体系;在“发展目标”上强调,要形成覆盖我国重点产业的智慧供应链体系。而智慧供应链与数字供应链的内涵一致(Lerman等,2022)。第二,《通知》中的“重点任务”多次强调发展供应链的数字化属性,如“形成分工协作的网络体系”“促进整个产业供应链数字化、智能化和国际化”等。第三,2020年4月,商务部等8部门联合下发《关于进一步做好供应链创新与应用试点工作的通知》,将“加快推进供应链数字化和智能化发展”作为试点工作的重要任务。同时,《经验做法》披露了试点企业典型经验做法,几乎所有的试点企业都是围绕供应链数字化开展目标工作。数据显示,在试点工作开展的前三年,试点企业数字化投入占无形资产总额的比重约为7.8%;在试点工作开展的后三年,这一比重达到11.1%,增幅为42.3%,而非试点企业的增幅仅为20.5%。^②基于上述情况,本文参考张树山等(2021)以及刘海建等(2023)的研究,将供应链创新与应用试点工作视为供应链数字化的一次有益尝试,实证检验供应链数字化对供应链韧性的影响。

(二)理论分析与研究假设

现阶段,我国供应链面临不完整、不稳定、不强健“三重”挑战,“断链”隐忧成为供应链韧性提升的重要掣肘。我国供应链韧性提升需要抵抗“断链”,并从“断链”中迅速恢复。本文认为,供应链数字化可能通过信息渠道、产品竞争力渠道和内部控制渠道来影响供应链韧性。

第一,信息渠道。供需匹配和供需平衡是保障供应链韧性和安全稳定的基础(陶锋等,2023)。在梅特卡夫定律下,供应链数字化可以实现供应链网络价值的指数增长,增强供应链网络中信息和知识网络的连通性与渗透力,并通过信息效应推动供应链上下游企业供需匹配和供需关系稳固,从而提升供应链韧性。一方面,供应链数字化促进了供应链上下游的供需匹配。囿于信息不对称,传统供应链中的节点企业通常采取高产量和冗余库存战略来保持市场份额。在这种场景下,消费需求的改变将造成企业库存堆积和供应链中断风险。特别是在“长鞭效应”的影响下,供应链下游企业需求量的微小变动会沿着供应链持续放大,并传递信息给上游企业,造成产能过剩或资源浪费,从而影响供应链上下游的供需匹配(杨志强等,2020)。供应链数字化能够借助数字技术的赋能效应,有效降低节点企业间的信息处理和传递成本,缓解信息不对称,从而促进供应链上下游的供需匹配。例如,供应链下游企业通过数据抓取和算法处理等技术获取海量的消费者需求信息,并及时向上游企业传递信息,这将增强供给精准对接需求的能力。另一

^① 资料来源: <https://www.mofcom.gov.cn/article/h/redht/201810/20181002797245.shtml>。

^② 本文参考张永坤(2021)的做法,采用企业财务报告附注中披露的年末无形资产中与数字化相关的部分作为数字化投入的代理指标。此外,本文还整理了试点工作开展的前两年、当年以及之后两年的数字化投入占无形资产总额比重,同样得出试点企业比非试点企业具有更高的数字化投入增幅的结论。

方面,供应链数字化促进了供应链上下游的供需关系稳固。上游企业探知市场需求,下游企业寻找合适的供应商,均需要付出搜寻成本;若某一方未履行合约规定,还需付出违约成本或寻找其他商业伙伴的转换成本(黄群慧等,2019)。供应链数字化能够借助信息效应,充分了解企业的资信水平,并对潜在合作企业进行比较,帮助企业适配筛选商业伙伴,这将有效降低与可能违约的企业签约的概率(袁淳等,2021)。经过择优筛选后建立的商业合作往往具有稳定的供需关系。此外,供应链数字化的信息效应会使链上企业形成“强连接”关系,供应链逐渐向供应链生态系统转化(陈剑等,2020),从而促进供需关系持续和稳定。

第二,产品竞争力渠道。产品竞争力是企业稳固和延伸供应链的重要因素。一般来说,企业产品的市场竞争力会影响供应商或客户的选择(李姝等,2021),从而影响供应链安全稳定。供应链数字化可以通过提高产品竞争力来提升供应链韧性。一方面,供应链数字化可以促进产品“增量提质”。供应链数字化既能利用数字技术对企业研发、设计和生产流程赋能,提高企业研发能力,降低生产成本,还能为节点企业联合研发新产品创造条件,技术整合后的新产品往往具有较高品质,从而实现了企业产品的“物美”和“价廉”。同时,为了确保产品的品质要求,客户企业会向供应商提供技术和知识支持(Chu等,2019)。而供应链数字化促进了上下游企业间数据和信息的顺畅流动,减少了技术交流的障碍,这有利于企业应用新技术来提高产品质量。另一方面,供应链数字化可以推动“产品多元化”。当前,消费需求个性化、多样化,增加产品种类能够增强差异化竞争能力,这是供应链抵御外部需求冲击的重要保障。传统供应链生产模式通常将规模经济作为主要目标,难以应对个性化定制这类高附加值的产品需求,而供应链数字化可以推动企业聚焦“长尾市场”。供应链下游企业邻近消费群体,通过大数据等信息技术可以精准获知客户个性化需求,将信息沿着供应链层级迅速传递给上游企业,生产端可以利用个性化定制和智能分发技术来精准满足消费需求(江小涓和靳景,2022),从而提升产品竞争力。

第三,内部控制渠道。传统供应链存在较高的管理成本,信息化不足也在一定程度上影响了节点企业应对风险的速度,从而威胁到供应链安全稳定。供应链数字化则能够提高内部控制水平,提升供应链韧性。首先,供应链数字化优化了供应链控制流程。基于“数据”的监督链,节点企业可以实时监控和分析整个供应链运转流程,及时发现供应链是否存在异常问题,以应对外部扰动对供应链的冲击。例如,在生产环节,无线技术和信息技术推动企业产品生产环节日趋智能化,产品流水线上某一环节出现故障,智能机器将直接关闭后续环节中可能受损的机械设备,并及时维修以保持生产线的正常运转(陈剑等,2020)。其次,供应链数字化拓展了销售渠道。数字化进程可以拓展供应链管理环节中产品销售的“上下线”渠道(刘诚,2023),并基于全渠道汇集的数据(Queiroz等,2020),依靠精准细分手段和个性化服务来匹配市场需求,管理产品销售过程中的渠道布局和选址问题,从而最大程度避免不同地区产品供需失衡所导致的供应链中断风险。最后,供应链数字化提高了资源配置效率。供应链数字化借助信息技术打破了要素供求双方的信息阻碍,上下游企业间的横向连接与物理层虚拟互联有助于实现要素互补与重构,提高资源配置效率(Dolgui和Ivanov,2022),从而实现供应链的循环畅通。

基于上述分析,本文提出以下研究假设:供应链数字化通过信息渠道、产品竞争力渠道和内部控制渠道提升了供应链韧性。

三、研究设计

(一)模型设定

本文将供应链创新与应用试点作为外生冲击,利用双重差分法来检验供应链数字化与供应链韧性的因果效应,计量模型设定如下:

$$Resil_{it} = \alpha + \beta_1 Time \times Treat_{it} + \sum \gamma Controls_{it} + \sum Firm + \sum Year + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,被解释变量 $Resil$ 表示供应链韧性水平。 $Time$ 表示供应链数字化实施的时间虚拟变量,2018年及之后取值为1,否则为0; $Treat$ 表示试点企业虚拟变量,若企业为试点企业样本,则 $Treat$ 取值为1,否则为0; $Time \times Treat$ 为核心解释变量,其系数 β_1 反映了供应链韧性在供应链数字化实施前后的平均差异。 $Controls$ 表示控制变量, $Firm$ 和 $Year$ 表示企业和年份固定效应, ε 表示随机误差项。

(二)变量设定

1. 被解释变量:供应链韧性($Resil$)。根据韧性定义并结合现有研究成果,供应链韧性通常表现为供应链应对外部冲击的抵抗能力和恢复能力(Gölgeci 和 Kuivalainen, 2020; Negri 等, 2021)。因此,本文将供应链韧性划分为供应链抵抗力和恢复力两个维度,尝试从上述维度筛选相关指标,通过综合指数测算来衡量供应链韧性。

供应链抵抗力($Resis$)体现了供应链运行状态的稳定性,即在应对外部扰动时,供应链仍能维持循环畅通。本文从稳固供应链关系来筛选供应链抵抗力维度的指标。从过程视角来看,供应链关系是否稳固依赖于下游客户对上游供应商的资金占用情况。一般情况下,当企业间开展商业合作时,如果供应商的应收账款压力较大,则供应商与客户的合作关系会趋于破裂。参考 Cull 等(2009)的研究,本文利用应收账款与收入比值的自然对数来衡量资金占用情况。该指标数值越小,表明客户对供应商的资金占用越少,供应链关系的稳定性越高。从结果视角来看,供应链关系是否稳固直接体现在企业间供需关系的持续性上,即企业间持续存在合作关系。借鉴潘红波和张哲(2020)的方法,本文以企业与前五大客户在连续年份内的稳定客户数量占比作为供应链抵抗力的第二个指标。该指标数值越大,表明供应链关系越稳固。

供应链恢复力($Recov$)体现了供应链受到外部冲击时偏离原始运行轨迹后的回弹能力。因此,偏离或者波动的大小可以较好地反映供应链恢复力。从供需角度来看,当供应链受到外部冲击时,上下游企业原有的生产量与需求量受到影响,这会在短期内造成供需失衡。参考 Shan 等(2014)的研究,本文采用生产波动对需求波动的偏离程度作为供应链恢复力的一个代理指标,计算公式如下:

$$Matching_{it} = \frac{Var(Production_{it})}{Var(Demand_{it})} \quad (2)$$

其中, $Matching$ 表示供需偏离度,若 $Matching$ 大于1,则表明供应链上游供给和下游需求之间的波动较大,供应链恢复力较低; $Production_{it} = Demand_{it} + Inventory_{it} - Inventory_{it-1}$, $Production$ 表示企业产量, $Demand$ 表示企业需求量(以销售成本来衡量), $Inventory$ 表示企业年末库存净值。

从经济角度来看,当供应链受到外部冲击时,企业绩效会偏离预期运行轨迹,并逐步调整恢复至受冲击前的状态。因此,企业绩效的偏离程度同样可以体现供应链受到冲击后的恢复能力。本文构建计量模型(3),利用残差(实际值与估计值之差)来捕捉企业经济绩效在不同时期的变化和反应。其数值越大,表明供应链恢复力越强。

$$Perform_{it} = \alpha + \beta_1 Size_{it} + \beta_2 Lev_{it} + \beta_3 Growth_{it} + \beta_4 Age_{it} + \beta_5 Board_{it} + \sum Firm + \sum Year + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, $Perform$ 表示企业经济绩效,采用息税前利润与员工数的比值进行度量。控制变量包括企业规模($Size$)、资产负债率(Lev)、营业收入增长率($Growth$)、企业年龄(Age)和董事会规模($Board$)。

本文利用熵权法,对供应链抵抗力和恢复力两个维度下的 4 个指标进行综合测算,所得结果即为供应链韧性。

2. 核心解释变量(*Time*×*Treat*)。考虑到企业入选供应链创新与应用试点之前应具有比较完善的数字基础,本文认为供应链创新与应用试点开展的当年即 2018 年就实施了供应链数字化。此外,2020 年商务部依据试点工作考核准则,取消了 8 家试点企业资格,因此本文剔除了被取消试点资格的 A 股上市公司。

3. 控制变量。参考张树山等(2021)的研究,本文选取的控制变量包括企业规模(*Size*)、资产负债率(*Lev*)、经营性现金流(*Cash*)、企业年龄(*Age*)、两职合一(*Both*)、股权集中度(*Top1*)、董事会规模(*Board*)以及独立董事占比(*Indpe*)。本文变量定义见表 1。

表 1 变量定义与描述性统计

符号	名称	定义	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
<i>Resil</i>	供应链韧性	供应链韧性综合指数	7 123	0.815	0.101	0.575	0.942
<i>Time</i>	试点时间虚拟变量	2018 年及之后取值为 1, 否则为 0	7 123	0.386	0.487	0	1
<i>Treat</i>	试点企业虚拟变量	若属于供应链创新与应用试点企业则取值为 1, 否则为 0	7 123	0.021	0.143	0	1
<i>Size</i>	企业规模	ln(企业总资产)	7 123	22.150	1.205	19.550	26.150
<i>Lev</i>	资产负债率	总负债/总资产	7 123	0.406	0.194	0.051	0.849
<i>Cash</i>	经营性现金流	现金流量净值/总资产	7 123	2.526	2.481	0.425	16.290
<i>Age</i>	企业年龄	ln(考察年份-公司成立年份)	7 123	2.872	0.332	1.792	3.497
<i>Both</i>	两职合一	若董事长与总经理为同一人则取值为 1, 否则为 0	7 123	0.304	0.460	0	1
<i>Top1</i>	股权集中度	第一大股东持股比例	7 123	0.337	0.145	0.087	0.750
<i>Board</i>	董事会规模	ln(董事会人数+1)	7 123	2.236	0.168	1.792	2.708
<i>Indpe</i>	独立董事占比	独立董事数量/董事规模	7 123	0.375	0.053	0.333	0.571

(三)数据来源

本文选取 2012—2021 年 A 股上市公司作为研究对象,相关数据来自 CSMAR 数据库、Wind 数据库和 CNRDS 数据库。本文剔除了样本期内 ST、*ST、退市和金融类企业样本以及数据缺失的样本。此外,本文对主要连续变量进行了上下 1% 的缩尾处理,最终得到 7 123 个企业—年度非平衡面板观测值。表 1 报告了主要变量的描述性统计结果。*Resil* 的最大值为 0.942,最小值为 0.575,均值为 0.815,表明不同企业的供应链韧性存在较大差异。其他变量的统计结果与现有文献大致一致。

四、实证结果分析

(一)基准回归分析

表 2 报告了基准回归结果,其中列(1)仅控制了企业和年份固定效应,列(2)加入了全部控制变量。从中可以发现,*Time*×*Treat* 的系数显著为正,这表明供应链数字化可以促进供应链循环畅通,降低供应链“中断”风险,从而提升供应链韧性和安全水平。因此,本文研究假设得到经验证据支持。

(二)DID 模型有效性检验

1. 平行趋势检验。本文设定模型(4)进行平行趋势检验,以验证双重差分估计无偏。

$$Resil_{it} = \alpha + \sum_{k=2012}^{2021} \beta_k Treat_{it} \times Year_t^k + \sum \gamma Controls_{it} + \sum Firm + \sum Year + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, $Year^k$ 表示样本所处年份与供应链试点工作实施年份的时间距离变量, k 为 0 表示试点工作实施当年。本文以供应链数字化实施前一年(2017 年)为基期, 重点关注系数 β_k , β_k 反映了在 k 年处理组与对照组的供应链韧性是否存在显著差异。图 1 展示了平行趋势检验结果。从中可以发现, 在供应链数字化实施之前, 对照组与处理组的供应链韧性不存在系统差异。

2. 安慰剂检验。本文采用以下两种方式进行安慰剂检验: 一是空间安慰剂。随机抽取与基准回归中处理组数量相同的试点企业, 将其作为新的处理组, 重复抽样 500 次, 对模型(1)进行回归。图 2 展示了随机抽样回归后 $Time \times Treat$ 的估计系数及 P 值的分布情况。 $Time \times Treat$ 的估计系数均值近似为 0, 而且服从正态分布, 这与基准回归结果 0.039 存在显著差异。同时, P 值大部分高大于 0.1。由此可得, 未观测到的随机因素对本文结果没有影响。二是时间安慰剂。剔除试点工作实施之后的样本区间(2018 年及之后), 人为地将试点工作实施时间前移 2 年和 3 年, 构造新的解释变量, 重新对模型(1)进行回归。表 3 中列(1)和列(2)结果显示, $Time \times Treat$ 未通过显著性检验, 这排除了组间固有差异对本文估计结果的影响。

表 2 基准回归

	(1)	(2)
$Time \times Treat$	0.046***(0.009)	0.039***(0.010)
$Size$		0.008***(0.002)
Lev		-0.033***(0.013)
$Cash$		-0.000(0.001)
Age		-0.009(0.006)
$Both$		0.011***(0.004)
$Top1$		0.023*(0.012)
$Board$		-0.033***(0.012)
$Indpe$		-0.060(0.038)
$Constant$	0.814***(0.002)	0.750***(0.053)
$Firm$ 和 $Year$	控制	控制
N	7123	7123
R^2	0.196	0.208

注:***、**和*分别表示1%、5%和10%的显著性水平, 括号内为经过Cluster处理后聚类到企业层面的标准误。下表同。

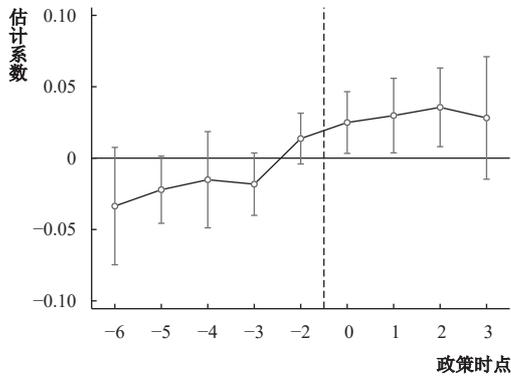


图 1 平行趋势检验

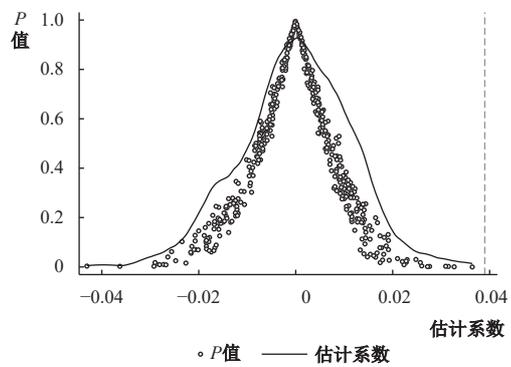


图 2 安慰剂检验

3. 预期效应检验。本文参考王桂军等(2023)的做法, 在模型(1)中加入 $Year_{2017} \times Treat$, 其中 $Year_{2017}$ 表示供应链数字化实施前一年即 2017 年的虚拟变量。表 3 中列(3)结果显示, $Year_{2017} \times Treat$ 不显著, $Time \times Treat$ 的系数及显著性未发生明显变化。这表明供应链数字化对供应链韧性的影响不存在预期效应, 研究结果依然稳健。

(三)稳健性检验

1. PSM-DID。为了缓解样本的选择性偏误问题, 本文采用 PSM-DID 方法进行稳健性检验。具体而言, 本文以企业规模、资产负债率等控制变量作为协变量, 采用有放回的 1:1 最近邻匹配进行样本匹配。PSM-DID 回归结果见表 4 中列(1), $Time \times Treat$ 的系数显著为正, 研究结论依然成立。

2. 更换供应链韧性测度方法。除了熵权法, 本文还采用主成分分析法对供应链韧性进行综合指数测算。首先, KMO 值大于 0.5, 且 Bartlett 值显著, 这表明上述指标适合做主成分分析; 其次, 根据综合特征值(大于 1)和累计方差贡献率(大于 80%)提取出主成分; 最后, 以方差贡献率占总方差贡献率的比例作为权重, 对主成分得分进行线性加权, 所得结果即为供应链韧性。表 4 中列(2)显示, $Time \times Treat$ 的系数仍显著为正, 研究结论不变。

表 3 DID 模型有效性检验

	(1)	(2)	(3)
	政策时间前移2年	政策时间前移3年	预期效应检验
$Time \times Treat$	0.004(0.013)	-0.005(0.014)	0.040*** (0.010)
$Year_{2017} \times Treat$			0.014(0.032)
Controls	控制	控制	控制
Firm和Year	控制	控制	控制
N	4737	4737	7123
R ²	0.167	0.168	0.208

表 4 稳健性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	PSM-DID	更换供应链韧性测度方法	排除其他政策干扰			
$Time \times Treat$	0.042*** (0.010)	0.053*** (0.015)	0.041*** (0.010)	0.040*** (0.010)	0.039*** (0.010)	0.037*** (0.010)
Controls	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Firm和Year	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	6371	7123	7123	7123	7123	7123
R ²	0.200	0.220	0.199	0.181	0.200	0.210

3. 排除其他政策干扰。样本期内的以下几项政策可能会影响本文实证结果的准确性: 一是供应链创新与应用试点城市工作。该试点工作的主要任务是出台支持供应链运营的政策措施, 因而供应链韧性的提升可能源于该试点工作的促进作用。二是现代物流创新发展城市试点工作。^①作为延伸产业链、提升价值链、打造供应链的重要支撑, 现代物流可能会对供应链韧性产生影响。三是智能制造试点示范专项行动。^②智能制造模式的实现路径高度依赖于数字技术与制造业的深度融合, 因而本文结论可能会受到该专项行动的影响。四是国家大数据综合试验区设立。^③作为新型生产要素, 数据对供应链数字化具有积极影响, 因而有必要考虑其对本文结论的影响。本文将上述政策效应的虚拟变量分别加入基准回归模型中。表 4 中列(3)至列(6)显示, $Time \times Treat$ 的系数仍显著为正, 这表明上述政策的实施对估计结果没有造成重大偏误。

4. 其他稳健性检验。第一, 考虑遗漏变量。本文在模型中加入了经济基础(人均 GDP 的自然对数)、产业结构(第三产业增加值/第二产业增加值)、人口密度(人口总数/区域面积)、外贸依存度(进出口总额/GDP)以及政府调控(财政支出/GDP)等区域层面的控制变量。第二, 剔除大城市样本。本文剔除了直辖市及省会城市样本。第三, 检验变量 $Time$ 的敏感性。本文一方面将供应链数字化实施的时间虚拟变量 $Time$ 赋值为 0; 另一方面, 剔除了 2018 年的观测样本。第四, 调整固定效应类型。本文加入了城市-行业和行业-年份固定效应。第五, 调整聚类标准。本文将标准误进一步聚类到行业和城市层面。检验结果见表 5, 本文研究结论不变。

① 资料来源: https://www.gov.cn/xinwen/2016-05/27/content_5077370.htm。

② 资料来源: https://www.gov.cn/xinwen/2015-03/20/content_2836524.htm。

③ 资料来源: https://www.gov.cn/zhengce/content/2015-09/05/content_10137.htm。

表 5 其他稳健性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	考虑遗漏变量	剔除大城市样本	检验变量Time的敏感性		调整固定效应类型		调整聚类标准	
<i>Time</i> × <i>Treat</i>	0.031*** (0.009)	0.038*** (0.012)	0.035*** (0.012)	0.035*** (0.012)	0.047*** (0.011)	0.048*** (0.012)	0.042*** (0.010)	0.042*** (0.011)
<i>Controls</i>	控制							
<i>Firm</i> 和 <i>Year</i>	控制							
<i>N</i>	7123	4194	6407	7123	7123	7123	7123	7123
<i>R</i> ²	0.221	0.206	0.199	0.198	0.307	0.249	0.199	0.198

五、机制分析与异质性分析

(一)机制分析

本文从信息渠道、产品竞争力渠道和内部控制渠道,探究供应链数字化对供应链韧性的作用机制。本文借鉴江艇(2022)对因果推断的论证,通过考察供应链数字化对中介变量的影响进行机制分析。

1. 信息渠道。供应链数字化可以缓解供应链上下游的信息不对称,实现供应链上下游的供需匹配和供需平衡,而供需匹配和供需平衡是供应链抵抗外部冲击并迅速恢复的重要因素,有助于提升供应链韧性(陶锋等,2023)。因此,检验供应链数字化是否会通过信息渠道来提升供应链韧性,实则是考察外部信息使用者能否有效获取企业的特定信息。

本文参考辛清泉(2014)的研究,选取以下5个变量来衡量企业信息透明度:盈余质量指标、上市公司信息披露考评分值、分析师跟踪人数、分析师盈余预测准确度以及公司当年是否聘请国际“四大”作为其年报审计师。本文对这5个变量进行样本百分等级的均值处理,所得结果数值越高,表明企业信息透明度越高。^①表6中列(1)显示, *Time*×*Treat* 的系数显著为正,表明供应链数字化提高了企业信息透明度,缓解了供应链上下游的信息不对称,供应链数字化的信息渠道得到经验证据支持。

2. 产品竞争力渠道。供应链数字化推动了链上知识和技术的传递与溢出,促进了企业产品“增量提质”和“产品多元化”,由此影响了供应商或客户的选择(李姝等,2021),从而提升了供应链韧性。作为企业竞争力的最终体现,产品竞争力通常表现为企业在行业中具有较高的市场份额,即具有较好的经营业绩和市场表现。本文参考倪晓然(2020)的研究,采用经过行业均值调整后的销售增长率来度量企业产品竞争力。其数值越大,表明企业的产品竞争力越强。表6中列(2)显示, *Time*×*Treat* 的系数显著为正,表明供应链数字化增强了企业产品竞争力,供应链数字化的产品竞争力渠道得到经验证据支持。

3. 内部控制渠道。供应链数字化可以提高内部控制水平,从而提升供应链韧性。首先,供应链数字化可以利用数字技术来实时监督供应链的运转,优化供应链控制流程;其次,供应链数字化能够依据市场需求来管理企业销售环节,避免产品供需失衡;最后,供应链数字化有助于实

表 6 机制分析

	(1)	(2)	(3)
	信息渠道	产品竞争力渠道	内部控制渠道
<i>Time</i> × <i>Treat</i>	0.121** (0.048)	0.161*** (0.033)	0.076*** (0.019)
<i>Controls</i>	控制	控制	控制
<i>Firm</i> 和 <i>Year</i>	控制	控制	控制
<i>N</i>	7030	7113	6984
<i>R</i> ²	0.315	0.467	0.384

① 受篇幅限制,文中未展示详细的变量信息及统计结果,如有需要可向作者索取。

现资源要素在节点企业间的互补和重构,提高资源配置效率(Dolgui 和 Ivanov, 2022)。本文采用企业内部控制指数来衡量内部控制水平,该指数来自迪博内部控制与风险管理数据库。其数值越大,表明企业内部控制水平越高。表 6 中列(3)显示, $Time \times Treat$ 的系数显著为正,表明供应链数字化提高了企业内部控制水平,供应链数字化的内部控制渠道得到经验证据支持。

(二)异质性分析

1. 企业生命周期。本文根据企业年龄,将生命周期划分为初创期(1—6 年)、成长期(7—12 年)和成熟期(12 年以上)三个阶段(李贲和吴利华, 2018)。由于处理组企业样本大多处于成长期和成熟期,本文仅对处于这两个阶段的样本进行检验。表 7 中列(1)和列(2)显示,仅对于处于成熟期的企业,供应链数字化对供应链韧性具有提升作用。供应链数字化需要大量资金用于数字化转型,对于处于成长期的企业,其经营活动所获取的资金往往用于扩大生产规模和抢占市场份额,因而内源资金难以满足企业对数字基础设施和研发创新项目的资金需求,企业经营风险较高;而对于处于成熟期的企业,其经营模式和组织架构比较成熟,充足的盈余能够支撑供应链数字化建设,而且成熟的技术团队能够提升创新研发效率,增强企业应对各类风险的能力。

表 7 异质性分析

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	成长期企业	成熟期企业	产业链上游	产业链下游	营商环境优势地区	营商环境劣势地区
$Time \times Treat$	-0.038** (0.016)	0.046*** (0.011)	0.027 (0.042)	0.043*** (0.010)	0.035*** (0.012)	0.048 (0.045)
Controls	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Firm and Year	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	2207	4850	3119	2498	3774	3344
R ²	0.242	0.199	0.184	0.179	0.212	0.242
系数组间差异检验P值	0.000***		0.069*		0.036**	

注:系数组间差异检验P值采用费舍尔组合检验经过抽样1000次计算得到。

2. 产业链位置。本文参考 Antràs(2012)提出的行业上游度指数,利用世界投入产出数据库(WIOD)中的 2014 年中国投入产出数据进行测算,并以行业上游度指数的中位数来定义产业链上游和下游。表 7 中列(3)和列(4)显示,对于产业链下游企业,供应链数字化提升供应链韧性的效果更加明显。当前,国内市场逐步发展为“大中型国有企业部分主导上游市场垄断,民营企业主导下游市场竞争”的垂直市场结构(钱学锋等, 2019)。在此情况下,上游企业在交易过程中占据主导地位,供应链自身的抵抗力和恢复力较强,供应链“中断”风险较低。而下游企业竞争比较激烈,面临较高的外部环境风险,供应链数字化可以帮助下游企业扩大贸易网络,并通过信息效应和知识溢出来强化企业研发和管理能力,从而提升供应链韧性。

3. 地区营商环境。本文根据市场化指数的中位数来划分营商环境优势地区和劣势地区。表 7 中列(5)和列(6)显示,在营商环境优势地区, $Time \times Treat$ 的系数在 1% 的水平上显著为正。营商环境直接影响企业经营活动,在营商环境优势地区,供应链节点企业间开展贸易合作的安全性得到有效保障,良好的市场秩序、治理水平以及产权保护有助于产品和数据价值的释放,从而发挥供应链数字化的赋能效应。而在营商环境劣势地区,企业间信息不对称程度较高,供应链上下游企业协同难度较大,而且缺乏良好的市场机制作为支撑,供应链数字化难以有效发挥赋能效应。因此,供应链数字化的赋能效果不能忽视外部环境的作用,只有内在因素和外部环境并重,才能更好地发挥供应链数字化提升供应链韧性的积极作用。

六、进一步分析

(一) 基于供应链韧性分解的再检验

理论上, 抵抗力和恢复力是内涵属性不同的两个维度。抵抗力强调系统自身的稳定性, 外部冲击难以对系统运行造成影响, 而恢复力强调系统受到冲击后的回弹甚至升级能力(Gölgeci 和 Kuivalainen, 2020; Negri 等, 2021)。因此, 供应链数字化对上述两个维度的影响可能有所不同。本文利用熵权法分别对供应链抵抗力(*Resis*)和恢复力(*Recov*)两个维度进行综合指数测算, 并将其作为被解

释变量重新进行回归。表 8 中列(1)显示, *Time×Treat* 的系数显著为正, 表明供应链数字化可以增强供应链抵抗力; 而列(2)显示, 供应链数字化并未显著增强供应链恢复力。考虑到供应链受到冲击后恢复至平稳状态甚至实现升级具有时滞性, 本文将供应链恢复力的前置一期作为被解释变量。列(3)显示, *Time×Treat* 的系数在 5% 的水平上显著为正。可见, 供应链数字化可以增强供应链抵抗力和恢复力, 但对供应链恢复力的影响具有滞后性。

(二) 供应链数字化对供应链地理分布的影响

理论上, 供应链数字化有助于打破地域和链域的时空限制与市场分割, 扩大产品和资源要素的流通范围。在此基础上, 企业可以跨区域开展合作, 扩大供应链关系网络, 增强供应链“中断”后的恢复能力。本文以前五大客户是否属于同一省份来定义企业是否发生产品跨区域流动, 并将企业前五大客户中的外省客户数量占比(*Cons*)和销售额占比(*Prop*)作为供应链地理分布的代理指标。上述指标的数值越大, 表明企业开展的跨区域合作越多。表 9 显示, *Time×Treat* 的系数在 5% 的水平上显著为正, 表明供应链数字化有助于打破时空限制, 促进企业跨区域贸易。

(三) 供应链韧性提升对供应链管理效率的影响

上文研究表明, 供应链数字化可以通过扩大供应链地理分布来提升供应链韧性。同时, 企业在发展过程中往往会保留一部分安全库存以预防外部冲击造成供应链中断。因此, 供应链韧性提升可能会引致货运周期延长、贷款催收难度加大、产品堆积和产品调度困难等一系列风险问题, 从而对供应链库存管理和供应链资金管理产生不利影响。那么, 供应链韧性提升会对供应链管理效率产生怎样的影响? 本文以企业库存周转天数(*Inventory*)和资金周转天数(*Accounts*)来反映供应链管理效率, 库存和资金的周转天数越短, 表明产品和资金的流通速度越快, 供应链管理效率越高。表 10 显示, *Resil* 的系数至少在 5% 的水平上显著为正, 表明供应链韧性提升增加了库存和资金的周转天数, 从而降低了产品流和资金流效率。因此, 企业应充分考虑供应链韧性提升带来供应链管理效率损失这种不利影响, 强化供应链库存和资金管理, 避免库存堆积和资金回笼困难等风险问题。

表 8 供应链韧性分解的再检验

	(1)	(2)	(3)
	<i>Resis</i>	<i>Recov</i>	<i>F.Recov</i>
<i>Time×Treat</i>	0.085*** (0.022)	0.021 (0.025)	0.032** (0.016)
<i>Controls</i>	控制	控制	控制
<i>Firm</i> 和 <i>Year</i>	控制	控制	控制
<i>N</i>	7123	7123	4968
<i>R</i> ²	0.200	0.114	0.220

表 9 供应链数字化与供应链地理分布

	(1)	(2)
	<i>Cons</i>	<i>Prop</i>
<i>Time×Treat</i>	0.175** (0.076)	0.124** (0.063)
<i>Controls</i>	控制	控制
<i>Firm</i> 和 <i>Year</i>	控制	控制
<i>N</i>	7123	7123
<i>R</i> ²	0.319	0.293

七、结论与政策启示

本文将供应链创新与应用试点工作作为外生冲击，研究了供应链数字化对供应链韧性的影响。研究发现，供应链数字化通过信息渠道、产品竞争力渠道和内部控制渠道，能够提升供应链韧性。这种效应在成熟期企业、产业链下游和营商环境优势地区更加明显。进一步研究发现，供应链数字化可以提高供应链抵抗力和恢复力，但对供应链恢复力的影响具有滞后性。同时，供应链韧性提升会对供应链管理效率产生不利影响。

本文的研究结论具有以下政策启示：第一，加快推进数字技术与供应链深度融合。一方面，企业应加快新一代信息技术与供应链的深度嵌入应用，积极推进供应链平台建设，充分发挥平台的资源集聚和供需对接功能；另一方面，政府应围绕供应链数字化发展，建立动态监管机制，加强对供应链数字化可操作的标准制定，强化对供应链节点企业的监督与反馈。第二，不断健全供应链数字化提升供应链韧性的各方面机制。一是积极推动各类要素在供应链上高效连接、顺畅流转，并通过大数据分析来实时掌握各个供应链节点的延误和中断风险，打破节点企业间的信息孤岛；二是打造供需高效对接的供应链协同平台，将用户需求与产品设计研发连接起来，迅速响应客户个性化、多样化需求；三是不断优化信息技术，推动企业内部控制体系改革，为数字供应链建设提供安全可靠的环境。第三，强化供应链管理，避免效率损失。一方面，增强企业间协同与合作，共同建立供应链中断的预警系统，合理安排产品的设计研发、流通和销售服务等环节；另一方面，供应链上下游企业与金融机构应联合开展金融业务，构建供应链上下游一体化的金融供给和风险评估体系，以降低供应链上企业的资金成本，加速资金流动。

表 10 供应链韧性与供应链管理效率

	(1) <i>Inventory</i>	(2) <i>Accounts</i>
<i>Resil</i>	0.069*** (0.018)	0.081** (0.035)
<i>Controls</i>	控制	控制
<i>Firm</i> 和 <i>Year</i>	控制	控制
<i>N</i>	7123	7123
<i>R</i> ²	0.511	0.498

主要参考文献：

[1]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, (2): 117-128.

[2]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.

[3]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.

[4]江小涓, 靳景. 数字技术提升经济效率: 服务分工、产业协同和数实孪生[J]. 管理世界, 2022, (12): 9-25.

[5]李贲, 吴利华. 开发区设立与企业成长: 异质性与机制研究[J]. 中国工业经济, 2018, (4): 79-97.

[6]李姝, 李丹, 田马飞, 等. 技术创新降低了企业对大客户的依赖吗[J]. 南开管理评论, 2021, (5): 26-39.

[7]刘诚. 数字化进程与线上市场配置效率——基于平台流量倾斜的微观证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, (6): 175-194.

[8]刘海建, 胡化广, 张树山, 等. 供应链数字化的绿色创新效应[J]. 财经研究, 2023, (3): 4-18.

[9]倪骁然. 卖空压力、风险防范与产品市场表现: 企业利益相关者的视角[J]. 经济研究, 2020, (5): 183-198.

[10]潘红波, 张哲. 高管-客户关系与企业客户稳定度[J]. 管理学报, 2020, (2): 196-203.

[11]钱学锋, 张洁, 毛海涛. 垂直结构、资源误置与产业政策[J]. 经济研究, 2019, (2): 54-67.

[12]史金艳, 杨健亨, 李延喜, 等. 牵一发而动全身: 供应网络位置、经营风险与公司绩效[J]. 中国工业经济, 2019, (9): 136-154.

- [13]宋华, 杨雨东. 现代 ICT 赋能的智慧供应链金融创新与发展[J]. 中国流通经济, 2019, (12): 34–41.
- [14]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.
- [15]王桂军, 罗吉, 雷鑫. “一带一路”倡议的全球治理效应: 沿线国家社会稳定视角[J]. 南方经济, 2023, (6): 67–85.
- [16]辛清泉, 孔东民, 郝颖. 公司透明度与股价波动性[J]. 金融研究, 2014, (10): 193–206.
- [17]杨志强, 唐松, 李增泉. 资本市场信息披露、关系型合约与供需长鞭效应——基于供应链信息外溢的经验证据[J]. 管理世界, 2020, (7): 89–105.
- [18]袁淳, 肖土盛, 耿春晓, 等. 数字化转型与企业分工: 专业化还是纵向一体化[J]. 中国工业经济, 2021, (9): 137–155.
- [19]张树山, 胡化广, 孙磊, 等. 供应链数字化与供应链安全稳定——一项准自然实验[J]. 中国软科学, 2021, (12): 21–30.
- [20]Antràs P, Chor D, Fally T, et al. Measuring the upstreamness of production and trade flows[J]. *American Economic Review*, 2012, 102(3): 412–416.
- [21]Brusset X, Teller C. Supply chain capabilities, risks, and resilience[J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 184: 59–68.
- [22]Büyükoğkan G, Göçer F. Digital supply chain: Literature review and a proposed framework for future research[J]. *Computers in Industry*, 2018, 97: 157–177.
- [23]Chu Y Q, Tian X, Wang W Y. Corporate innovation along the supply chain[J]. *Management Science*, 2019, 65(6): 2445–2466.
- [24]Cull R, Xu L C, Zhu T. Formal finance and trade credit during China’s transition[J]. *Journal of Financial Intermediation*, 2009, 18(2): 173–192.
- [25]Dolgui A, Ivanov D. 5G in digital supply chain and operations management: Fostering flexibility, end-to-end connectivity and real-time visibility through internet-of-everything[J]. *International Journal of Production Research*, 2022, 60(2): 442–451.
- [26]Dubey R, Gunasekaran A, Childe S J, et al. Empirical investigation of data analytics capability and organizational flexibility as complements to supply chain resilience[J]. *International Journal of Production Research*, 2021, 59(1): 110–128.
- [27]Fatorachian H, Kazemi H. Impact of industry 4.0 on supply chain performance[J]. *Production Planning & Control*, 2021, 32(1): 63–81.
- [28]Gölgeci I, Kuivalainen O. Does social capital matter for supply chain resilience? The role of absorptive capacity and marketing-supply chain management alignment[J]. *Industrial Marketing Management*, 2020, 84: 63–74.
- [29]Lerman L V, Benitez G B, Müller J M, et al. Smart green supply chain management: A configurational approach to enhance green performance through digital transformation[J]. *Supply Chain Management*, 2022, 27(7): 147–176.
- [30]Nandi S, Sarkis J, Hervani A A, et al. Redesigning supply chains using blockchain-enabled circular economy and COVID-19 experiences[J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2021, 27: 10–22.
- [31]Negri M, Cagno E, Colicchia C, et al. Integrating sustainability and resilience in the supply chain: A systematic literature review and a research agenda[J]. *Business Strategy and the Environment*, 2021, 30(7): 2858–2886.
- [32]Queiroz M M, Telles R, Bonilla S H. Blockchain and supply chain management integration: A systematic review of the literature[J]. *Supply Chain Management*, 2020, 25(2): 241–254.
- [33]Rauniar K, Wu X B, Gupta S, et al. Risk management of supply chains in the digital transformation era: Contribution and challenges of blockchain technology[J]. *Industrial Management & Data Systems*, 2023, 123(1): 253–277.

[34]Shan J, Yang S T, Yang S L, et al. An empirical study of the bullwhip effect in China[J]. *Production and Operations Management*, 2014, 23(4): 537–551.

Supply Chain Digitization and Supply Chain Resilience

Zhang Shushan, Gu Cheng

(School of Economics and Management, Northeast Normal University, Changchun 130117, China)

Summary: The deep integration of new-generation information technology and the supply chain promotes the transformation and upgrading of traditional supply chains to digital supply chains with deep embedding of digital technology. Supply chain digitization not only achieves the visualization and sustainability of the supply chain, but more importantly, it enables the horizontal extension within the same value chain and the vertical interaction between different value chains, which helps to accelerate the process of modern supply chain construction in China and promote the smooth circulation of the national economy.

Based on the pilot of supply chain innovation and application, this paper empirically examines the impact of supply chain digitization on supply chain resilience using the data of A-share listed companies from 2012 to 2021. The study finds that supply chain digitization can promote supply chain resilience, and information channels, product competitiveness channels, and internal control channels are important mechanisms. Heterogeneity analysis shows that the impact of supply chain digitization on supply chain resilience mainly exists in mature-stage enterprises, downstream of the industrial chain, and advantageous areas of the business environment. Further research reveals that supply chain digitization can also enhance supply chain resistance and recovery capability, but the impact on recovery capability has a lag effect. At the same time, the improvement of supply chain resilience is accompanied by a loss of supply chain management efficiency.

The contributions of this paper are as follows: First, it provides direct empirical evidence for the promotion of supply chain resilience through supply chain digitization, aiming to address the academic debate on the relationship between supply chain digitization and supply chain resilience. Second, it overcomes the shortcomings of existing literature in measuring supply chain resilience. Third, it reveals the potential indirect mechanism and heterogeneity of the impact of supply chain digitization on supply chain resilience. Fourth, it examines the negative impact of enhancing supply chain resilience on supply chain management efficiency, providing valuable warnings for enterprises to strengthen supply chain management in the digitalization process of the supply chain.

Key words: supply chain digitization; supply chain resilience; factor flow; enterprise life cycle; supply chain management efficiency

(责任编辑 康健)