

工业互联网应用对企业供应链韧性的影响 ——基于工业互联网试点示范项目的准自然实验

钟娟¹, 耿青波¹, 丁怡帆², 魏彦杰¹

(1. 安徽财经大学国际经济贸易学院, 安徽蚌埠 233030; 2. 中国人民大学商学院, 北京 100872)

摘要: 促进工业互联网与供应链深度融合是提升供应链韧性的新途径, 对保障产业安全、维护经济稳定运行意义重大。文章以工业和信息化部推出的工业互联网试点示范项目为准自然实验, 构建多期双重差分模型, 实证检验工业互联网应用对企业供应链韧性的影响及其机制。研究发现, 工业互联网应用能够提升企业供应链韧性, 其作用机制在于工业互联网应用能够助力企业增强质量优势、提升营销能力、降低交易成本。异质性分析表明, 工业互联网应用提升企业供应链韧性的作用在数字化应用水平高、供应商配置多元化程度高、声誉较好的企业中更显著; 同时, 该作用在低集中度行业、产业链下游、受公共卫生事件冲击较重地区的企业中也更显著, 具有明显的纾困效应。进一步分析发现, 工业互联网应用对企业供应链韧性的提升作用依赖企业库存的冗余设计, 这将增加库存水平和存货管理压力; 然而, 库存冗余并不会降低企业全要素生产率, 随着供应链韧性增强, 全要素生产率也相应提高, 即工业互联网应用具有提升企业供应链韧性与全要素生产率的双重效果。

关键词: 工业互联网应用; 供应链韧性; 质量优势; 营销能力; 交易成本

中图分类号: F274; F49 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0150(2026)04-0105-17

一、引言

随着产业升级和上下游供应链网络的快速迭代, 产业链供应链运行正由传统的“效率至上”向“统筹安全与效率”转变, 以便在面对外部冲击时保持韧性。“着力提升产业链供应链韧性和安全水平”不仅关乎企业个体的生存, 更是维系产业链运转和经济循环的基础。但不容忽视的是, 当前我国产业链供应链“堵点、断点、短板”问题依然存在, 传统产业链供应链升级时“堵链、断链、掉链”也时有发生(中国社会科学院工业经济研究所课题组和张其仔, 2021)。一旦供应链发生断裂, 不仅会导致被波及企业生产停滞、效益下滑, 还可能通过产业链传导引发系统性风险(陶锋等, 2023)。因此, 探讨如何利用技术手段, 特别是数字技术提升中国企业供应链韧性, 将有助于深入理解数字经济发展重塑供应链企业间合作关系的理论逻辑, 也能为我国实体经济在全球产业博弈中掌握竞争主动权提供实践参考。

近年来, 工业互联网作为新一代信息通信技术与工业经济深度融合的新型数字技术, 正在

收稿日期: 2026-01-19

作者简介: 钟娟(1980—), 女, 河南南阳人, 安徽财经大学国际经济贸易学院教授;

耿青波(2001—), 女, 安徽六安人, 安徽财经大学国际经济贸易学院硕士研究生;

丁怡帆(2000—), 男, 河南洛阳人, 中国人民大学商学院博士研究生(通信作者);

魏彦杰(1973—), 男, 河南平顶山人, 安徽财经大学国际经济贸易学院副教授。

成为促进要素、产业链、价值链连接的新途径。2017年11月,《国务院关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》将工业互联网建设上升为国家战略。同年12月,习近平总书记在十九届中共中央政治局第二次集体学习时强调:“深入实施工业互联网创新发展战略,系统推进工业互联网基础设施和数据资源管理体系建设。”理论上,工业互联网作为实现人员、设备、产品等全面互联的多种异构网络的集中组网,能够促进产业链上下游间海量信息和资源的高效整合与利用(武汉大学工业互联网研究课题组, 2020),为提升供应链韧性提供可能。那么,随之而来的重要问题是:作为当前阶段我国提升供应链韧性的关键性举措,工业互联网应用是否达到了预期效果(即提升供应链稳定性和抗风险水平)?进一步地,其内在作用机理是什么?

与本文相关的文献主要有两支。一支是供应链韧性的内涵和影响因素研究。通常认为,供应链韧性是指供应链在应对外部冲击时,能够抵抗干扰、维持运营、防止断链并最终达到更理想状态的综合能力。其中,“抵抗力”和“恢复力”是韧性的核心(Carvalho等, 2021; Negri等, 2021)。在影响因素方面,供应商配置(Grossman等, 2023; 巫强和姚雨秀, 2023)、人工智能应用(宋华等, 2024)、数字化转型(张树山和谷城, 2024; 袁业虎和吴端端, 2025)、智慧物流(张树山等, 2023)、供应链全球化布局(Bonadio等, 2021)等都被认为对供应链韧性有重要影响。在诸多研究方向中,有关数字化转型的文献与本文最为接近。不过,由于数字化转型不强制要求“跨企业”数据主权级互联,供应链韧性的提升可能只是数字化转型的衍生结果。而工业互联网是促进要素、产业链、价值链互联互通并推动产业链供应链优化升级的“神经系统”型技术(武汉大学工业互联网研究课题组, 2020),能够推动企业围绕供应链各环节实现数字化应用的全面融合与整体升级。因此,针对性地探讨工业互联网应用对企业供应链韧性的影响非常必要。另一支文献是工业互联网应用的经济后果研究。既有文献探讨了工业互联网应用对企业盈利能力(伍先福和黄晓, 2024)、全要素生产率(钞小静等, 2024)、价值创造(卢福财和陈慧, 2023; 李雪灵等, 2025)、创新水平(应瑛等, 2025)、供应链网络地位(史晓洁和李洋, 2025)等的影响。但现有研究尚未明确工业互联网应用对企业间供求关系这一经营中间环节的系统性重构作用,导致难以观察到工业互联网优化供应链的作用过程和效果,也难以从供应链视角深刻理解其改变企业绩效的原理。同时,相关文献在观测工业互联网应用水平时,大多采用文本分析或案例分析的方法,可能引发测量误差、内生于非技术因素等问题,使得工业互联网应用经济后果检验中的因果关系识别面临一定挑战。

解决上述问题的理想方式是找到一个合理的外生政策冲击,以此来检验工业互联网应用与企业供应链韧性的因果联系。对此,工业和信息化部(以下简称工信部)自2018年起开展的“工业互联网试点示范项目”提供了合适的研究场景。该项目基于《国务院关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》,围绕工业互联网网络、标识解析、平台、安全等多个方向,每年遴选一批试点示范项目,鼓励各试点企业加快构建并完善一系列工业互联网应用场景,最终通过试点先行、示范引领,推进工业互联网和产业链供应链深度融合。据此,本文以该试点示范项目为准自然实验,评估工业互联网应用对企业供应链韧性的影响。

本文的边际贡献主要体现在三个方面:第一,丰富了工业互联网赋能企业供应链管理的研究范式。工业互联网作为新型数字基础设施,是推动供应链升级的关键技术。为深入推进工业互联网创新发展战略、促进工业互联网融合应用,工信部自2018年起启动工业互联网试点示范项目,其实施效果成为潜在研究热点。同时,已有文献主要基于年报词频构建衡量工业互联网应用水平的指标,观察其在企业经营绩效等方面的作用(史晓洁和李洋, 2025),而很少关注工业互联网应用对供应链的深刻影响。基于此,本文以多批次实施的工业互联网试点示范项目为

准自然实验,构建多期双重差分(DID)模型,探讨工业互联网应用对企业供应链韧性的影响,不仅有助于增进对工业互联网赋能实体经济发展的认知,还将拓展工业互联网经济效应的研究边界。第二,为供应链管理优化提供了工业互联网应用这一新的研究视角。以往关于供应链韧性影响因素的研究多集中在供应商选择、数字化转型等方面(Grossman等, 2023; 袁业虎和吴端端, 2025),对工业互联网这一面向供应链的新型数字技术却鲜有涉及。本文从工业互联网视角探讨提升企业供应链韧性的动因,并将其机制聚焦于产品质量优势、营销能力、交易成本三个方面,丰富了工业互联网影响企业供应链韧性的机理研究。第三,为相关政策的制定与实施提供了经验参考。“提升产业链供应链韧性和安全水平”是全面深化改革、推进中国式现代化的重点任务,尤其是在外部环境高度不确定的当下,借助工业互联网构建高韧性供应链体系的需求愈发迫切。本文研究表明,工业互联网应用能够有效提升企业供应链韧性,并随之提高企业全要素生产率,将进一步推动工业互联网与实体经济深度融合提供明确的经验依据和政策启示。

二、制度背景和理论分析

(一)制度背景

随着全球产业链供应链重构加速、不确定性风险日益加剧,供应链和工业互联网深度融合已成为各国提升供应链韧性,进而优化资源配置效率、构建竞争新优势的重要手段。2017年,《国务院关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》首次明确了我国发展工业互联网的目标、任务和路径,标志着工业互联网建设迈入上升至国家战略层面的新阶段。随后,工信部在2018年和2020年先后印发《工业互联网发展行动计划(2018—2020年)》和《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023年)》,进一步明确并细化了工业互联网发展的阶段性目标和重点任务。经过多年发展,截至2025年5月,我国工业互联网应用已拓展至49个国民经济大类,实现41个工业大类全覆盖,赋能转型升级作用不断凸显。^①

其中,工信部推动的工业互联网试点示范项目是一系列工业互联网建设行动的核心政策。与其他侧重于信息技术普及或局部环节智能化改造的政策不同,工业互联网试点示范项目更突出“工业互联网”这一特定技术和应用体系,鼓励企业围绕新技术类、工厂类、网络类、平台类、安全类等多个方向加快工业互联网创新发展,实现供应链数据互联互通,助力企业在生产制造、供应链管理、产品服务等多个环节实现数字化改造和智能化升级,形成开放协同、融合创新的工业生态系统。可以预见,入选该项目后,企业的工业互联网应用水平将大幅提升,为提升企业供应链韧性提供强大助力。

(二)理论分析与研究假说

根据复杂适应系统理论,供应链是由异质性主体构成的自适应网络(Choi, 2001),其韧性包含抵抗力和恢复力两个核心维度(Carvalho等, 2021; Negri等, 2021)。其中,抵抗力指供应链在冲击下维持链条顺畅运行的能力,体现为资金流转效率和供求合作稳固性(张树山和谷城, 2024);恢复力则指供应链偏离原始运行轨迹后的回弹能力,企业供需匹配能力越强,回弹速度越快(陶锋等, 2023)。在传统供应链模式下,供求信息割裂、传输滞后、信息整合与处理能力不足等问题催生“信息孤岛”现象(Yang等, 2021),不仅使得企业在产品质量管控、营销能力提升等方面严重受限并面临较高的交易成本,还加剧供应链断链风险。具体表现在三方面:第一,

^①新华网:《工业互联网核心产业规模超1.5万亿》,2025年5月27日, <https://www.xinhuanet.com/fortune/20250527/2252be4b7d414a049480ea0f925f62d4/c.html>, 2026年7月20日访问。

随着现代化生产所蕴含的设计和工艺信息急剧增多,供应链运行需要具备较强的数据处理能力,而传统供应链模式无法实现对产线和设备的实时数据收集与处理(赵宸宇, 2021),容易出现质量事故,降低客户满意度。同时,面对多变的市场需求和激烈竞争,企业需要持续改善产品品质,以便精准匹配用户偏好。但在传统供应链模式下,企业对用户个性化需求、产品多场景适配等信息的识别能力不足,难以针对性地完善产品质量(陈剑等, 2020)。这都在无形中削弱了企业的供需匹配能力和资金流转效率。第二,传统供应链模式下的“信息孤岛”现象会带来信息失真,削弱企业交付效率和对市场需求的捕捉能力,极易造成交付延迟、库存积压等问题,严重制约企业的营销能力,削弱供应链供需匹配程度及其资金流转效率(李琦等, 2025)。同时,“信息孤岛”也将阻碍供求双方及时互动,降低企业对客户需求的反应速度,这不仅会加大客户流失风险,还会制约企业依据客户反馈不断优化其供应链的能力,最终导致营销能力退化,延缓供应链面对冲击时的回弹节奏。第三,“信息孤岛”现象使得企业无法整合利用上下游间的海量信息,难以实现低成本且高效的信息检索、评估和交易监督,其供应链运行的交易成本较高(张树山和谷城, 2024)。高交易成本不仅会制约企业的渠道拓展能力,使其在面临市场冲击时缺少可替代的资源,也会弱化企业筛选交易伙伴与实施交易监督的效果,增大交易冲突的可能性(邱煜等, 2023)。由此,企业在供应链管理中实现供需匹配与提升资金流转效率的难度都将上升。

进一步地,根据资源基础观,工业互联网作为一种战略性技术,本质上是企业异质性资源的体现(Peteraf, 1993)。较强的工业互联网应用能力有助于企业系统整合供应链各节点信息,摆脱“信息孤岛”,从而为企业供应链韧性的塑造奠定基础。从设计架构看,工业互联网作为一种“神经系统”型技术,兼具平台化设计、智能化制造、个性化定制、数字化管理、网络化协同、服务化延伸六大新功能,与其他类似的技术应用(如传统物联网、工业机器人、人工智能)存在较大差异(如图1所示),能够为企业更好地获取外部信息、改善产品品质、优化交易管理以及实现上下游协同响应提供有利条件,从而深刻影响供应链运行、提升供应链韧性。

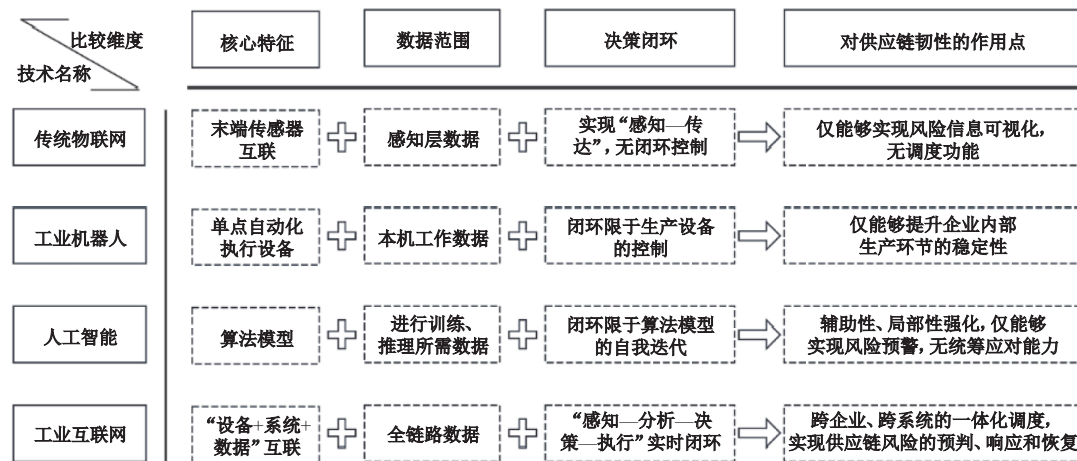


图1 工业互联网与同类技术的差异

第一,工业互联网应用有助于企业形成“低质量缺陷率+高市场贴合度”的产品质量优势,提高产品竞争力,从而提升企业供应链韧性。首先,智能化制造作为工业互联网应用的重要方向,能够实现生产全流程自动监控与优化,降低人工操作误差带来的产品质量缺陷(李雪灵等, 2025)。同时,工业互联网应用还可以贯通从原材料采购、生产制造、物流仓储到售后服务的

全流程数据,建立产品标识解析体系。一旦发现质量异常,即可开展“精准定位—快速召回—责任追溯”闭环管理,及时解决质量问题、弱化事故影响(陈剑等,2020)。由此,工业互联网应用带来的产品低缺陷率减少了非计划停机与逆向物流,从源头上缓解因产品质量引发的资金占用或质量索赔问题,增强供应链抵抗力。其次,动态能力理论指出,企业在面对需求波动时,需持续更新资源基础和能力结构以维持竞争优势(Teece, 2007)。工业互联网支持供应链上需求信号的高效传递,有助于企业运用个性化定制技术,调整并创新既有产品的特性和功能,精准匹配动态化、多元化的市场需求(江小涓和靳景,2022;钟娟等,2025)。这种对用户需求的精准把握体现了企业的感知能力和捕捉能力,使其在面对市场冲击时快速调整产品生产、优化供需匹配,增强供应链恢复力。最后,工业互联网还带来网络化协同的外溢效应,企业对质量的严苛要求会沿供应链向上游传导,倒逼上游企业同步开展技术创新与管理优化(陶锋等,2023),从而提高原材料和中间投入品的供应质量,进一步增强主体企业的产品质量优势,提升供应链韧性。

第二,工业互联网应用也有助于实现交付提速、促进业财融合、增强客户黏性,从根本上化解营销能力弱化带来的断链风险。首先,依托智能化制造功能,工业互联网可以在大规模定制和协同化生产场景下大幅提升企业生产效率,缩短订单交付周期(伍先福和黄晓,2024)。同时,借助工业互联网的数字化管理功能,企业能够将数字运营管理贯穿业务流程的每一个作业环节和工作步骤,实现生产运营全流程数据分析(甄杰等,2025),从而精准识别运营瓶颈,及时改进低效环节,强化交付能力。由此,交付提速将加快资金回流速度,降低资金占用带来的断链风险,增强供应链抵抗力。其次,根据“长鞭效应”理论,在传统供应链中,需求波动向上游传递时会因信息失真而被逐级放大,导致上游企业过度提高产能、累积库存,增加资金占用成本(杨志强等,2020)。工业互联网通过贯通销售、财务和客户数据的数字化管理功能,可以实现企业业务、财务的深度协同以及供应链各环节信息的实时共享,构建基于产品全生命周期的盈利性分析和应收账款可视化管理,帮助企业更好地应对市场需求变化,动态调整销售策略、有效提升应收账款回笼速度和销售效率(苏桔芳等,2025;袁业虎和吴端端,2025),增强供应链抵抗力。最后,工业互联网的远程运维、在线服务等服务化延伸功能有助于优化客户体验、提升客户黏性(江小涓和靳景,2022)。同时,上下游实时数据共享能提高企业间的互动频次,打破信息和资源的结构性壁垒,从而加强企业间的联结纽带,为建立长期稳定的合作关系奠定基础(谢家平等,2024)。这都有助于在供应链遭受冲击时,减少客户流失,缩短供应链恢复周期,增强供应链恢复力。

第三,交易成本理论认为,供应链交易成本包括市场渠道性交易成本和监督性交易成本。前者涵盖企业在外部交易市场建立合作关系过程中进行搜寻、谈判、签约等产生的成本;后者主要指企业在交易过程中为确保契约执行、防止机会主义行为而产生的成本(袁淳等,2021)。工业互联网应用可以降低这两类成本,提升企业供应链韧性。一方面,工业互联网的平台化设计将供应商、制造商、物流商、客户等纳入协同网络,构建互联互通的高密度产业生态圈,企业可在平台内以近乎零边际成本完成交易伙伴的检索与评估,显著压缩市场搜寻时间(史晓洁和李洋,2025)。随着市场渠道性交易成本的降低,企业可以更轻松地布局多渠道网络,在市场变化时快速找到替代客户,避免大客户依赖导致的销售渠道锁定(钟娟等,2025),保障供应链运行的连续性,增强供应链恢复力。另一方面,平台化设计的大数据优势通过沉淀海量交易和行为数据,可以对每个节点企业生成动态信用画像,帮助主体企业在交易前筛选可靠合作伙伴(江小涓和靳景,2022),从而将事后风险管理转化为事前风险预防,降低潜在的监督成本。同时,工业互联网的数字化管理功能还可以实现企业管理透明化和决策数据化,缓解信息不对称

并减少可能存在的机会主义行为,使得针对交易行为的内部控制“降本增效”(卢福财和陈慧, 2023)。由此,工业互联网通过发挥降低监督性交易成本的积极作用,能够提升企业对交易活动的监督效率,防范因违约引发的合作冲突,进而增强供应链的抵抗力。

综上,本文提出如下假说。

假说1:工业互联网应用能够提升企业供应链韧性。

假说2:工业互联网应用提升企业供应链韧性的机制在于增强质量优势、提升营销能力、降低交易成本。

三、研究设计

(一) 基准模型设定

本文将工信部推动的工业互联网试点示范项目视为外生冲击,利用双重差分法检验工业互联网应用与企业供应链韧性之间的因果效应。基准模型设定如下:

$$Resil_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Treat_i \times Post_t + \sum \alpha_j Controls_{it} + \sum Firm + \sum Year + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 和 t 分别表示上市公司和年份; j 为变量顺序, 无实际意义。被解释变量 $Resil_{it}$ 表示 i 企业在 t 年的供应链韧性水平; 核心解释变量 $Treat_i \times Post_t$ 为利用工业互联网试点示范项目构造的指示变量, $Treat_i$ 为企业虚拟变量, $Post_t$ 为时间虚拟变量; $Controls_{it}$ 为控制变量。此外, 为控制不可观察的个体和时间差异对企业供应链韧性的影响, 本文还加入了企业固定效应 ($Firm$) 和年份固定效应 ($Year$)。 ε_{it} 为随机误差项。

(二) 变量设定

1. 被解释变量: 企业供应链韧性 ($Resil$)。借鉴已有文献 (Negri 等, 2021; 张树山和谷城, 2024), 本文从抵抗力和恢复力两个维度出发, 选取四项指标对企业供应链韧性开展综合测度。

首先, 供应链抵抗力体现了供应链关系的稳固性, 其核心是供应链在应对内外部冲击时, 维持链条顺畅运行的能力。由于下游企业对上游企业的资金占用是影响企业供应链关系稳固性的重要因素 (陶锋等, 2023), 本文参考 Cui 等 (2009) 的做法, 使用企业年末应收账款与年末营业收入之比 ($Yszk$) 以及年末应付账款与年末总负债之比 ($Yfzk$), 分别衡量客户对企业以及企业对供应商的资金占用情况。显然, 比值越小, 意味着下游企业对上游企业的资金占用越少, 企业与客户、供应商之间的合作关系破裂的可能性越小, 供应链抵抗力越强。

其次, 供应链恢复力体现了供应链在面对冲击时偏离原始运行轨迹后的回弹能力。当供应链遭遇外部冲击时, 企业生产量和需求量受到影响, 会偏离原有状态, 将在短期内造成供需失衡。与此同时, 企业经济绩效也会偏离预期运行轨迹, 之后逐步调整, 试图恢复至受冲击前的状态。因此, 参考张树山和谷城 (2024) 的做法, 本文先使用企业生产量与需求量的滚动窗口标准差之比 ($Matching$) 来衡量企业供需偏离度。若 $Matching$ 值大于 1, 则表明企业供应链上供需偏离程度较大, 供应链恢复力较弱。然后, 本文使用企业经济绩效的估计残差 (Res) 来衡量经济绩效偏离度。该残差值越大, 意味着企业在受冲击后实际经济绩效超出预期水平的幅度越大, 供应链恢复力越强。

最后, 采用熵值法对供应链抵抗力和恢复力两个维度下的四项指标进行综合测算, 得到企业供应链韧性 ($Resil$)。

2. 核心解释变量: 利用工业互联网试点示范项目构造的指示变量 ($Treat \times Post$)。首先, 依据工信部自 2018 年起发布的工业互联网试点示范项目名单, 本文结合项目名称和申报单位, 确认

工业互联网应用的试点企业,并将其与上市公司名称进行匹配。考虑到子公司申报项目对其母公司的工业互联网应用会产生外溢效应,本文将名单中属于上市公司和母公司为上市公司的试点企业均作为处理组,并将入选工业互联网试点示范项目的时限定为2018—2022年,以保证处理组样本充裕且在政策前后留有观察期。其次,本文参考权小锋和李闯(2022)的做法来选择对照组,采用“爬虫技术+人工确认”的方法,对未入选工业互联网试点示范项目的上市公司进行年报关键词爬取。以卢福财和陈慧(2023)的研究为参考,本文选择“工业互联网、智能制造、云平台”作为核心词,并选择“物联网、人工智能物联网、协同制造、数字工业、供应链数字化、云服务、云计算”作为衍生词。若企业在整个样本期内,每年度的关键词加总词频均为0,则判定该企业未涉及工业互联网应用,将其纳入对照组。最后,核心解释变量 $Treat \times Post$ 由双重差分变量构成。若 i 企业属于处理组企业,则 $Treat$ 赋值为1,否则为0;若 i 企业在年份 t 第一次入选工业互联网试点示范项目名单,则 $Post$ 在当年及之后年份赋值为1,否则为0。

3. 控制变量。参考已有研究,本文选取三类控制变量。(1)企业特征层面变量:企业规模($Size$),以总资产取自然对数衡量;企业年龄(Age),以当前年份减去成立年份加1后取自然对数衡量;资产收益率(Roa),以净利润与总资产之比衡量;资产负债率(Lev),以总负债与总资产之比衡量;企业成长($Growth$),以营业收入增长率衡量;现金流量($Cflow$),以经营活动产生的现金流净额与总资产之比衡量;托宾Q值($Tobin$),以市值与总资产之比衡量。(2)企业治理层面变量:股权集中度($Top1$),以第一大股东持股数与总股本之比衡量;董事会规模($Board$),以董事会总人数取自然对数衡量;两职合一($Dual$),若董事长与总经理兼任则赋值为1,否则为0;独立董事占比($Indep$),以独立董事人数与董事会人数之比衡量。(3)地区层面变量:气候风险($Climate$),以“气候风险”扩展词集总词频与年报文本总词数之比 $\times 100$ 衡量;交通网密度($DOHN$),以公路、铁路总里程与行政区划面积之比(公里/平方公里)衡量;城镇化率(ROU),以城镇人口与总人口之比衡量;互联网普及率(IPR),以互联网用户数与总人口之比衡量。

(三)样本选择与主要变量的描述性统计

本文选取2013—2023年A股上市公司为研究样本,初始数据来自CSMAR数据库、Wind数据库和CNRDS数据库。为提高数据可靠性和代表性,同时排除极端值的干扰,剔除样本期内ST、*ST、退市、金融类企业样本,以及基准回归中变量数据存在缺失的观测值,并对连续变量进行上下1%分位数水平的缩尾处理,最终得到5 587个“企业—年度”层面观测值。主要变量的描述性统计结果见表1。

四、实证分析

(一)基准回归

表2展示了工业互联网应用对企业供应链韧性的影响。可以看出,在分步加入控制变量的过程中,核心解释变量 $Treat \times Post$ 的估计系数始终在1%水平上显著为正,表明工业互联网应用可以有效提升企业供应链韧性,验证了假说1。

(二)稳健性检验^①

1. 异质性处理效应。考虑到双向固定效应的多期DID模型易产生异质性处理效应问题,本文先参考De Chaisemartin和D'Haultfoeuille(2020)的方法对处理效应的权重进行分解;然后,借鉴Callaway和Sant'Anna(2021)的研究,采用CSDID方法对可能存在的异质性处理效应进行稳健性估计。结果均表明,异质性处理效应对基准回归结果无实质性影响,工业互联网应用对企业

^①限于篇幅,稳健性检验结果留存备索。

表 1 描述性统计结果

变量类型	变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	<i>Resil</i>	5 587	0.6595	0.0377	0.3515	0.7712
核心解释变量	<i>Treat</i> × <i>Post</i>	5 587	0.0700	0.2551	0	1
控制变量	<i>Size</i>	5 587	22.4126	1.3573	18.9017	26.7881
	<i>Age</i>	5 587	3.0754	0.2583	1.7918	3.5553
	<i>Roa</i>	5 587	0.0366	0.0627	-0.3411	0.2749
	<i>Lev</i>	5 587	0.4179	0.2013	0.0566	1.0442
	<i>Growth</i>	5 587	0.3547	1.1466	-0.8497	8.4446
	<i>Cflow</i>	5 587	0.0541	0.0692	-0.1994	0.2646
	<i>Tobin</i>	5 587	1.9511	1.2224	0.8577	8.4650
	<i>Top1</i>	5 587	0.3417	0.1459	0.0842	0.7542
	<i>Board</i>	5 587	8.6757	1.4133	5	15
	<i>Dual</i>	5 587	0.2814	0.4497	0	1
	<i>Indep</i>	5 587	0.3839	0.0754	0.1875	0.6000
	<i>Climate</i>	5 587	0.1962	0.2095	0	2.0982
	<i>DOHN</i>	5 587	1.2929	0.4604	0.0578	2.3093
	<i>ROU</i>	5 587	0.6834	0.1197	0.2393	0.8960
	<i>IPR</i>	5 587	0.3403	0.1166	0.0603	0.5577

供应链韧性提升的正向作用依然稳健。

2. 动态效应检验。参考Jacobson等(1993)的做法,本文采用事件研究法进行动态效应检验。结果显示,工业互联网试点示范项目实施前,估计系数均不显著异于零,满足平行趋势假设。同时,估计系数在政策当年不显著,但在政策实施后的第一年及后续年份显著为正,表明入选工业互联网试点示范项目对企业供应链韧性的提升作用具有时滞性。实际上,上下游企业需要围绕工业互联网技术架构进行深度磨合,并在这一过程中重构企业内部的组织惯例、资源配置和能力梯度,因此,工业互联网应用对提升企业供应链韧性的积极作用并非一蹴而就。进一步地,考虑到多期DID中的异质性处理效应问题,借鉴Cengiz等(2019)的研究,本文采用堆叠双重差分法(Stacked DID)重新进行平行趋势检验。结果显示,平行趋势依然成立。

3. 安慰剂检验。为进一步增强基准回归结果的可靠性,参考Chetty等(2009)的研究,本文通过随机选取工业互联网试点示范企业和随机设定工业互联网试点示范项目实施时间,并抽样1000次进行安慰剂检验。结果显示,在这两种随机模拟过程中,虚拟样本回归系数的均值都趋近于零,且 P 值大多高于0.1,表明回归结果显著属于小概率事件。由此可推断,工业互联网应用能够提升企业供应链韧性的结论具备一定的稳健性。

4. 排除其他政策干扰。考虑到企业供应链韧性的变化也可能受研究期间内其他政策的影响,需进一步排除可能的政策干扰。本文主要梳理了三项政策:(1)智能制造试点示范项目(IM)。该项目由工信部推动,是贯彻落实《中国制造2025》以及推动试点示范企业实现生产模式变革、提升生产效率的重要举措。(2)制造业与互联网融合发展试点示范项目(MII)。该项目由工信部联合财政部等部委共同推出,旨在贯彻落实《国务院关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》,深化制造业试点示范企业与互联网融合发展。(3)新一代信息技术与制造业融合发展试点示范项目(NIT)。该项目由工信部组织开展,旨在推动5G、人工智能、工业互联网等新一代信息技术与制造业试点示范企业深度融合。结果显示,入选工业互联网试点示范项目

对提升企业供应链韧性的显著正向作用与基准回归结果一致,研究结论稳健。

5. 其他稳健性检验。(1)更换被解释变量。本文针对 $Yszk$ 、 Yfk 、 $Matching$ 和 Res 的标准化值,通过直接相加和主成分分析,分别得到 $Resil_sum$ 和 $Resil_PCA$,将其作为新的被解释变量,代入基准模型进行回归。(2)考虑到企业特征差异等混杂因素也可能导致研究结果出现偏误,本文采用卡尺内1:4倾向得分匹配法和熵平衡匹配法为处理组企业寻找最为相似的对照组企业,重新进行回归。(3)为避免自选择问题,本文使用面板Probit模型,计算逆米尔斯比(IMR)并将其加入基准模型,重新进行回归。(4)缩小处理组样本范围,剔除基准回归中母公司为上市公司的样本,重新进行回归。(5)控制更多样本特征,一方面加入行业、地区固定效应进行高维控制,另一方面加入企业×行业、企业×地区、行业×地区交互固定效应进行联合控制。(6)为控制样本期内新冠疫情这一重大公共卫生事件对回归结果的影响,本文引入疫情虚拟变量($COVID$),在2020—2022年赋值为1,其余年份赋值为0,加入基准模型进行回归。结果显示,在上述各类稳健性检验下, $Treat \times Post$ 的估计系数始终显著为正,基准回归结果可靠,表明“工业互联网应用能够显著提升企业供应链韧性”这一核心结论具有较好的稳健性。

(三) 机制分析

基于前文的理论分析,本文认为工业互联网应用可以通过增强质量优势、提升营销能力、降低交易成本三个渠道提升企业供应链韧性。因此,借鉴江艇(2022)的研究,本文构建如下回归模型,对上述三类机制进行检验:

$$M_{it} = \eta_0 + \eta_1 Treat_i \times Post_t + \sum \eta_j Controls_{it} + \sum Firm + \sum Year + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, M_{it} 为相应的中介变量,控制变量设置与基准模型一致。

1. 产品层面的作用机制。增强产品质量优势是工业互联网赋能作用的重要体现。通过工业互联网应用,企业不仅能降低次品率、精准匹配客户需求,还能推动上游企业供应质量的同步

表2 基准回归结果

变量	被解释变量 $Resil$			
	(1)	(2)	(3)	(4)
$Treat \times Post$	0.0104*** (0.0023)	0.0052*** (0.0018)	0.0053*** (0.0018)	0.0051*** (0.0018)
$Size$		0.0114*** (0.0016)	0.0114*** (0.0016)	0.0111*** (0.0016)
Age		-0.0140 (0.0109)	-0.0130 (0.0114)	-0.0120 (0.0114)
Roa		0.0279*** (0.0073)	0.0273*** (0.0071)	0.0267*** (0.0071)
Lev		-0.1321*** (0.0057)	-0.1323*** (0.0056)	-0.1322*** (0.0057)
$Growth$		0.0016*** (0.0003)	0.0016*** (0.0003)	0.0016*** (0.0003)
$Cflow$		0.0260*** (0.0044)	0.0258*** (0.0044)	0.0257*** (0.0044)
$Tobin$		0.0004 (0.0003)	0.0004 (0.0003)	0.0004 (0.0003)
$Top1$			0.0058 (0.0068)	0.0065 (0.0001)
$Board$			-0.0001 (0.0005)	-0.0001 (0.0005)
$Dual$			-0.0020* (0.0011)	-0.0019* (0.0011)
$Indep$			0.0041 (0.0034)	0.0042 (0.0034)
$Climate$				0.0068 (0.0061)
$DOHN$				0.0060 (0.0047)
ROU				0.0001 (0.0194)
IPR				0.0056 (0.0138)
$Constant$	0.3588*** (0.0002)	0.1984*** (0.0503)	0.1934*** (0.0525)	0.1844*** (0.0545)
固定效应	控制	控制	控制	控制
N	5 587	5 587	5 587	5 587
$adj. R^2$	0.7830	0.8889	0.8891	0.8894

注: *、**、***分别表示在10%、5%、1%的水平上显著,括号内为聚类到企业层面的稳健标准误,下同。

提升(陶锋等, 2023; 李雪灵等, 2025), 从而提高产品质量。而质量优势是产品竞争力的重要来源, 高质量产品能帮助企业强化其市场地位和竞争优势, 降低供应链因需求波动等引发的断裂风险, 提升供应链韧性。据此, 参考钟娟等(2025)的研究, 本文使用勒纳指数(*Compet*)和经行业均值调整后的营业收入增长率(*Gsale*)来衡量产品质量优势。*Compet*值越大, 说明企业产品利润空间越大; *Gsale*值越大, 说明企业在行业中的市场表现越突出。这都意味着企业产品的质量优势越明显。表3列(1)和列(2)显示, *Treat*×*Post*对*Compet*和*Gsale*均有显著正向作用, 表明对于入选工业互联网试点示范项目的企业, 工业互联网应用有助于增强其产品质量优势, 支持假说2。

表 3 机制分析结果

变量	机制一: 产品层面		机制二: 销售层面		机制三: 交易层面
	(1) <i>Compet</i>	(2) <i>Gsale</i>	(3) <i>DSO</i>	(4) <i>NATD</i>	(5) <i>TC</i>
<i>Treat</i> × <i>Post</i>	0.0232*** (0.0070)	0.1357** (0.0588)	-0.0183** (0.0072)	-0.0077* (0.0043)	-0.0184*** (0.0064)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	5479	5587	5560	5585	5578
<i>adj. R</i> ²	0.7187	0.9845	0.7879	0.8176	0.8677

注: 为确保中介变量与被解释变量的关系符合理论分析且具有显著性, 本文还进行了机制可靠性分析, 分析结果留存备案。

2. 销售层面的作用机制。提升营销能力也是工业互联网赋能的重要方面。借助工业互联网, 企业可以缩短订单交付周期、强化应收账款管理、优化客户服务(江小涓和靳景, 2022; 钞小静等, 2024), 从而加速企业资金周转、提升销售效率。由此, 营销能力的提升不仅能降低资金占用导致的断链风险, 也能在供应链面对冲击时, 保证企业有充足空间调整营销策略, 维护供应链稳定。据此, 本文使用应收账款周转天数和股东权益周转天数, 分别衡量企业资金周转速度(*DSO*)和企业销售效率(*NATD*)。将*DSO*和*NATD*的取值范围均标准化为[0,1]。*DSO*值越小, 说明企业资金周转速度越快; *NATD*值越小, 说明权益资本实现收入循环的速度越快, 企业销售效率越高。表3列(3)和列(4)显示, *Treat*×*Post*对*DSO*和*NATD*均有显著负向作用, 表明对于入选工业互联网试点示范项目的企业, 工业互联网应用有助于加速其资金周转并提高其销售效率, 支持假说2。

3. 交易层面的作用机制。工业互联网还具有降低交易成本的赋能作用。工业互联网的平台化设计可以帮助企业拓展潜在客户并缩短市场搜寻时间, 同时, 大数据优势也有助于企业利用信用画像筛选合作伙伴(史晓洁和李洋, 2025), 降低市场渠道性交易成本和监督性交易成本。工业互联网环境下交易成本的降低不仅有利于企业布局多渠道营销网络, 避免大客户依赖(邱煜等, 2023), 而且有助于提升企业对交易活动的监督效率, 减少合作冲突(袁业虎和吴端端, 2025), 从而带来更稳定的供应链关系。据此, 参考黄群慧等(2019)的研究, 本文将交易成本(*TC*)定义为市场渠道性交易成本(以销售费用/营业收入衡量)和监督性交易成本(以管理费用/营业收入衡量)之和。*TC*值越小, 说明企业面临的交易成本越低。表3列(5)显示, *Treat*×*Post*的估计系数显著为负, 表明对于入选工业互联网试点示范项目的企业, 工业互联网应用有助于降低其交易成本, 支持假说2。

五、异质性分析与进一步分析

(一) 异质性分析

1. 企业内部特征差异

(1) 数字化应用水平的影响。虽然工业互联网为提升企业供应链韧性提供了“数据驱动+互联协同”的技术支撑,但入网企业对技术的吸收、整合和应用深度取决于其数字化应用水平(李琦等, 2025)。企业自身的数字化应用越深入,越有利于其在工业互联网环境下构建高质量数据底座,深度挖掘并释放数据价值,充分发挥工业互联网对供应链的优化作用。基于此,本文使用CSMAR数据库提供的企业数字化应用评分来衡量数字化应用水平(DA),并按照中位数将总样本划分为应用水平高、低两组,使用基准模型进行分组回归。表4列(1)和列(2)显示, $Treat \times Post$ 的估计系数在应用水平高的企业组中显著为正,在应用水平低的企业组中则不显著,表明工业互联网应用对企业供应链韧性的提升作用依赖于企业对数字化技术的深度应用。

表 4 企业内部特征异质性分析结果

变量	被解释变量 $Resil$					
	应用水平低	应用水平高	多元化程度低	多元化程度高	声誉较差	声誉较好
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$Treat \times Post$	0.0018 (0.0017)	0.0067*** (0.0021)	0.0007 (0.0021)	0.0087*** (0.0020)	0.0004 (0.0030)	0.0064*** (0.0017)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	2 790	2 760	2 617	2 615	2 773	2 718
$adj. R^2$	0.9088	0.8994	0.9056	0.8908	0.8832	0.9043
系数组间差异检验 P 值	0.000***		0.000***		0.000***	

注:系数组间差异检验 P 值采用费舍尔组合检验抽样100次计算得到,下表同。

(2) 供应商配置多元化的影响。当供应商配置多元化程度较低时,对少数供应商的过度依赖导致企业不仅难以有效分散上游供给风险,而且无法及时响应下游需求变化。此时,即便企业借助工业互联网识别出此类风险,也会因缺少替代供应商而无法化解风险冲击,使得工业互联网应用仅限于风险预警,难以有效维持供应链稳定。基于此,本文使用非前五大供应商采购额与年度总采购额之比来衡量企业供应商配置多元化程度(DC),并按照中位数将总样本划分为多元化程度高、低两组,使用基准模型进行分组回归。表4列(3)和列(4)显示, $Treat \times Post$ 的估计系数在多元化程度高的企业组中显著为正,在多元化程度低的企业组中则不显著,表明工业互联网应用对企业供应链韧性的提升作用在供应商配置多元化程度高的企业中更显著。

(3) 企业声誉的影响。资源基础理论认为,良好的声誉能够为企业提供稀缺且无可替代的信用资源(Peteraf, 1993),增强企业与上下游间合作关系的稳固性。在工业互联网环境下,企业间的互联互通构建起高频数据流动与分享机制,使组网企业可以方便且快速地获悉交易伙伴的信用状况,从而可能放大企业声誉风险。而长期保持良好声誉的企业会在工业互联网的生态体系中形成信用优势,获得交易伙伴的高度信任,其供应链韧性也更易得到提升。基于此,本文使用企业网络负面新闻比例来衡量企业声誉($Negative$),并按照中位数将总样本划分为声誉较好、较差两组,使用基准模型进行分组回归。表4列(5)和列(6)显示, $Treat \times Post$ 的估计系数在声誉较好的企业组中显著为正,在声誉较差的企业组中则不显著,表明工业互联网应用对企业供应链韧性的提升作用在声誉较好的企业中更显著。

2. 企业外部环境差异

(1)行业集中度的影响。一般认为,低集中度意味着行业内竞争程度高,会加大企业供求决策的复杂性和风险;同时,市场中信息不完全等问题会进一步放大这一风险,极易引发供应链不稳定甚至断裂。因此,这类行业中的企业为提高上下游间的紧密关联程度,往往对外部协同更为依赖(巫强和姚雨秀, 2023)。而工业互联网恰好为企业间的网络化协同提供了可能,其平台化设计能够帮助企业在竞争性市场环境下优化供应链关系网络、获取异质性资源、稳定上下游关系,显著提升供应链应对冲击时的韧性。基于此,本文使用赫芬达尔指数来衡量行业集中度(HHI),并按中位数将总样本分为集中度高、低两组,使用基准模型进行分组回归。表5列(1)和列(2)显示, $Treat \times Post$ 的估计系数在集中度低的企业组中显著为正,在集中度高的企业组中则不显著,表明工业互联网应用对企业供应链韧性的提升作用在低集中度行业的企业中更明显,纾困效应更突出。

表 5 企业外部环境异质性分析结果

变量	被解释变量 $Resil$					
	集中度低	集中度高	产业链下游	产业链上游	疫情冲击较轻	疫情冲击较重
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$Treat \times Post$	0.0074** (0.0031)	0.0022 (0.0015)	0.0038** (0.0017)	0.0044 (0.0027)	0.0029 (0.0026)	0.0076*** (0.0022)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	2 686	2 670	3 110	2 447	2 453	3 134
$adj. R^2$	0.8978	0.9075	0.9105	0.8835	0.8823	0.9016
系数组间差异检验 P 值	0.000***		0.045**		0.000***	

(2)产业链位置的影响。产业链上游企业通常垄断某种资源或核心技术,在交易中具有谈判优势,引发供应链中断的风险较小(张树山和谷城, 2024)。相反,下游企业位于产业链末端,竞争较为激烈、市场不确定性较高,其供应链易受到需求波动、库存成本、资金压力等结构性约束的冲击,供求合作关系较脆弱。因此,产业链下游企业在接入工业互联网后,借助网络平台的需求感知、产能调度、业财融合等功能,能够缓解结构性约束,提升其供应链韧性。基于此,本文参照张树山和谷城(2024)的研究,使用行业上游度指数来定义产业链位置($POIC$),并按中位数将总样本分为产业链上、下游两组,使用基准模型进行分组回归。表5列(3)和列(4)显示, $Treat \times Post$ 的估计系数在产业链下游的企业组中显著为正,在产业链上游的企业组中则不显著,表明工业互联网应用对企业供应链韧性的提升作用在产业链下游的企业中更明显,纾困效应更突出。

(3)疫情冲击强度的影响。前文的稳健性检验已证实,在针对工业互联网应用提升企业供应链韧性的检验中,有必要考虑新冠疫情这一重大公共卫生事件的影响。在疫情冲击严重的地区,需求骤降、供给中断等问题更突出,物流管制和人员流动限制更严格,区域内企业面临更高的不确定性和协调成本,易引发企业供应链停滞、断裂甚至系统性崩溃。此时,工业互联网作为数字化协同平台,能够发挥远程连接、实时调度、智能预警等优势,帮助企业突破地理隔离和人员流动限制,实现跨区域产能匹配、库存共享、应急调度,从而有效缓解疫情对供应链的负面冲击。基于此,本文使用各省份截至2022年12月31日的COVID-19疫情累计感染人数来衡量地区疫情严重程度($COVID_total$),并按照中位数将总样本划分为疫情冲击较轻、较重两组,

使用基准模型进行分组回归。表5列(5)和列(6)显示, $Treat \times Post$ 的估计系数在疫情冲击较轻的企业组中为正但不显著, 在疫情冲击较重的企业组中则显著为正, 表明工业互联网应用对企业供应链韧性的提升作用在受疫情冲击较重地区的企业中更明显, 纾困效应更突出。

(二) 进一步分析

1. 工业互联网应用与企业库存水平

从原理上看, 供应链韧性体现为企业应对不确定性的能力, 尤其是抵御供需波动引发的断链风险, 因此, 企业需通过设置冗余的库存策略, 如增加库存、提前备货等, 来提升供应链韧性(毛其淋和王凯璇, 2023)。工业互联网环境并不会改变这一需求, 因为数字技术提高了供应链风险透明度, 反而可能刺激企业采取更积极的预防性库存策略以规避断链风险。由此, 一个有待解答的问题是: 工业互联网应用在提升企业供应链韧性的同时, 是否会增加企业库存?

对此, 本文构建如下中介效应模型, 以验证工业互联网对企业供应链韧性的赋能作用是否有赖于企业库存的冗余设计。

$$Inventory_{it} = \mu_0 + \mu_1 Treat_i \times Post_t + \sum \mu_j Controls_{it} + \sum Firm + \sum Year + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$Resil_{it} = \xi_0 + \xi_1 Treat_i \times Post_t + \xi_2 Inventory_{it} + \sum \xi_j Controls_{it} + \sum Firm + \sum Year + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, $Inventory_{it}$ 代表库存水平, 包括以存货净额自然对数衡量的绝对水平 (NI) 和以存货净额与总资产比值衡量的相对水平 (NIR), 其余变量设定与基准模型一致。表6第(1)–(4)列显示, $Treat \times Post$ 对 NI 和 NIR 有显著正向作用, 且 NI 和 NIR 对 $Resil$ 也有显著正向作用, 意味着工业互联网应用通过增加库存提升了企业供应链韧性。由此可见, 工业互联网赋能企业供应链韧性的过程是有代价的: 工业互联网应用会强化企业库存的冗余设计, 以库存增加为代价, 换取供应链韧性的提升, 由此带来的资本投入增加、库存成本上升无疑会给存货管理带来压力。

表6 进一步分析结果

变量	工业互联网应用对企业库存水平的影响				工业互联网应用对企业全要素生产率的影响			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	NI	$Resil$	NIR	$Resil$	TFP_LP		TFP_GMM	
$Treat \times Post$	0.1678** (0.0669)	0.0047*** (0.0017)	0.0142* (0.0081)	0.0047*** (0.0017)	0.0669** (0.0288)	0.0360 (0.0266)	0.0697** (0.0294)	0.0406 (0.0277)
NI		0.0025*** (0.0009)						
NIR				0.0303*** (0.0084)				
$Resil$						6.7345*** (0.7495)		6.3443*** (0.6924)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	5587	5587	5587	5587	5404	5404	5404	5404
adj. R^2	0.9154	0.8907	0.8650	0.8914	0.9317	0.9383	0.8881	0.8974

2. 工业互联网应用与企业全要素生产率

上文证实, 工业互联网应用会强化企业库存的冗余设计, 这种预防性库存策略不仅增加了生产中的资本投入, 还会带来更高的存货成本负担。那么, 工业互联网对企业供应链韧性的赋能作用是否会降低企业全要素生产率呢?

对此,本文构建如下中介效应模型,以验证工业互联网应用对企业全要素生产率的影响。

$$TFP_{it} = \theta_0 + \theta_1 Treat_i \times Post_t + \sum \theta_j Controls_{it} + \sum Firm + \sum Year + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$TFP_{it} = \rho_0 + \rho_1 Treat_i \times Post_t + \rho_2 Resil_{it} + \sum \rho_j Controls_{it} + \sum Firm + \sum Year + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中, TFP_{it} 为基于投入产出关系并考虑中间品投入成本的企业全要素生产率,包括LP方法下得到的TFP值 (TFP_LP) 和GMM方法下得到的TFP值 (TFP_GMM),其余变量设定与基准模型一致。回归结果见表6第(5)–(8)列。结合基准回归结果可知,工业互联网应用虽然会强化库存冗余设计,但并未降低企业全要素生产率;相反,工业互联网应用通过提升企业供应链韧性的完全中介效应,提高了企业全要素生产率。这表明,企业在工业互联网环境下为提升供应链韧性所设计的冗余库存是可控且必要的,这种资本投入和库存成本增加并不会降低企业全要素生产率;随着企业供应链韧性的不断提升,产供销顺畅衔接所带来的产出增幅将超过资本和中间品投入的增幅,带来更高的企业全要素生产率。

六、结论与政策建议

提升供应链韧性是保障产业安全、维护经济稳定运行的基础,更是全面深化改革、推进中国式现代化的重点任务。本文以工信部推出的工业互联网试点示范项目为准自然实验,构建多期双重差分模型,实证检验工业互联网应用对企业供应链韧性的影响及其作用机制。研究发现,工业互联网应用能提升企业供应链韧性,且这一赋能作用的机制在于工业互联网能够助力企业增强质量优势、提升营销能力、降低交易成本。异质性分析表明,该赋能作用在数字化应用水平高、供应商配置多元化程度高、声誉较好的企业中更显著,在低集中度行业、产业链下游、受公共卫生事件冲击较重地区的企业中也更显著。此外,工业互联网提升企业供应链韧性的作用依赖企业库存的冗余设计,会造成库存水平上升。但在工业互联网环境下,库存冗余所带来的资本投入和库存成本增加,并不会降低企业全要素生产率;相反,随着企业供应链韧性的不断提升,企业全要素生产率也相应提高。由此,工业互联网应用具有提升企业供应链韧性与企业全要素生产率的双重效果。

基于上述结论,本文提出如下建议:第一,为加快工业互联网与工业经济深度融合,发挥工业互联网对供应链韧性的赋能作用,相关部门应针对性地将普及工业互联网的重心向行业集中度低、所在行业靠近产业链末端、供应链易受到极端事件冲击的企业倾斜。政策制定既要正视该类企业布局工业互联网的难度,更要重视其应用工业互联网的显著效益,从破解其建设工业互联网的痛点、难点入手,推动工业互联网战略加速落地,最大限度释放政策效力。第二,相关企业应在工业互联网应用中找准切入点,并配合一系列能力建设,保证工业互联网应用达到最优效果。一方面,企业应围绕增强质量优势、提升营销能力、降低交易成本三个切入点,积极发挥工业互联网在平台化设计、智能化制造、个性化定制、数字化管理、网络化协同、服务化延伸等方面的功能优势,实现产业链上信息和资源的高效整合与利用、贯穿经营全过程的流程再造以及产业链上下游间的协同升级,显著提升供应链韧性。另一方面,企业应努力深化数字化应用、推进供应商配置多元化布局、重视企业声誉建设,为工业互联网赋能供应链韧性提供必要支撑。第三,相关企业还需要在应用工业互联网时高度关注存货管理问题。虽然库存冗余设计是工业互联网环境下提升供应链韧性的必要手段,但企业仍需密切监控库存变化,结合互联

网平台上供求信息的大数据分析,及时发现无效库存冗余,并利用工业互联网对营销能力的助益作用,加快冗余库存消化,有效控制库存增加带来的经营压力。

主要参考文献:

- [1] 钞小静,周文慧,刘亚颖. 工业互联网与制造业企业全要素生产率[J]. *经济管理*, 2024, (7).
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] 李琦,刘力钢,田伟健. 供应链数字鸿沟对供应链供需失调的影响研究[J]. *财经研究*, 2025, (3).
- [7] 李雪灵,樊镁汐,龙玉洁,等. 工业互联网平台与“双重身份”用户企业价值共创的协同演化机理研究[J]. *管理世界*, 2025, (6).
- [8] 卢福财,陈慧. 工业互联网、企业成长性与价值创造[J]. *经济管理*, 2023, (1).
- [9] 毛其淋,王凯璇. 互联网发展如何优化企业资源配置——基于企业库存调整的视角[J]. *中国工业经济*, 2023, (8).
- [10] 邱煜,伍勇强,唐曼萍. 数字化转型与企业供应链依赖[J]. *中国软科学*, 2023, (10).
- [11] 权小锋,李闯. 智能制造与成本粘性——来自中国智能制造示范项目的准自然实验[J]. *经济研究*, 2022, (4).
- [12] 史晓洁,李洋. 工业互联网平台与企业供应链网络地位[J]. *经济管理*, 2025, (2).
- [13] 宋华,韩梦玮,沈凌云. 人工智能在供应链韧性塑造中的作用——基于迈创全球售后供应链管理实践的案例研究[J]. *中国工业经济*, 2024, (5).
- [14] 苏桔芳,王婷伟,白雨露,等. 数字金融与制造业企业供应链韧性提升[J]. *经济评论*, 2025, (1).
- [15] 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).
- [16] 武汉大学工业互联网研究课题组. “十四五”时期工业互联网高质量发展的战略思考[J]. *中国软科学*, 2020, (5).
- [17] 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).
- [18] 伍先福,黄晓. 工业互联网对战略性新兴产业企业盈利能力的影响[J]. *软科学*, 2024, (6).
- [19] 谢家平,郑颖珊,董旗. 供应链数智化建设赋能制造企业新质生产力——基于供应链创新与应用试点城市建设的准自然实验[J]. *上海财经大学学报*, 2024, (5).
- [20] 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).
- [21] 应瑛,董珊,魏江,等. 工业互联网平台赋能参与者数字创新的机制研究——基于再生性架构设计视角[J]. *管理世界*, 2025, (6).
- [22] 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).
- [23] 袁业虎,吴端端. 企业数字化转型与供应链韧性——基于供应链溢出的视角[J]. *系统工程理论与实践*, 2025, (7).
- [24] 张树山,谷城. 供应链数字化与供应链韧性[J]. *财经研究*, 2024, (7).
- [25] 张树山,谷城,张佩雯,等. 智慧物流赋能供应链韧性提升:理论与经验证据[J]. *中国软科学*, 2023, (11).
- [26] 赵宸宇. 数字化发展与服务化转型——来自制造业上市公司的经验证据[J]. *南开管理评论*, 2021, (2).
- [27] 甄杰,谢宗晓,董坤祥,等. 流程数字化、数据质量与企业竞争优势[J]. *上海财经大学学报*, 2025, (5).
- [28] 中国社会科学院工业经济研究所课题组,张其仔. 提升产业链供应链现代化水平路径研究[J]. *中国工业经济*, 2021, (2).
- [29] 钟娟,丁怡帆,林子昂,等. 人工智能应用与企业客户配置多元化:基于人工智能创新应用先导区的准自然实验[J]. *外国经济与管理*, 2025, (6).

- [30] Bonadio B, Huo Z, Levchenko A A, et al. Global supply chains in the pandemic [J]. *Journal of International Economics*, 2021, 133: 103534.
- [31] Callaway B, Sant'Anna P H C. Difference-in-differences with multiple time periods [J]. *Journal of Econometrics*, 2021, 225(2): 200–230.
- [32] Carvalho V M, Nirei M, Saito Y U, et al. Supply chain disruptions: Evidence from the Great East Japan Earthquake [J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2021, 136(2): 1255–1321.
- [33] Cengiz D, Dube A, Lindner A, et al. The effect of minimum wages on low-wage jobs [J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2019, 134(3): 1405–1454.
- [34] Chetty R, Looney A, Kroft K. Saliency and taxation: Theory and evidence [J]. *American Economic Review*, 2009, 99(4): 1145–1177.
- [35] Choi T Y, Dooley K J, Rungtusanatham M. Supply networks and complex adaptive systems: Control versus emergence [J]. *Journal of Operations Management*, 2001, 19(3): 351–366.
- [36] 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.
- [37] De Chaisemartin C, D'Haultfoeuille X. Two-way fixed effects estimators with heterogeneous treatment effects [J]. *American Economic Review*, 2020, 110(9): 2964–2996.
- [38] Grossman G M, Helpman E, Lhuillier H. Supply chain resilience: Should policy promote international diversification or reshoring? [J]. *Journal of Political Economy*, 2023, 131(12): 3462–3496.
- [39] Jacobson L S, LaLonde R J, Sullivan D G. Earnings losses of displaced workers [J]. *The American Economic Review*, 1993, 83(4): 685–709.
- [40] 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.
- [41] Peteraf M A. The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view [J]. *Strategic Management Journal*, 1993, 14(3): 179–191.
- [42] Teece D J. Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance [J]. *Strategic Management Journal*, 2007, 28(13): 1319–1350.
- [43] Yang M Y, Fu M T, Zhang Z H. The adoption of digital technologies in supply chains: Drivers, process and impact [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2021, 169: 120795.

The Impact of Industrial Internet Application on Corporate Supply Chain Resilience: A Quasi-natural Experiment Based on Industrial Internet Pilot Demonstration Projects

Zhong Juan¹, Geng Qingbo¹, Ding Yifan², Wei Yanjie¹

(1. School of International Economics and Trade, Anhui University of Finance and Economics, Anhui Bengbu 233030, China; 2. Business School, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Summary: Promoting the deep integration of the industrial Internet with supply chains is a new approach to enhancing supply chain resilience, which is of great significance for ensuring industrial security and maintaining stable economic operations. Taking the Industrial Internet Pilot

Demonstration Projects launched by the Ministry of Industry and Information Technology as a quasi-natural experiment, this paper constructs a time-varying DID model to empirically examine the impact of industrial Internet application on corporate supply chain resilience and its underlying mechanisms. The results show that industrial Internet application significantly enhances corporate supply chain resilience. Mechanism testing reveals that industrial Internet empowers supply chain resilience primarily by strengthening corporate quality advantages, boosting marketing capabilities, and reducing transaction costs. Heterogeneity analysis indicates that this promoting effect is more pronounced among firms with deeper digital adoption, more diversified supplier configurations, and better reputation, suggesting that the full realization of such empowerment requires supporting conditions. Additionally, the effect is more salient for firms operating in less concentrated industries, positioned closer to the downstream end of the industrial chain, and facing severe disruptions from uncontrollable supply chain shocks, reflecting a distinct crisis-mitigation feature. Further analysis demonstrates that the effect is contingent on firms' redundant inventory design, which elevates inventory levels and imposes pressure on inventory management. Nevertheless, the increased capital investment and inventory costs stemming from redundant design do not reduce TFP. Instead, enhanced supply chain resilience contributes to higher TFP, indicating that industrial Internet application delivers dual benefits of improved supply chain resilience and operational efficiency. This paper enriches the research on the economic consequences of industrial Internet application and the determinants of supply chain resilience, providing empirical evidence for further promoting industrial Internet application and optimizing corporate supply chain management.

Key words: industrial Internet application; supply chain resilience; quality advantages; marketing capabilities; transaction costs

(责任编辑: 胡 婧)