

智能制造与供应链韧性提升 ——基于智能制造试点示范的准自然实验

戚孟强,何卫红

(南京邮电大学 管理学院,江苏 南京 210003)

摘要:在全球经济格局深度调整、国内外高度不确定经济环境下,强化供应链韧性有助于产业链供应链稳定运行,为制造业高质量发展筑牢安全底线。基于智能制造试点准自然实验,利用2011—2023年沪深A股制造业公司数据,研究智能制造对供应链韧性影响与作用机制。实证结果显示,智能制造显著提升制造业企业供应链韧性,该提升作用可通过缓解信息不对称及推动突破性创新来实现。异质性分析发现,智能制造对于高科技企业、成长期与成熟期企业、处于市场竞争程度相对较低行业和数字基础设施相对完善地区的企业具有更为显著的供应链韧性赋能效果。基于以上研究结论,从政策制定与企业层面,为推进智能制造政策深化、智能制造转型与供应链韧性增强提供参考。

关键词:智能制造;供应链韧性;政策效果评估;双重差分模型

中图分类号:F424;F274;F4

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1003-8256.2026.03.004

制造业是国民经济的支柱产业,产业链供应链安全稳定是经济循环畅通的关键。我国牢牢把握新一轮科技革命和产业变革战略机遇,建立起独立完整的工业体系和完备的产业链。然而,我国产业链供应链“大而不强”“全而不精”“韧中有脆”等问题仍突出。同时,全球经济波动、地缘政治冲突、贸易摩擦等加剧全球供应链的不稳定性,一些发达国家推动制造业回流和供应链本地化,全球产业链也加速重构。内外部环境的复杂性和不确定性叠加作用下,优化供应链布局,提升供应链韧性已成为制造业当务之急。国家高度重视供应链安全与稳定,习近平总书记强调,“产业链、供应链在关键时刻不能掉链子”,《制造业企业供应链管理水平提升指南》等政策文件明确提出要提升企业供应链韧性和安全水平,健全相关制度和机制,积极应对“卡链”“断链”风险。埃森哲《打造韧性企业开创增长新局》研究报告指出,高韧性企业的营收较竞争对手高出3.6%。由此,提升制造业供应链韧性是时代发展的客观要求,是提升经济运行稳定性的关键举措,是建设现代化产业体系战略导向。

供应链韧性作为供应链管理领域的一个重要概念,近年来受到学者们的广泛关注,相关研究大体可分为三类。第一类聚焦于供应链韧性的理论内涵。有学者认为,供应链韧性主要体现在供应链的弹性、灵活性和恢复力等方面,即企业有效抵御外部冲击和供应链断裂后快速修复损失的能力^[1]。增强供应链韧性可从提高供

应链冗余度、增添备用供应商、优化库存管理等方面着手^[2]。另一些学者强调了供应链的适应性和创新能力对韧性的影响,认为供应链节点企业需具备在面对变化时进行自我调整和创新的能力^[3],以适应新市场环境和技术变革。供应链创造力能够助企业更好地应对不确定性,通过开发新产品、改进生产工艺等方式增强供应链的韧性^[4]。第二类聚焦于供应链韧性测度分析。学者普遍选择构建综合指标测量供应链韧性,如张树山等^[5]从供应链抵抗力和恢复力两个维度选取相应指标构建测量体系,利用熵权法得到综合指标。而陶锋等^[6]则从供需关系匹配、关系维持和供应质量提升三个层次衡量上下游企业间供应链韧性。第三类聚焦于供应链韧性驱动因素研究。许多学者从不同角度对此展开实证探索,指出数字化转型^[6]、智慧物流^[7]、ESG表现^[8]、人工智能^[9]、数字金融^[10]等可赋能供应链韧性提升。

随着信息技术、自动化技术、人工智能技术等飞速发展,智能制造应运而生,成为制造业转型升级方向。智能制造实施效果也成为学术界研究热点。智能制造可以提升资源配置效率和信息处理能力从而抑制企业成本粘性^[11],驱动企业创新,为企业高质量发展提供新动力^[12]。进一步地,智能制造可赋能生产侧与消费侧两条路径提升产能利用率,促进新业态、新模式培育和发展^[13]。智能制造能发挥资源补偿、创新驱动和内部激励效应驱动企业新质生产力发展^[14]。可见,智能制造将重塑制造业发展趋势,是建设制造强国必然选择。

基金项目:江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX25_1251)

作者简介:戚孟强(2002—),男,安徽阜阳人,硕士研究生,研究方向:智能制造及政策;(通信作者)何卫红(1971—),女,江苏南京人,博士,教授,硕士生导师,研究方向:数字经济与智能制造。

而随着智能制造和供应链韧性研究的不断深入,一些学者开始关注智能制造对供应链韧性的影响。如张伯伟等^[15]基于资源要素投入视角构建的智能制造指标体系,系统分析智能制造能产生“扩链”和“稳链”效应,显著提升供应链韧性。侯德帅等^[16]分析发现以工业机器人为代表的智能制造技术可加强资源掌控、提升营运效率,增强企业韧性。然而,目前关于智能制造与供应链韧性关系的研究仍不够充分。已有研究更多聚焦于企业的智能制造布局和投入、智能制造技术或设备的应用对供应链韧性的影响,尚未深入研究智能制造政策对供应链韧性的影响效应。智能制造试点作为一项特殊的产业政策,其实施对制造业企业供应链韧性的影响效用有待进一步探究。故本文基于智能制造试点的准自然实验数据,构建多时点双重差分模型来量化评估智能制造实施对企业供应链韧性的影响,进一步探讨智能制造影响企业供应链韧性的内在机制以及其异质性特征。

本文可能的边际贡献如下:第一,立足政策视角,依托智能制造试点政策的准自然实验,研究智能制造实施对供应链主体与结构作用效果,丰富供应链韧性驱动因素研究视角,同时为企业层面供应链韧性测度与分析提供了新的经验证据;第二,从信息管理能力提升与技术创新驱动两个维度,揭示了智能制造增强企业供应链韧性的内在机制,拓展了智能制造经济后果领域的理论视角与研究深度;第三,研究结论为制造业智能化转型、智能制造政策的优化落实以及企业供应链韧性提升提供参考与建议,助力高质量发展和制造强国建设。

1 制度背景、理论分析与研究假设

1.1 制度背景

在全球制造业转型升级浪潮中,智能制造已成为各国制造业发展的战略制高点。各国纷纷出台政策促进智能制造发展,如美国“再工业化”计划、德国“工业4.0”战略。同时国内制造业面临着人口红利褪去、产品附加值偏低、部分产能过剩、核心技术受制于人等挑战。为了应对全球制造业竞争加剧和国内经济转型升级的双重压力,我国政府制定了《中国制造2025》这一实施制造强国战略的行动纲领,将智能制造作为制造业转型主攻方向。智能制造政策构建全方位、多层次的支持体系,涵盖资金、技术、人才等多个关键方面,为企业实现智能化转型提供了有力保障,对供应链韧性提升产生积极影响。

企业作为微观经济主体,是智能制造实施的根本依托。工信部于2015—2018年陆续开展智能制造试点示范行动,旨在选取具有代表性的企业进行智能制造技术的研发、应用和推广,探索形成可复制、可推广的智能制造新模式和新业态。一方面,试点政策推动建设智能制造示范工厂,通过智能装备升级、工艺数字化改造及生产管理系统集成,实现制造过程可视化与柔性生产。另

一方面,试点政策推动构建智慧供应链,依托物联网、大数据优化采购、物流及产销协同,提升全链条数字化集成水平^[17]。2020年工信部发布《智能制造发展指数报告》,对智能制造试点政策评估中指出,试点企业具备智能制造能力提升的保障基础,仍是创新智能制造技术与模式的主力军。智能制造试点项目分批开展,为研究智能制造如何影响企业供应链及其内在机制,提供合适的“准自然实验”场景^[14]。

1.2 理论分析与研究假设

1.2.1 智能制造与供应链韧性

智能制造是基于新一代信息技术与先进制造技术深度融合,贯穿设计、生产、管理、服务等制造活动的全链条,具备自感知、自决策、自执行、自适应等功能,旨在提升制造业质量、效率和核心竞争力的新型生产方式^[18]。供应链韧性是指供应链系统在面对内外部风险与不确定性时,能够保持稳定运行、快速恢复,并灵活调整以适应变化的能力,体现为抗冲击、自修复和自适应的综合特性。基于资源基础理论,智能制造为企业提供了独特的资源和能力,如新兴信息技术、智能化设备、大数据分析能力等,为提升供应链韧性奠定坚实基础。

首先,智能制造推动网络协同制造以提升产业链关联程度^[19]。依托工业物联网、区块链和云计算等技术,搭建智慧供应链平台^[14],实现上下游企业全流程数据的实时共享与透明化管理,降低沟通成本与协作延迟,促进决策支持、资源整合、流程协同和业务无缝衔接,有效提升供应链整体运作效率,增强供应链稳定性。

其次,智能制造构建起全方位的供应链风险防控体系。通过部署物联网架构,企业能够实时监测原材料价格波动、供应商产能异常、生产设备故障、物流运输延误等风险因素,并借助预设的风险监测指标体系与预警模型,及时捕捉潜在风险信号。利用人工智能自学习与虚拟仿真技术^[20],企业可基于历史数据与业务场景模拟,对供应链危机进行精准预测,同时分析未来发展趋势及风险投资的成本收益,从而做出科学决策,有效规避决策风险,增强供应链抗风险能力。

再次,智能制造赋予企业强大的市场响应能力^[14]。依托实时市场数据和智能化决策支持系统,企业敏锐捕捉消费需求动态,迅速调整生产计划和产品策略。工业机器人、柔性生产线等智能制造设备,实现生产系统柔性化转型^[13],使其能够灵活应对不同产品品类和产量需求,高效匹配供需关系,减少库存积压,保障上下游企业稳定运转,提高供应链适应性。自动化柔性化生产线不仅提升企业生产灵活性,更好应对产品迭代、紧急订单、政策变动等外部冲击,而且降低成本、提高生产效率和产品质量,增强市场竞争力,提升企业在供应链中的话语权与自主性^[16]。

此外,智能制造推动供应链多元化配置。智能化转型提升企业信息传播与搜索能力,企业可突破地域限

制,全面掌握供应链动态变化,并借助大数据分析和AI算法,精准筛选优质供应商与客户群体,降低搜寻与沟通成本,灵活调整供应链结构。结合智能物流技术,推动供应链物流网络多路径发展,优化供应链布局,实现多元化配置^[21],有效缓解上下游间的挤压关系,降低“断链”风险,全方位增强供应链韧性。

基于以上分析,提出如下假设:

H1:智能制造能有效提升供应链韧性。

1.2.2 机制分析

(1)缓解信息不对称

传统供应链模式下,信息传递不畅是核心痛点,极大干扰供应链韧性。信息不对称不仅导致牛鞭效应与库存积压,造成资源浪费、成本攀升,压缩企业利润空间,阻碍资金周转,削弱供应链效率与效益^[22];还导致供应链协作效率低下,难以快速响应市场变化。特别是遭遇自然灾害、疫情等突发事件时,各环节因信息沟通不畅,无法协同应对危机,极易出现“断链”“堵点”,严重影响供应链稳定性。基于协同效应理论,智能制造推动供应链数字化,依托物联网、区块链等技术,搭建高效信息共享平台,打破企业间数据孤岛与空间限制,激发供应链系统的协同效应,从而提升整体韧性。

在上游环节,智能制造系统构建起企业与供应商的深度协同网络,通过实时共享原材料库存、生产排程、质量规范等关键信息,显著降低信息不对称性,减少合作摩擦,实现生产流程高效衔接。在面对原材料价格波动、供应中断等风险时,双方可基于共享数据快速调整采购策略与生产计划,实现供需精准匹配。在供应链节点,智能制造技术重塑了信息流转模式。通过部署ERP、MES等系统,实现生产、采购、销售等部门的数据互联互通^[20],推动业务流程的自动化与智能化。信息传递效率的提升,不仅优化了企业内部运营效率,还增强了企业应对外部环境变化的敏捷性。同时,信息透明化强化股东监督,有效遏制管理层短视与机会主义行为,利于公司长久稳定发展^[23]。在下游环节,智能营销与客户管理系统连接市场需求与生产端,结合大数据分析,企业能够精准捕捉客户需求动态,并将反馈信息实时传导至研发与生产部门,驱动产品迭代升级,实现供需匹配,优化库存水平,增强供应链灵活性与创新动能。同时数字信息技术提升广告宣传效能,提升客户对企业及产品的认知度与好感度,进而深化供应链合作,稳固长期伙伴关系^[24]。

(2)推动突破性创新

企业创新能力是提升供应链韧性的核心驱动力,关键核心技术更是保障供应链安全稳定的“压舱石”。缺乏创新能力与核心技术,会使企业过度依赖外部供应,难以应对市场变化与技术封锁,既容易因关键物料断供导致生产停滞,又因成本高、议价弱而处于产业链底

端^[25],严重削弱供应链的韧性与稳定性。基于动态适应理论,智能制造通过多元化路径驱动企业技术创新,助其在复杂多变市场环境中实现供应链灵活适应、自主可控。

技术赋能层面,智能制造集成前沿技术,为企业创新活动提供技术支持。如通过数字技术的深度嵌入,企业能够实时整合市场需求演变、技术发展趋势与行业竞争情报,形成涵盖多维度信息的智能决策体系,助力企业明确创新方向,降低创新风险^[12]。生态构建层面,智能制造试点发挥“创新孵化器”作用,推动供应链协同创新与产学研合作,形成多主体互动、各类创新要素充分涌流的创新生态^[24],激发企业的创新思维,突破自身创新局限。创新能力推动核心技术突破,核心技术又为创新提供坚实基础,二者相辅相成,既保障企业在供应链危机中维持业务稳定,又通过技术溢出效应带动上下游协同升级,深化供应链合作伙伴关系,从根本上提升供应链的弹性。

从供应链重塑视角来看,创新能力从产品、流程与组织三层面重塑供应链韧性:在产品端,创新驱动的差异化产品开发策略,能够精准匹配多元市场需求,使供应链具备更强的动态需求适配能力;在流程端,创新元素融入生产制造、物流配送、供应链管理等全流程,提升供应链主体和结构的运营效率与质量^[26];在组织端,通过构建知识沉淀-转化-应用的闭环体系,加速组织学习机制迭代,强化企业环境适应与风险应对能力,如创新过程中培育的动态资源统筹能力^[23],最终形成供应链的核心竞争优势与可持续发展动能。

基于以上分析,提出如下假设:

H2a:智能制造通过缓解信息不对称促进企业供应链韧性提升。

H2b:智能制造通过推动突破性创新促进企业供应链韧性提升。

2 研究设计

2.1 变量说明

2.1.1 解释变量

解释变量为智能制造试点政策,参照陈彦霖等^[18]学者的研究方法,以2015—2018年工信部颁布的智能制造试点示范项目名单为依据,采用虚拟变量的方式定义解释变量($DID: Treat \times Post$),即如果企业属于智能制造试点企业,则 $Treat$ 赋值为1,否则赋值为0。对不同批次试点企业首次进入示范项目名单及之后的年份, $Post$ 赋值为1,否则赋值为0。

2.1.2 被解释变量

被解释变量为供应链韧性(GYL),参考王煜昊等^[3]、张树山等^[5]、陶锋等^[6]、姚正海等^[8]、苏桔芳等^[10]在供应链韧性内涵、衡量维度及指标选取等方面的研究,基于供应链抗冲击、自修复与自适应三大能力维度,

构建企业供应链韧性评价指标体系,并运用熵值法对指标进行客观赋权,实现供应链韧性的综合量化评估。企业供应链韧性指标选取及测量如表1所示。

供应链抗冲击能力体现在风险冲击下,企业维持稳定经营的能力。低应收账款占比意味着企业以现销为主,既能缓解供应商资金压力、降低信用风险,又能稳固合作关系;应付账款与应收账款周转率直观展现账款管理水平,企业可高效协调上下游关系,增强资金链韧性;多元化布局可分散合作风险,避免供应中断;高库存周转率彰显管理效能,减少资金积压;而精准的供需匹配能力,则是企业灵活应对市场变化、保障供应链高效运转的关键,参考巫强等^[21]的研究,以供需偏离程度衡量企业供需匹配能力,计算方法如式(1)(2)所示,企业生产量 $Production_{it}$ 由式(1)计算得到, $Cost$ 为企业营业成本, Inv 为企业年末存货净值,企业需求量 $Demand$ 由 $Cost$ 衡量。式(2)中, $\sigma(\cdot)$ 表示变量的标准差,分子和分母分别表示供需的波动性,供需偏离程度越低,则企业供需匹配能力越强,市场响应水平越高。

$$Production_{it} = Cost_{it} + Inv_{it} - Inv_{it-1}$$

(1)

$$Response_{it} = \frac{\sigma(Production_{it})}{\sigma(Demand_{it})} - 1$$

(2)

供应链自修复能力指受冲击后企业快速回归正常运营的能力。根据苏桔芳等的研究^[10],可用计量模型残差量化绩效偏离程度,残差越大表明企业恢复调整能力越强。财务状况也影响恢复效率:高流动比率保障短期偿债能力,助力资金循环重启;高现金比率提供应急资金维持运营;高资本积累率支持企业利用内部资金复产;固定资产则是恢复生产的物质基础。这些要素共同构建起供应链的抗冲击恢复体系。

供应链自适应能力表现为企业在应对冲击与适应

环境过程中实现更新升级的能力。企业研发投入强度高,意味着企业敏锐察觉环境变化,高度重视创新,以技术突破实现“补链”“强链”。研发人员占比高说明专业研发力量雄厚,可为技术攻关与流程优化提供人才保障。高学历员工占比彰显智力资源储备充足,能为供应链模式创新、技术迭代提供多元思路与专业支持。诸多要素共同驱动企业在供应链动态变动中集聚韧性。

2.1.3 控制变量

参考其他研究,选取企业规模($Size$:总资产加1取对数)、资产负债率(Lev :总负债/总资产)、净资产收益率(ROE :净利润/股东权益)、总资产周转率(ATO :营业收入/平均资产总额)、现金流比率($Cashflow$:经营净现金流/总资产)、独立董事比例($Indep$:独立董事/董事人数)、股权集中度($Top10$:前十大股东持股比例)、托宾 Q 值($TobinQ$:公司市场价值/总资产)作为控制变量。

2.2 模型构建

为研究智能制造对企业供应链韧性的影响,构建如下多时点双重差分模型:

$$GYL_{it} = \beta_0 + \beta_1 DID_{it} + \beta X_{it} + \theta_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

(3)

其中,下标 i 代表企业, t 代表年份, β_0 为截距, β_1 为解释变量系数, X 为一系列控制变量, θ_i 和 λ_t 分别为个体与时间固定效应, ε_{it} 为随机扰动项。

2.3 数据来源与描述性统计

以沪深两市制造业A股上市公司2011—2023年数据为研究样本,智能制造试点政策数据整理自工信部网站,企业层面数据源于CSMAR数据库。为提升数据质量,做如下处理:剔除样本周期内发生ST、*ST、PT以及退市样本;剔除核心变量缺失样本;对连续变量做上下1%缩尾处理。

表1 供应链韧性指标体系

一级指标	二级指标	测算方法	指标特征
抗冲击能力	产品现销占比	Ln(应收账款/主营业务收入)	-
	账款运营能力	综合应付账款周转率与应收账款周转率,使用熵值法求得总分	+
	供应链集中度	(向前五名供应商采购比例+向前五名客户销售比例)/2	-
	供应链效率	Ln(365/库存周转率)	-
	供需匹配能力	以企业生产波动对需求波动的偏离来衡量供应链供需匹配精准度	-
自修复能力	绩效偏离程度	利用残差捕捉绩效变化	+
	流动比率	流动资产/流动负债	+
	现金比率	现金及现金等价物期末余额/流动负债	+
	资本积累率	所有者权益增长率	+
	固定资产占比	固定资产/资产总额	+
自适应能力	创新投入水平	研发支出/营业收入	+
	研发人员占比	研发人员数/员工数量	+
	高学历员工比	研究生以上人数/员工数量	+

表2报告了主要变量的描述性统计。制造业供应链韧性均值为1.809,中位数为1.639,均与最大值5.257差距显著,且标准差为0.76,表明样本企业供应链韧性整体水平偏低,企业间差异明显,提升空间大。*DID*的均值意味着2.9%样本受政策影响,智能制造试点亟待推广。其他变量的统计结果均处于合理区间。多重共线性检验中,变量方差膨胀因子值均小于3,远低于临界值,表明不存在严重多重共线性问题,由此展开进一步分析。

表2 描述性统计

变量	样本量	均值	中位数	标准差	最小值	最大值
<i>GYL</i>	20 525	1.809	1.639	0.760	0.776	5.257
<i>DID</i>	20 525	0.029	0.000	0.168	0.000	1.000
<i>Size</i>	20 525	22.127	21.951	1.152	20.176	25.745
<i>Lev</i>	20 525	0.379	0.373	0.180	0.054	0.777
<i>ROE</i>	20 525	0.074	0.073	0.101	-0.363	0.351
<i>ATO</i>	20 525	0.659	0.588	0.353	0.144	2.190
<i>Cashflow</i>	20 525	0.055	0.052	0.063	-0.113	0.241
<i>Indep</i>	20 525	37.756	36.360	5.365	33.330	57.140
<i>Top10</i>	20 525	0.585	0.592	0.146	0.244	0.891
<i>TobinQ</i>	20 525	2.053	1.670	1.189	0.868	7.654

3 实证分析

3.1 基准回归分析

表3展示了智能制造试点实施对企业供应链韧性的回归结果。列(1)为未加入控制变量的双向固定效应回归结果,列(2)为加入了控制变量的结果。结果显示,无论是否加入控制变量,智能制造试点政策实施对企业供应链韧性的影响系数均在1%的水平上显著为正,说明智能制造试点政策能够赋能供应链韧性的提升,假设H1得到验证。

3.2 稳健性检验

3.2.1 事前趋势检验

双重差分模型进行政策评估存在基本前提,即在政策冲击到来之前,处理组和对照组的总体变化趋势不存在显著性差异。本文选定数据周期的-1期为基期进行事前趋势检验,结果如图1所示。在智能制造试点实施前,回归系数95%置信区间均穿过0,即表明试点与其他非试点企业供应链韧性水平并不存在显著差异,则未拒绝事前趋势平行的假设。另外,该试点政策影响具有一定的滞后性,即政策效果在政策实施后的三年才稳定显现,且回归系数有明显上升趋势,即试点与非试点企业供应链韧性水平差异逐步扩大。

表3 基准回归

	(1)	(2)
	<i>GYL</i>	<i>GYL</i>
<i>DID</i>	0.110 4*** (0.024 6)	0.102 9*** (0.024 5)
<i>Size</i>		0.090 4*** (0.010 6)
<i>Lev</i>		-0.294 0*** (0.034 1)
<i>ROE</i>		-0.340 0*** (0.037 0)
<i>ATO</i>		-0.000 9 (0.020 9)
<i>Cashflow</i>		0.282 0*** (0.051 6)
<i>Indep</i>		-0.000 1 (0.000 8)
<i>Top10</i>		-0.039 3 (0.049 1)
<i>TobinQ</i>		0.011 8*** (0.003 6)
<i>Constant</i>	1.806 0*** (0.002 2)	-0.071 0 (0.238 0)
<i>Firm</i>	Yes	Yes
<i>Year</i>	Yes	Yes
<i>N</i>	20 525	20 525
<i>R</i> ²	0.868	0.870

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平上显著,括号里为稳健标准误,如无特殊说明,下同。

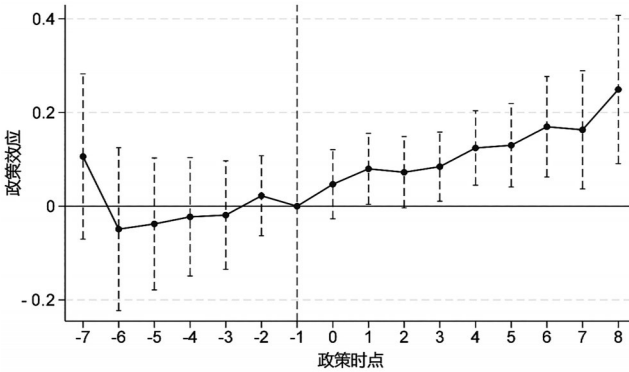


图1 事前趋势检验

3.2.2 安慰剂检验

为验证智能制造试点实施确实作用于企业供应链韧性提升,而非外部随机因素干扰,采用安慰剂检验排除政策效应的偶然性。通过随机抽样500次构建伪证策虚拟变量进行安慰剂检验^[24]。结果如图2所示,伪证策虚拟变量回归系数集中分布在0附近,其*P*值大多大于0.10,表明随机抽样结果绝大多数不显著,且相较于真实系数皆存在较大差距。综上,安慰剂检验结果表明,试点政策对企业供应链韧性的提升效应显著,且排除了随机因素干扰,验证了本文核心结论的可靠性。

3.2.3 PSM-DID法

考虑到智能制造转型步伐快、创新驱动性强的企业更易成为试点企业,试点与非试点企业存在较大差异化特征,故进一步利用倾向得分匹配法为处理组企业重新匹配控制组,以减轻样本选择偏差所引起的回归结果偏

误。以控制变量为协变量执行1:10近邻匹配,且按个体匹配以保持样本连续性。基于匹配后的样本重新回归,结果如表4列(1)所示,缓解自选择偏差后政策效果仍显著。

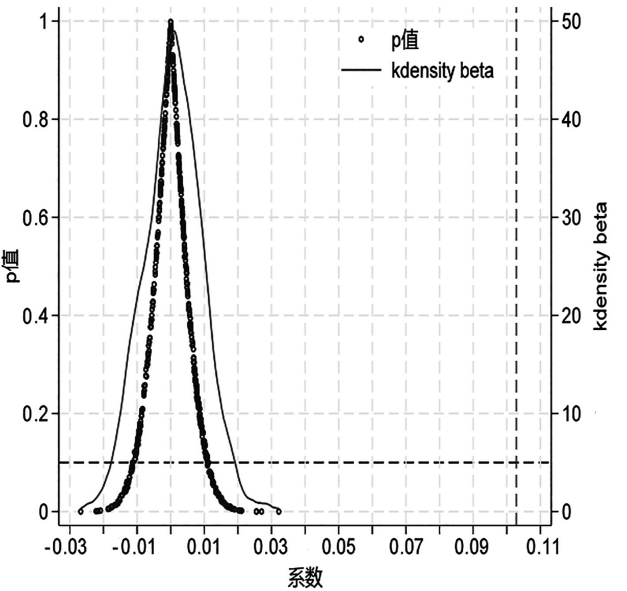


图2 安慰剂检验

3.2.4 其他稳健性检验

首先,排除其他政策影响。鉴于智能制造试点同实施期间的“宽带中国”政策均对供应链韧性提升发挥作用^[27],故剔除试点重合样本重新检验,结果见表4列(2),可见排除其他政策干扰下,智能制造试点仍对供应链韧性发挥积极效用。其次,控制地区年度趋势。考虑到企业供应链韧性可能受地区及时间变化的影响,本文加入城市与时间交乘项固定效应,结果见表4列(3),政策效应依然显著。再次,捕捉行业差异。制造业中不同细分行业也存在较大区别,为缓解遗漏变量偏误,基准模型中加入行业固定效应,以提高估计的因果解释力,结果见表4列(4)。之后,更改样本周期。考虑到新冠疫情对制造业生产运营及供应链冲击,剔除受疫情影响的2019年以后年份,再次进行回归,结果见表4列(5),

回归结果显著。最后,采用聚类标准误修正异方差。将稳健标准误替换为个体层面聚类标准误,表4列(6)显示回归结果显著,进一步增强本文核心结论稳健性。

4 进一步分析

4.1 作用机制检验

根据前文理论分析,智能制造能够通过缓解信息不对称和推动技术创新双重作用机制提升制造业企业供应链韧性水平。参考江艇^[28]的研究,构建如下模型进行中介效应检验:

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 DID_{it} + \beta X_{it} + \theta_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \tag{4}$$

其中, M 表示中介变量,包括信息不对称和技术创新能力,其他变量含义同式(1)。

4.1.1 信息不对称机制检验

在检验畅通信息渠道机制研究上,参考于蔚等^[29]和王雅格等^[30]的研究,采用主成分分析法捕捉流动性比率、非流动性比率、收益率反转指标等三个股票流动性指标的非对称相关信息成分构建信息不对称(ASY , 负向指标)的代理变量。股票流动性强,意味着市场参与者之间的信息传递较为充分,信息不对称程度相对较低。检验结果如表5列(1)所示,智能制造实施可有效降低供应链中的信息不对称问题:一是企业构建高效的信息共享与处理平台,极大畅通信息渠道,便于外部沟通;二是加强内部管理,提高财务透明度与信息披露质量,增强利益相关者的监督。进一步地,畅通的信息渠道使企业既能加强与供应链上下游合作伙伴的协调合作,获得利益相关者的信任与支持,提升供应链稳定性,又能够敏锐地感知市场变化,并迅速做出精准决策,提升供应链的灵活性,从而有效增强供应链韧性,证实了假设H2a。

4.1.2 突破性创新机制检验

在检验推动技术创新机制研究上,以企业发明专利授权量加1取对数来衡量企业突破性创新能力(PA)。发明专利体现技术创新的深度和价值,一定程度反映核心技术的掌握情况与突破性创新实力。检验结果如表

表4 稳健性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	PSM	排除政策干扰	控制地区年度差异	控制行业差异	更改样本范围	聚类标准误
<i>DID</i>	0.104 5*** (0.031 3)	0.164 5*** (0.046 2)	0.098 1*** (0.029 9)	0.100 0*** (0.024 5)	0.065 2** (0.027 8)	0.102 9* (0.055 7)
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>Firm/Year</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>City×Year</i>	/	/	Yes	/	/	/
<i>Industry</i>	/	/	/	Yes	/	/
<i>N</i>	2 410	7 165	20 525	20 524	10 805	20 525
<i>R</i> ²	0.745	0.840	0.894	0.871	0.835	0.870

5 列(2)所示,智能制造通过提供创新资源、激发创新灵感和促进产学研合作等多种途径,推动企业创新能力提升,助力掌握关键核心技术。进一步地,企业创新实力增强与掌握关键核心技术利于破解供应链“卡脖子”风险,驱动供应链全链路数字化重构,增强组织学习适应能力,系统性提升供应链的稳定性、响应速度与抗风险能力,证实了假设 H2b。

表5 作用机制检验

	(1)	(2)
	ASY	PA
<i>DID</i>	-0.069 8*** (0.019 0)	0.230 4*** (0.057 7)
<i>Control</i>	Yes	Yes
<i>Firm</i>	Yes	Yes
<i>Year</i>	Yes	Yes
<i>N</i>	20 525	20 525
<i>R</i> ²	0.826	0.751

4.2 异质性分析

4.2.1 企业科技水平异质性

由于高科技企业与非高科技企业在技术、资源及市场等方面不同,智能制造促进企业供应链韧性提升效果可能存在差异,故参考彭红星等^[31]对高科技企业的确定方式,基于企业科技水平进行异质性分析。结果如表 6 列(1)(2)所示,智能制造在 1% 显著水平上促进高科技企业供应链韧性提升,而对非高科技企业影响不显著。原因分析如下:高科技企业具有更强的技术基础与创新能力,政策支持下,这类企业可获取智能制造技术的研发和应用先发优势,更快速地将新技术应用于供应链管理,从而更有效地提升供应链韧性。而非高科技企业技术基础薄弱、资源有限,智能制造转型相对缓慢。此外,科技产品迭代迅速,高科技企业市场环境日益变化,且其产品和服务往往具有高附加值和定制化特点,它们更需要把握契机,凭借智能制造技术不断提升供应链的灵活性和响应速度,以满足市场需求并保持竞争优势。

4.2.2 企业生命周期异质性

企业在不同生命周期阶段具有不同的资源禀赋、战略重点和发展需求,将影响企业对智能制造的投入能力、应用程度以及智能制造对供应链韧性提升的效果,参考陈彦霖等^[18],基于企业生命周期进行异质性分析。结果如表 6 列(3)~(5)所示,智能制造政策显著推动成长期与成熟期企业供应链韧性提升,但对衰退期企业的影响不明显。这可能是因为成长期企业具有资源获取与投入需求较强、创新意愿和能力较高、组织架构灵活、“船小好掉头”等特性,能够快速响应政策引导,调整企业战略和运营模式,适应智能制造转型的要求,积极推动推动供应链的数字化、智能化转型升级。成熟期企业

资源基础雄厚、品牌与市场影响力大、供应链管理经验丰富,智能制造加持下,供应链韧性提升显著。而衰退期企业往往面临资源匮乏、组织僵化、市场饱和或萎缩等困境,其供应链已相对脆弱,智能制造转型动力与能力不足,综合导致政策效果不明显。

表6 企业科技水平与生命周期异质性分析

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	是否高科技企业		企业生命周期		
	是	否	成长期	成熟期	衰退期
<i>DID</i>	0.140 2*** (0.028 6)	-0.032 1 (0.028 8)	0.137 7*** (0.048 7)	0.075 9** (0.036 4)	0.121 0 (0.108 3)
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>Firm/Year</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	16 360	4 149	8 926	9 782	765
<i>R</i> ²	0.876	0.771	0.896	0.863	0.916

4.2.3 行业竞争程度异质性

行业竞争程度从不同方面深刻影响制造业企业供应链韧性,参考巫强等^[21],采用行业赫芬达尔指数衡量竞争程度,以行业年度中位数为界,将企业划分为高、低竞争行业两组子样本,以探究智能制造试点政策对企业供应链韧性提升的增量效用在哪一组更为显著。结果如表 7 列(1)(2)所示,在竞争较为温和的行业中,智能制造对企业供应链韧性提升效用显著,而在竞争激烈行业中边际效用并不明显。原因可能是在竞争程度较低的行业中,企业外部威胁较少,市场需求与份额稳定,有更多精力与上下游企业深度协同,且对新技术接受度高,资源获取相对容易,因此智能制造能显著提升供应链韧性。而在竞争激烈的行业,企业面临巨大成本压力,市场需求变化快,技术更新周期短,且供应链复杂度高,使得智能制造技术的应用和协同优化难度增大,其对供应链韧性的提升效果短期不明显。

表7 企业所属行业竞争性与地区发展环境异质性分析

	(1)	(2)	(3)	(4)
	行业市场竞争程度		地区数字基础设施水平	
	高	低	高	低
<i>DID</i>	0.033 2 (0.032 3)	0.108 5*** (0.033 7)	0.178 1*** (0.046 2)	-0.007 1 (0.040 0)
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>Firm/Year</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	9 409	10 724	7 111	7 106
<i>R</i> ²	0.919	0.858	0.868	0.870

4.2.4 地区数字基础设施水平异质性

智能制造政策的实施效果不仅受企业自身、市场条件影响,还与地区发展环境密切相关,其中数字基础设

施水平更是影响企业智能化转型的关键因素。参考钞小静等^[32]关于地区新型数字基础设施水平的衡量方法,取年度中位数划分样本开展异质性分析。结果如表7列(3)(4)所示,在数字基础设施相对完善地区,智能制造对企业供应链韧性提升效用显著,而在数字基础设施相对不足地区,该效应却不显著。数字基础设施水平高的地区,拥有先进的通信网络、云计算中心等,为智能制造技术的应用提供坚实基础,通过提升供应链可视性与可控性增强韧性。同时数字基础设施发达地区能为企业提供丰富的信息资源和便捷的信息获取渠道,企业能及时了解行业动态、技术趋势和市场变化,从而驱动供应链创新与灵活响应。数字化平台还能促进产业集群内企业协同合作,优化供应链资源配置与流程衔接。相较之下,数字基建薄弱地区难以发挥智能制造技术优势,制约供应链韧性提升。

5 结论与建议

5.1 研究结论

以2011—2023年沪深A股制造业上市公司为研究样本,基于“智能制造试点示范专项行动”准自然实验,探究智能制造对企业供应链韧性的影响。研究发现:智能制造能够显著推动企业供应链韧性水平的提升,该结论经过一系列稳健性检验后依然成立,充分印证智能制造在增强供应链抗风险能力、恢复能力及更新能力方面的实践意义。在机制研究方面,智能制造可通过缓解信息不对称和推动突破性创新双重路径赋能企业供应链韧性。智能制造在提升供应链韧性效用方面呈现异质性特征,对高科技企业、成长期与成熟期企业、处于市场竞争相对较低行业与数字基础设施相对完善地区的企业,智能制造对其供应链韧性提升效果更为显著。

5.2 启示与建议

(1)政策层面。第一,持续深化智能制造政策。围绕智能制造发展规划部署,加大政策支持力度,加速构建系统完备、层次分明的政策体系,充分考虑企业的异质性,提高政策针对性,为企业智能化转型提供精准引导与有力支持。持续深化智能制造试点示范工程,推广示范试点成功经验,拓展试点覆盖领域与企业范围^[18],推动智能制造技术向供应链各环节纵深渗透。第二,强化新型数字基础设施建设,加大5G、工业互联网、大数据中心等投入,构建高速、稳定、安全的信息通信网络,为智能制造提供坚实的网路基础。同时,完善智能制造公共服务平台,集成技术、人才、市场等资源,提供一站式服务,降低企业智能化升级成本,提升供应链韧性建设效率。第三,推动产业链供应链协同政策。鼓励构建跨行业、跨领域的智能制造产业联盟,搭建交流合作平台,促进企业间信息共享与技术协同创新。通过政策引导,推动上下游企业深度合作,优化供应链流程,提升整体产业的供应链韧性,共同应对市场风险与不确定性。

(2)企业层面。第一,强化智能制造技术与技术创新能力。将智能制造作为企业战略核心,加大智能制造技术研发、智能化设备购置等方面的投入。并设立专项研发资金,聚焦数字化、人工智能、智能装备等关键技术的创新与融合,突破技术瓶颈制约,提升自主创新能力,为供应链自主可控提供技术支撑。同时积极响应政府智能制造相关政策,确保投入方向与政策导向同频,最大化提高资源利用效率。第二,加强信息系统建设。引入物联网、大数据、云计算等先进的信息技术,构建覆盖企业内部及供应链上下游的信息共享平台,推动供应链数字化,打破信息壁垒,实现生产计划、市场数据、库存状态等关键信息的实时传递和高效处理。第三,优化供应链管理。深化与上下游企业的战略协同,共享生产计划、市场数据等关键信息,推动联合研发与协同生产,提升供应链效率。同时推动供应链多元化配置,优化供应链布局,增强供应链应对外部风险的抵抗能力,保障供应链稳定运行。

参考文献:

- [1] 肖兴志,李少林.大变局下的产业链韧性:生成逻辑、实践关切与政策取向[J].改革,2022(11):1-14.
- [2] CHRISTOPHER M, PECK H. Building the resilient supply chain[J]. International Journal of Logistics Management, 2004, 2(15): 1-13.
- [3] 王煜昊,马野青,承朋飞.跨境电商赋能企业供应链韧性提升:来自中国上市公司的微观证据[J].世界经济研究,2024(6):105-119,137.
- [4] HENDRICKS K B, SINGHAL V R. An empirical analysis of the effect of supply chain disruptions on long-run stock price performance and equity risk of the firm [J]. Production and Operations Management, 2005, 14(1): 35-52.
- [5] 张树山,谷城.供应链数字化与供应链韧性[J].财经研究,2024, 50(7): 21-34.
- [6] 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.
- [7] 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): 54-65.
- [8] 姚正海,李昊泽,姚佩怡. ESG表现对企业供应链韧性的影响[J].首都经济贸易大学学报,2025, 27(2): 95-112.
- [9] 刘帅.人工智能技术对汽车制造企业供应链韧性的影响[J].中国流通经济,2025, 39(4): 42-56.
- [10] 苏桂芳,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): 87-101.
- [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, 57(4): 68-84.
- [12] 尹洪英,李闯.智能制造赋能企业创新了吗?基于中国智能制造试点项目的准自然试验[J].金融研究,2022(10): 98-116.
- [13] 黄卓,陶云清,刘兆达,等.智能制造如何提升企业产能利用率:基于产消合一的视角[J].管理世界,2024, 40(5): 40-57.
- [14] 刘洪,仲泰林,彭乔依.智能制造何以驱动企业新质生产力发展:来自智能制造试点示范项目推广的证据[J].现代财经(天津财经大学学报),2025, 45(3): 3-24.
- [15] 张伯伟,马凡慧.智能制造如何提升产业链供应链韧性:理论机

- 制与实证检验[J]. 经济学动态, 2024(11): 20–37.
- [16] 侯德帅, 熊健, 杜松桦. 智能制造与企业韧性: 基于工业机器人视角[J]. 中南财经政法大学学报, 2024(4): 120–134.
- [17] 颜逢, 任鹤, 赵秀云. 智能制造与供应链配置多元化[J]. 中南财经政法大学学报, 2024(5): 110–123.
- [18] 陈彦霖, 阳镇. 智能制造政策是否促进企业数字技术创新? 来自国家智能制造试点企业的证据[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2024, 38(11): 68–83.
- [19] 丁华, 任滔, 丁宁, 等. 智能制造与企业产业链关联: 来自中国智能制造示范项目的准自然实验[J]. 经济经纬, 2024, 41(6): 3–15.
- [20] 刘鑫鑫, 韩先锋. 人工智能与制造业韧性: 内在机制与实证检验[J]. 经济管理, 2023, 45(11): 48–67.
- [21] 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.
- [22] 孙兰兰, 钟琴, 祝兵, 等. 数字化转型如何影响供需长鞭效应? 基于企业与供应链网络双重视角[J]. 证券市场导报, 2022(10): 26–37.
- [23] 方慧, 姜春宇, 李小玉. 数字技术创新与产业链韧性提升: 基于节点企业视角的考察[J]. 经济学动态, 2025(2): 127–144.
- [24] 丁怡帆, 曹慧平. 企业数字化转型对客户关系稳定度的影响研究[J]. 管理学报, 2025, 22(6): 1132–1141, 1151.
- [25] 韩龙艳, 涂玉晖, 庄芹芹. 智能制造试点与企业创新: 基于“智能制造试点示范专项行动”的准自然实验[J]. 中国科技论坛, 2024(6): 77–86.
- [26] 王煜昊, 马野青. 新质生产力、企业创新与供应链韧性: 来自中国上市公司的微观证据[J]. 新疆社会科学, 2024(3): 68–82, 177.
- [27] 赵春明, 杨宏举. 数字基础设施建设提升产业链供应链韧性了吗[J]. 当代财经, 2025(9): 112–125.
- [28] 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.
- [29] 于蔚, 汪淼军, 金祥荣. 政治关联和融资约束: 信息效应与资源效应[J]. 经济研究, 2012, 47(9): 125–139.
- [30] 王雅格, 胡志强. 企业 ESG 表现对供应链韧性影响的实证检验[J]. 统计与决策, 2024, 40(8): 179–183.
- [31] 彭红星, 毛新述. 政府创新补贴、公司高管背景与研发投入: 来自我国高科技行业的经验证据[J]. 财贸经济, 2017, 38(3): 147–160.
- [32] 钞小静, 廉园梅, 罗鑒楷. 新型数字基础设施对制造业高质量发展的影响[J]. 财贸研究, 2021, 32(10): 1–13.

Intelligent Manufacturing and Enhancement of Supply Chain Resilience: Based on the Quasi-Natural Experiment of Intelligent Manufacturing Pilot Demonstration

QI Mengqiang, HE Weihong

(School of Management, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Against the backdrop of profound adjustments in the global economic landscape and a highly uncertain domestic and international economic environment, strengthening supply chain resilience is crucial for ensuring the stable operation of industrial chains and supply chains, and for safeguarding the high-quality development of the manufacturing industry. This study leverages the quasi-natural experiment of intelligent manufacturing pilots and uses data from manufacturing companies listed on the Shanghai and Shenzhen A-share markets between 2011 and 2023 to explore the impact of intelligent manufacturing on supply chain resilience and its underlying mechanisms. Empirical results confirm that intelligent manufacturing significantly enhances the supply chain resilience of manufacturing enterprises, primarily by alleviating information asymmetry and promoting breakthrough innovation. Heterogeneity analysis reveals that intelligent manufacturing exerts a more pronounced effect on supply chain resilience for high-tech enterprises, enterprises in growth and mature stages, enterprises in industries with relatively low market competition, and those located in regions with relatively complete digital infrastructure. Based on these findings, this study provides references for deepening intelligent manufacturing policies, advancing intelligent manufacturing transformation, and enhancing supply chain resilience from both policy-making and enterprise perspectives.

Keywords: intelligent manufacturing; supply chain resilience; policy effect evaluation; difference-in-differences (DID) model