

产业数字化对制造业产业链韧性的影响研究

王学志

江苏大学财经学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年4月11日; 录用日期: 2025年4月25日; 发布日期: 2025年5月31日

摘要

随着在全球供应链高度融合与复杂化的背景下, 制造业产业链的脆弱性日益凸显, 如何增强产业链的稳定性、适应性和抗风险能力成为学术界和政策领域关注的重要课题。产业数字化作为推动制造业向智能化、柔性化升级的核心动力, 为提升制造业产业链韧性提供了新的路径。然而, 产业数字化如何作用于制造业产业链韧性、其影响机制及在不同发展阶段的作用差异仍有待深入研究。基于此, 本文以我国31个省(市、区)为研究对象, 构建制造业产业链韧性和产业数字化的综合评价指标体系, 运用熵权法测度2011~2023年的数据, 并基于面板双固定效应模型实证分析产业数字化对制造业产业链韧性的直接影响, 同时采用稳健性检验和工具变量法验证结论的可靠性。

关键词

产业数字化, 制造业产业链韧性, 中介效应分析, 异质性分析

Research on the Impact of Industrial Digitalization on the Resilience of the Manufacturing Industry Chain

Xuezhi Wang

School of Finance and Economics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Apr. 11th, 2025; accepted: Apr. 25th, 2025; published: May 31st, 2025

Abstract

Against the backdrop of highly integrated and complex global supply chains, the vulnerability of manufacturing industry chains has become increasingly prominent. Enhancing the stability, adaptability, and risk resistance of industry chains has become a key concern in both academic and policy circles. Industrial digitalization, as a core driver of intelligent and flexible upgrades in manufacturing,

provides a new pathway for enhancing the resilience of manufacturing industry chains. However, the mechanisms through which industrial digitalization influences industry chain resilience and its varying effects at different development stages require further research. Based on this, this study selects 31 provinces (municipalities and autonomous regions) in China as research objects, constructs a comprehensive evaluation index system for manufacturing industry chain resilience and industrial digitalization, and employs the entropy weight method to measure data from 2011 to 2023. A panel data model with two-way fixed effects is used to empirically analyze the direct impact of industrial digitalization on the resilience of manufacturing industry chains. Additionally, robustness tests and instrumental variable methods are applied to verify the reliability of the findings.

Keywords

Industrial Digitalization, Industry Chain Resilience, Mediating Effect Analysis, Heterogeneity Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

自改革开放以来,我国制造业经历了从无到有、由弱到强的飞速发展,逐步构建起较为完善的产业链体系,并迈入现代化建设的新阶段。近年来,随着我国经济由高速增长向高质量发展转型,国际竞争格局不断演变,国家间的竞争重心逐渐从单一产品竞争转向整个产业链竞争。这一变化不仅使我国制造业面临外部“高端回流”与“低端分流”的双重挑战,同时也暴露出长期以来在产业链建设中存在的短板和软肋,特别是在关键环节的抗风险和恢复能力方面。因此,提升制造业产业链韧性已成为破解制造业发展瓶颈、保障国家经济安全和推动高质量发展的必由之路。

目前,产业数字化在我国经济中的比重持续增长,其发展速度远超传统产业的扩张速度。站在制造业高质量发展的关键节点,深入研究产业数字化如何提升制造业产业链韧性,不仅有助于优化制造业结构、增强企业抗风险能力,也对保障国家产业安全、提升国际竞争力具有重要意义。本文从产业数字化的视角出发,系统探讨产业数字化如何提升产业链韧性,揭示其作用机理,并结合实证分析提出针对性的政策建议,以为制造业的可持续发展和全球竞争力提升提供理论支撑和实践指引。

2. 理论分析与研究假设

产业数字化作为推动制造业转型升级的重要引擎,其核心在于利用数据资源和数字技术,深度赋能制造业生产、流通、管理等各个环节,以实现产业链的优化与重塑[1]。产业数字化不仅推动制造业生产方式的变革,还促进了制造业产业链的智能化、网络化与柔性化发展,从而增强其在复杂环境中的适应能力与抗冲击能力,提升制造业产业链的韧性[2]。

首先,产业数字化通过数据要素的高效流通优化制造业产业链结构,提高其稳定性和抗风险能力。数字技术的广泛应用推动信息在产业链各环节的标准化传输,打破了传统制造业在分工、地域和成本等方面的固有边界,降低了产业链运行过程中的摩擦与壁垒,提高了应对外部冲击的灵活性与适应性。高效的数据流动不仅有助于优化供应链管理,提升生产调度与库存管理的精准度,还能加强产业链上下游企业的协同效应,减少由于信息不对称导致的资源错配和供需失衡,使得制造业产业链在面对外部冲击

时能够快速调整,保持稳定运行。

其次,产业数字化推动制造业生产方式向智能化升级,提高生产效率和产业链协同能力,从而增强产业链韧性。智能制造、工业互联网、人工智能等技术的深度融合,使得制造企业能够在更低的投入下完成高质量的生产,扩大产业链覆盖范围,并优化资源配置[3]。数字技术的应用还有效改善了信息不对称问题,使制造业企业能够更快获取市场需求信息,并实时调整生产策略,增强产业链对外部环境变化的适应能力。此外,基于数字技术的智能决策系统能够实现生产、物流、销售等环节的高效联动,减少因突发事件或市场波动造成的产业链断裂风险,提升产业链的整体稳定性。综上,产业数字化通过优化数据流动、提升生产智能化水平、创新管理模式以及推动产业链升级等多重路径,显著增强了制造业产业链的韧性。随着数字技术的持续发展,其在制造业中的应用将进一步深化,推动制造业产业链向更高质量、更安全、更具创新力的方向演进,为我国制造业的现代化发展提供坚实支撑。

因此,本文提出假设

H1: 产业数字化对制造业产业链韧性有正向驱动作用。

3. 研究设计

3.1. 模型设立和变量说明

3.1.1. 数据来源

本文的主要数据来源于 2011~2023 年的《中国统计年鉴》,中国工信部和中國信息通信研究院,2011~2023 年的《中国城市统计年鉴》,北京大学数字普惠金融指数。

3.1.2. 变量选取

(1) 被解释变量。制造业产业链韧性(μ)。制造业产业链韧性体现了制造业在应对外部冲击和保持稳定运行方面的综合能力。本研究借鉴已有文献做法,从产业链抵抗力、产业恢复能力、产业链再组织能力和产业链创新能力四个维度构建制造业产业链韧性的综合评价指标体系,并采用熵值法测算得出 23 个省级制造业产业链韧性的综合指数作为被解释变量的代替指标,以客观反映制造业产业链韧性的动态变化情况。具体指标测算见第三部分。

(2) 核心解释变量。产业数字化(Dig)。目前关于产业数字化的定量研究相对有限,多以理论探讨和定性分析为主。为实现产业数字化的定量分析,本研究借鉴《中国数字经济蓝皮书》的指标体系,通过熵值法量化产业数字化发展水平,具体包括第一、第二、第三产业增加值的数字化水平,并对各产业增加值进行权重赋值。通过综合计算形成能够量化反映区域产业数字化水平的指标,为实证分析产业数字化对制造业产业链韧性的影响提供了量化依据。

(3) 控制变量。为进一步排除其他因素对制造业产业链韧性可能产生的干扰,本研究将人均地区生产总值(Pgdp)、人口自然增长率(Pngr)、就业(Emp)、财政支出占比(Fe)、财政收入占比(Fr)以及第二产业增加值(Sec)纳入控制变量集合。具体而言,GDP 以人均地区生产总值取自然对数的形式反映区域经济发展水平的差异;人口自然增长率用于控制人口规模变化对区域产业发展造成的潜在影响;就业以城镇单位就业人员取对数形式体现劳动市场规模对制造业稳定运行的影响;财政支出占比(地方财政一般公共预算支出/地区生产总值)与财政收入占比(地方财政一般公共预算收入/地区生产总值)分别代表政府宏观政策在财政支出与收入方面对制造业发展的支持力度[4];第二产业增加值以第二产业增加值取自然对数形式衡量区域产业结构特征的影响。通过对上述变量的控制,可有效识别产业数字化对制造业产业链韧性的纯净影响。

3.1.3. 计量模型设定

为从实证方面检验产业数字化对制造业产业链韧性的影响,并验证假设 1,本文选取中国 2011~2023

年各省份的数据进行分析，构建如下固定效应模型：

$$Mu_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Dig_{i,t} + \sum_j a_j Controls_{i,t} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{i,t}$$

上述模型中， i 表示省份， t 表示年份； $Mu_{i,t}$ 为制造业产业链韧性； $Dig_{i,t}$ 为核心解释变量产业数字化水平；本文重点关注的系数 α_1 ，若显著为正，则表明产业数字化对制造业产业链韧性具有显著促进作用，若显著为负，则表明产业数字化对制造业产业链韧性产生负面影响； $Controls_{i,t}$ 为控制变量集合，具体包括：人均地区生产总值(Pgdp)、人口自然增长率(Pngr)、就业(Emp)、财政支出占比(Fe)、财政收入占比(Fr)以及第二产业增加值(Sec)； μ_i 为省份固定效应， λ_t 为时间固定效应， $\varepsilon_{i,t}$ 为随机扰动项。

3.2. 基准回归结果分析

为了验证产业数字化对制造业产业链韧性的促进作用，本文采用双固定效应模型，并分别在不加入控制变量的情况下对核心解释变量进行回归，然后逐步引入人均地区生产总值、人口、就业、财政支出占比、财政收入占比及第二产业增加值等控制变量进行多模型回归。结果如表 1 所示。

Table 1. Results of the baseline regression

表 1. 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Dig	0.137*** [0.0032]	0.137*** [0.0031]	0.138*** [0.0031]	0.134*** [0.0031]	0.133*** [0.0032]	0.133*** [0.0032]	0.132*** [0.0032]
Pgdp		-0.0469*** [0.0136]	-0.0540*** [0.0135]	-0.0929*** [0.0150]	-0.0877*** [0.0163]	-0.0893*** [0.0164]	-0.122*** [0.0239]
Pngr			-0.0969*** [0.0275]	-0.0693* [0.0271]	-0.0697* [0.0271]	-0.0674* [0.0273]	-0.0566* [0.0278]
Emp				0.0535*** [0.0102]	0.0541*** [0.0102]	0.0524*** [0.0105]	0.0488*** [0.0106]
Fe					0.0261 [0.0319]	0.0117 [0.0383]	0.0401 [0.0410]
Fr						0.0537 [0.0786]	0.0259 [0.0796]
Sec							0.0245 [0.0129]
_cons	0.0113*** [0.0033]	0.500*** [0.1414]	0.579*** [0.1410]	0.670*** [0.1371]	0.606*** [0.1581]	0.631*** [0.1624]	0.781*** [0.1801]
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	403	403	403	403	403	403	403
R ²	0.905	0.9078	0.9106	0.9169	0.9168	0.9167	0.9173

模型(1)显示，核心解释变量产业数字化对制造业产业链韧性具有显著正向影响，回归系数为 0.137，且在 1% 的显著性水平上显著，表明产业数字化发展水平提升有助于增强制造业抵御冲击和维持稳定运作

的能力。模型(2)引入人均地区生产总值后,产业数字化的影响依然显著,且Pgdp对韧性影响为负(-0.0469***),可能反映出部分经济发达地区产业结构中服务业比重较大,对制造业支持力度有限。

模型(3)进一步引入人口因素,结果显示人口对产业链韧性具有显著负向影响(-0.0969***),表明人口自然增长可能对制造业劳动力结构与供需平衡产生挑战。模型(4)加入就业变量,显示就业与韧性呈显著正相关(0.0535***),表明城镇单位就业规模的扩大有助于增强产业链韧性。

在模型(5)至(7)中,进一步控制财政支出占比、财政收入占比和第二产业增加值等变量,发现第二产业增加值的系数为0.0245,虽未达到显著性水平,但正向关系支持了产业规模扩张对韧性的积极作用。值得注意的是,在各模型中,产业数字化变量始终保持高度显著,表明其对提升制造业产业链韧性具有稳健的正向影响。

各模型的R²值均在0.905以上,最高达到0.9173,说明模型拟合度较高,解释力较强,能够较好地揭示变量之间的关系。通过基准回归模型的系统分析,进一步验证了产业数字化对制造业产业链韧性的促进作用,也体现了人力、财政与产业结构等因素的协同影响。

3.2.1. 稳健性检验

为进一步验证基准回归结果的稳健性,本文采用三种方法进行扩展性检验,具体包括:解释变量滞后一期、剔除直辖市样本以及剔除疫情期间样本[5]。通过对比各模型的回归系数与显著性水平,检验产业数字化对制造业产业链韧性影响的稳定性。表2展示了稳健性分析的具体结果。

Table 2. Results of robustness tests

表 2. 稳健性检验结果

	解释变量滞后 1 期	去掉直辖市	去掉疫情期间
Dig	0.137*** [0.0036]	0.132*** [0.0034]	0.111*** [0.0038]
Pgdp	-0.129*** [0.0281]	-0.114*** [0.0256]	-0.0949*** [0.0216]
Pgnr	-0.0397 [0.0286]	-0.0507 [0.0311]	0.111** [0.0425]
Emp	0.0617*** [0.0120]	0.0594*** [0.0116]	0.0122 [0.0096]
Fe	0.0758 [0.0423]	0.0137 [0.0435]	0.0164 [0.0458]
Fr	-0.00542 [0.0864]	0.11 [0.1002]	0.0828 [0.0770]
Sec	0.0325* [0.0147]	0.00825 [0.0142]	0.0442*** [0.0118]
_cons	0.708*** [0.2127]	0.758*** [0.1917]	0.547*** [0.1640]
固定效应	Yes	Yes	Yes
N	372	351	279
R ²	0.9089	0.92	0.8734

(1) 滞后一期解释变量

在模型(1)中,核心解释变量产业数字化采用滞后一期处理后,回归系数仍为 0.137,且在 1%的显著性水平上显著($p < 0.01$),与基准回归结果基本一致。这表明产业数字化对制造业产业链韧性的影响具有一定的持续性与时间滞后效应,并非短期波动所致。同时,控制变量中的人均地区生产总值(-0.129^{***})与就业(0.0617^{***})依然显著,方向与强度基本保持不变,进一步增强了模型结果的稳定性和解释力。

(2) 剔除直辖市样本

为剔除直辖市可能带来的结构性偏差,模型(2)中排除了北京、上海、天津、重庆四个样本地区。回归结果显示,产业数字化的回归系数为 0.132,仍在 1%的显著性水平内,说明即使不考虑直辖市这一特殊区域,产业数字化对制造业产业链韧性的正向促进效应依旧稳健存在。人均 GDP 与就业的回归结果与基准模型高度一致,进一步说明模型的适用性在区域层面上具有较强的稳定性。值得注意的是,第二产业增加值在该模型中不再显著,或与直辖市在产业结构方面的特殊性有关。

(3) 剔除疫情期间样本

考虑到 2020~2022 年间新冠疫情可能对经济活动及制造业稳定性产生扰动,模型(3)在剔除该阶段样本后再次进行回归分析。结果显示,产业数字化的回归系数仍为正(0.111^{***}),且保持高度显著,表明即使在极端外部冲击被排除的情况下,其对产业链韧性的正向影响依旧显著,进一步强化了本文结论的稳健性。此外,人口变量由前两个模型中的不显著转为在 5%水平上显著为正(0.111^{**}),可能反映出在疫情背景下人口回流、结构调整对区域制造业供应链的支撑作用。与此同时,就业变量在该模型中不再显著,或与疫情期间劳动力市场波动较大有关。第二产业增加值的显著性增强至 1%水平,进一步说明该变量在疫情结束后对产业链稳定性的作用更为突出。

综上所述,以上三种稳健性检验结果均表明:无论是在滞后效应、区域异质性,还是重大外部冲击条件下,产业数字化均能稳定地对制造业产业链韧性产生正向促进作用,进一步验证了本文主模型设定的可靠性。

3.2.2. 内生性检验

为了进一步验证产业数字化对制造业产业链韧性影响的因果关系,避免潜在的内生性问题对估计结果产生干扰,本文采用工具变量法(IV)进行内生性检验。参考已有研究做法,选取产业数字化滞后一期作为工具变量,旨在排除当前期产业韧性水平对数字化水平的可能反向影响[6]。具体检验结果如表 3 所示。

Table 3. Endogeneity analysis-instrumental variables

表 3. 内生性分析 - 工具变量

	产业数字化	制造业产业链韧性
IV	0.994 ^{***} [0.0101]	
Dig		0.143 ^{***} [0.0040]
Pgdp	0.00989 [0.0347]	0.0101 ^{**} [0.0033]
Pgnr	0.1 [0.0786]	-0.0368 [0.0442]
Emp	0.00268 [0.0289]	0.00327 [0.0037]

续表

Fe	-0.00818 [0.1135]	-0.00656 [0.0101]
Fr	0.489* [0.2363]	0.323*** [0.0405]
Sec	0.0615 [0.0371]	-0.0157*** [0.0039]
_cons	-0.651** [0.2329]	-0.0297 [0.0508]
固定效应	Yes	Yes
N	372	372
R ²	0.9856	0.9625

在第一阶段回归中，滞后一期的产业数字化对当前期产业数字化的回归系数为 0.994，且在 1% 的显著性水平下显著($p < 0.01$)，说明该工具变量与被解释变量之间具有较强的线性相关性。该系数非常接近于 1，表明滞后一期的数字化指标几乎可以完全预测当前的数字化水平，显著满足工具变量相关性要求。同时，该阶段模型的 R^2 高达 0.9856，说明工具变量在解释解释变量方面具有较高的解释力和拟合度。

在控制内生性问题后，第二阶段回归结果显示，产业数字化对制造业产业链韧性的回归系数为 0.143，显著性仍维持在 1% 水平($p < 0.01$)。相较于基准回归结果(约为 0.132)，系数略有上升，表明内生性问题的存在可能导致了对数字化影响的低估。该结果进一步确认了产业数字化对产业链韧性具有显著、稳健的正向影响。

在控制变量方面，人均地区生产总值(Pgdp)由基准回归中的负向关系转为在 5% 显著性水平下的正向关系(0.0101**)，这可能表明在更长期和动态环境中，经济发展与数字化转型之间存在协同效应，共同增强了产业链的稳定性与韧性。财政收入占比(Fr)在该模型中依然保持显著正向影响(0.323***)，支持了财政能力对供应链建设和风险应对的重要支撑作用。

综上所述，通过工具变量法控制潜在的内生性问题后，产业数字化对制造业产业链韧性的正向促进效应依旧显著且更为稳健。该分析有效缓解了因忽视内生性而可能带来的估计偏误，提升了实证结论的可信度。

4. 政策建议

第一，优化制造业数字化转型路径。政府需要全面推动数字技术与制造全流程的深度融合，加快工业互联网、大数据、人工智能、物联网等技术在生产、管理、供应链和服务环节的应用，以提升制造业的智能化水平和产业链协同能力。不同制造行业应结合自身特点推进数字化改造，高端制造业应依托智能制造和数字孪生技术，实现生产精准化和智能化管理，而传统制造业则需优先进行设备升级，推动自动化和信息化改造，以提升生产效率和资源利用率[6]。针对不同规模企业，大型企业应发挥示范引领作用，打造智能制造标杆工厂，中小企业则可借助工业互联网平台，通过“上云用数赋智”降低数字化转型成本。与此同时，要依托区块链、云计算等技术构建智能供应链协同平台，促进供应链各环节的数据互联互通，实现精准匹配、动态调整，提升产业链的稳定性和柔性。

第二，加快构建数字化产业生态。首先，要加强产业链龙头企业与中小企业的数字化协同，构建跨

行业、跨区域的数字化协作网络,通过工业互联网平台、云计算和区块链等技术,实现数据流、资金流、物流的高效衔接,促进供应链的智能化协同与资源的优化配置。其次,要鼓励数字技术与制造企业深度合作,推动人工智能、物联网、大数据等前沿技术在研发、生产、营销、售后等环节的应用,打造智能化、柔性化的生产模式,提高产业链的敏捷性和抗风险能力。此外,要完善数据要素市场建设,推进数据资源的标准化、开放化,建立合理的数据共享与交易机制,让数据要素在产业生态中流通增值,释放更大经济价值。政府应加强政策引导和制度保障,推动数字基础设施建设,优化数字经济发展环境,完善法律法规和监管体系,确保数据安全与公平竞争,从而构建开放、包容、可持续的数字化产业生态,助力制造业高质量发展。

参考文献

- [1] 石建勋,徐玲.加快形成新质生产力的重大战略意义及实现路径研究[J].财经问题研究,2024(1):3-12.
- [2] 史丹.数字经济条件下产业发展趋势的演变[J].中国工业经济,2022(11):26-42.
- [3] 李雪松,党琳,赵宸宇.数字化转型、融入全球创新网络与创新绩效[J].中国工业经济,2022(10):43-61.
- [4] 冯素玲,许德慧.数字产业化对产业结构升级的影响机制分析——基于2010-2019年中国省际面板数据的实证分析[J].东岳论丛,2022,43(1):136-149+192.
- [5] 倪克金,刘修岩.数字化转型与企业成长:理论逻辑与中国实践[J].经济管理,2021,43(12):79-97.
- [6] 傅为忠,刘瑶.产业数字化与制造业高质量发展耦合协调研究——基于长三角区域的实证分析[J].华东经济管理,2021,35(12):19-29.