

数字化转型驱动供应链韧性提升路径研究

李信谕

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年3月10日; 录用日期: 2025年3月26日; 发布日期: 2025年4月22日

摘要

在全球供应链不确定性加剧与“双碳”目标协同推进的背景下, 数字化转型成为企业重构竞争优势的关键路径。本文选取2014~2023年间上市公司数据为研究样本, 实证检验了数字化转型对供应链韧性的影响及路径。实证结果表明: 第一, 数字化转型能够显著提升供应链韧性, 在引入工具变量与行业和省份层面双重聚类调整后结果依然显著; 第二, 在进行更改样本时间范围与剔除异质性企业的检验后, 结论依然稳健; 第三, 机制分析表明, 企业节能减排水平在二者间发挥了中介作用。该研究不仅揭示了“数字赋能-绿色转型-韧性提升”的内在逻辑链条, 还为企业在复杂环境下统筹实现运营稳定与低碳发展提供了理论依据, 对政府完善“数字化”与“双碳”政策协同框架具有决策参考价值。

关键词

数字化转型, 节能减排, 供应链韧性

Study on the Path of Supply Chain Resilience Enhancement Driven by Digital Transformation

Xinyu Li

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Mar. 10th, 2025; accepted: Mar. 26th, 2025; published: Apr. 22nd, 2025

Abstract

Against the backdrop of increasing uncertainties in global supply chains and the coordinated promotion of “dual-carbon” goals, digital transformation has become a critical pathway for enterprises to reconfigure competitive advantages. This paper selects data from listed companies between 2014 and 2023 as the research sample to empirically examine the impact of digital transformation

on supply chain resilience and its underlying mechanisms. The results demonstrate that: First, digital transformation significantly enhances supply chain resilience, and this conclusion remains robust after introducing instrumental variables and applying two-way clustering adjustments at both industry and province levels. Second, the findings hold consistently across sensitivity tests involving altered sample timeframes and the exclusion of heterogeneous enterprises. Third, mechanism analysis reveals that corporate energy conservation and emission reduction levels play a mediating role between digital transformation and resilience improvement. This study not only uncovers the intrinsic logical chain of “digital empowerment-green transition-resilience enhancement” but also provides a theoretical basis for enterprises to achieve operational stability and low-carbon development in complex environments. Additionally, it offers decision-making references for governments to refine policy synergies between digitalization and dual-carbon governance frameworks.

Keywords

Digital Transformation, Energy Efficiency, Supply Chain Resilience

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

在全球气候治理与“双碳”战略的深度耦合下，供应链绿色转型已从企业自愿行为演变为产业竞争的刚性约束。《2023 年全球供应链可持续性调研报告》显示全球 73% 的跨国企业在供应商遴选中增设碳排放强度硬性指标，这意味着供应链成员节能减排能力不足将直接引发节点失效风险，进而导致“断链”危机，凸显绿色能力与供应链稳定的内在关联。尤其在中国制造业增加值占全球比重超 30% 的现状下，如何通过技术创新破解“绿色准入 - 供应链稳定”的二元悖论，成为关乎供应链韧性与低碳转型协同推进的重大现实问题。与此同时，数字经济与实体经济深度融合催生的数字化转型浪潮为该问题提供了新路径。据 IDC 数据显示，2022 年中国企业数字化直接投资规模突破 2.1 万亿元，这为重构供应链管理提供了技术可能。数字化转型不仅可以通过物联网与智能算法构建起“感知 - 分析 - 响应”的敏捷机制来增强供应链应对突发中断的抵抗力与恢复力，还能够运用数字孪生技术模拟减排路径，将传统末端治理转为过程嵌入的绿色协同。这种数字赋能机制表明，数字化转型已超越单纯的技术工具属性，正在演变为重构供应链生态规则的基础设施。因此理解数字化与供应链绿色转型的交互机制，对于把握新一轮产业革命下供应链韧性构建的内在逻辑具有重要战略意义。

2. 理论分析与研究假设

2.1. 数字化转型对供应链韧性的直接影响

在全球多重危机交织的背景下，供应链韧性作为企业可持续竞争优势的核心要素，已跃升为战略管理的优先议题。根据动态能力理论，企业在复杂环境中生存和发展的关键在于其不断适应变化的能力，而数字化转型正是增强企业动态能力的核心驱动因素之一。具体而言，数字化转型通过整合物联网、大数据、区块链和人工智能等新兴技术，构建了支撑供应链韧性重构的技术生态系统。

既有研究证实，这种技术驱动型变革重塑了企业供应链运营范式，并主要体现在以下两个层面：在微观层面，数字化转型通过智能感知设备与数字孪生技术等先进技术手段，对企业供应链环节进行深度

改造与优化[1],为提升供应链韧性提供了重要的技术基础和实践路径[2],例如,智能制造技术的应用能够减少生产过程中的不确定性,提高企业应对供应中断的能力;在宏观层面,数字化转型通过引入大数据分析和人工智能技术,使企业能够精确预测需求变化,优化资源配置,进一步提升了供应链的灵活性和适应能力[3]。而灵活性与适应能力作为供应链应对动态环境变化的核心能力之一,能够帮助企业快速感知市场需求的变化,并及时调整供应链策略。此外,从交易成本理论的视角来看,数字化转型有助于降低信息不对称和协调成本[4],提高供应链协同效率,从而增强企业的供应链韧性。

综上所述,本文认为,作为一种持续性的变革力量,从长远角度来看,数字化转型无疑是提升供应链韧性的核心驱动力。因此提出假设 1。

假设 1: 数字化转型对供应链韧性有正向显著促进作用。

2.2. 数字化转型对供应链韧性的间接影响

在“双碳”目标与供应链韧性提升双重战略推动下,数字化转型不仅影响企业运营模式,还对供应链的可持续性产生深远影响。然而,学界对数字化转型如何间接影响供应链韧性存在一定争议,主要集中在其低碳效益与能源消耗之间的权衡问题。企业可持续发展理论认为,企业的长期竞争力不仅体现在经济效益的提升,还取决于其环境和社会责任的履行。数字化转型通过生产模式重构与能效优化的双轮驱动,推动供应链向绿色可持续方向转型,进而间接增强其韧性。现有研究发现,数字化转型通过生产模式重构与能效优化双轮驱动,正推动供应链可持续发展模式转型[5]。例如,数字孪生技术使企业能够实时模拟和优化生产流程,从而减少浪费并提高供应链的可持续性。

数字化转型作用不仅体现在经济效益提升层面,更通过碳足迹溯源与清洁技术嵌入[6],形成环境治理闭环,为供应链绿色韧性建设提供了创新解决方案。此外,企业数字化转型通过将数字技术深度嵌入生产系统与物流网络,实现全流程数字化整合与透明化管理。这种透明化管理降低了供应链中的环境风险,使企业在政策监管和市场变化下具有更高的适应能力与快速响应能力。具备高阶数字化能力的企业往往着力强化数字技术在采购策略、智能制造、精准营销等职能方面的应用[7],推动能源供给向高效化、精细化方向演进,不仅降低了环境负担,同时也提高了资源利用效率,使供应链在能源供应波动或资源短缺的情况下更具韧性[8]。

综上所述,本文认为数字化转型作为一个持续性的变革方式,从立足长远角度,无疑是企业绿色转型的主干力量,因此提出假设 2。

假设 2: 数字化转型可以通过提升企业节能减排水平间接影响供应链韧性。

3. 研究设计

3.1. 模型设定

$$SCR_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Digi_{i,t} + \alpha_2 Controls_{i,t} + \mu_{year} + \mu_{industry} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

$$Ecer_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Digi_{i,t} + \beta_2 Controls_{i,t} + \mu_{year} + \mu_{industry} + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

式中 $SCR_{i,t}$ 为供应链韧性, $Ecer_{i,t}$ 为企业节能减排水平, $Digi_{i,t}$ 为企业数字化转型程度, $Controls_{i,t}$ 为控制变量, μ_{year} 、 $\mu_{industry}$ 分别为年度效应和行业效应, $\varepsilon_{i,t}$ 为误差项。

3.2. 变量测度

核心解释变量为数字化转型($Digi$): 本文参照赵宸宇[9]的研究,使用文本挖掘技术提取上市公司年报中关于数字技术应用、人工智能、大数据、区块链与云计算五个维度的关键词,以此构建数字化转型词典,并根据词组占比,统计得出上市公司的数字化转型程度($Digi$)。

被解释变量为供应链韧性(SCR): 本文将供应链韧性归纳为供应链抵抗力和供应链恢复力两个关键方面。供应链恢复力(Recov)用企业绩效的偏离程度作为供应链恢复力的代理指标[10]; 供应链抵抗力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[11], 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[12]。

门槛变量为企业节能减排水平(Ecer): 本文参照 Zhang, R [13]的研究设计, 从巨潮资讯网获取我国 A 股上市企业 2011~2021 年报, 运用爬虫对上市企业年报的分析, 将节能减排相关词汇的出现频率作为企业节能减排水平的代理变量, 进而估算企业节能减排水平。这些条款是根据《国务院关于加强节能工作的决定》《节能减排“十三五”规划》和《能源国际“十四五”规划》确定的。具体术语有“节能”、“减排”、“减少污染”、“减少”等。

控制变量如表 1 所示:

Table 1. Definition of control variables
表 1. 控制变量定义

变量名	变量符号	变量定义
企业规模	<i>Size</i>	总资产的自然对数
企业年龄	<i>Age</i>	企业成立年限
资产收益率	<i>ROA</i>	净利润/总资产
企业成长性	<i>Growth</i>	主营业务收入增长率
固定资产比率	<i>Structure</i>	固定资产净额占总资产的比重
资产负债率	<i>Lev</i>	总负债/总资产
企业现金流	<i>Cashflow</i>	企业现金流/总资产
产权性质	<i>SOE</i>	国有企业取 1, 否则为 0
第一大股东持股比例	<i>Top1</i>	第一大股东持股占比

3.3. 数据处理

本文主要探究数字化转型驱动供应链韧性提升的双元路径, 以 2014~2023 年间沪深 A 股上市公司为初始样本。为保证实证结果的可靠性, 对初始样本进行如下筛选处理: (1) 剔除特殊处理(ST、*ST)的财务异常公司; (2) 剔除金融行业以及数据缺失严重的企业。同时, 为消除离群值对结果造成的影响, 对全部连续变量均以 1%和 99%分位进行 winsorize 处理。最终保留了 35,000 多个有效观测值。相关数据均来自于国泰安数据库, 巨潮资讯网, CNRDS 数据库。

4. 实证结果分析

4.1. 主效应回归检验

为考察数字化驱动供应链韧性提升的效应, 检验结果如表 2 所示。

表 2 列(1)呈现了仅纳入核心解释变量、个体效应和年份固定效应的回归结果; 列(2)为加入了控制变量后的回归结果; 列(3)为在控制了个体和年份固定效应后, 进一步在标准误估计中采用行业和省份层面双重聚类调整的回归结果。

结果表明: 在考虑了控制变量、个体固定效应、时间固定效应、行业和省份地区的双重聚类效应后数字化转型对供应链韧性的影响在 0.1%的水平上显著且为正, 说明数字化转型对供应链韧性有显著的正

向影响，即数字化转型显著提升了供应链韧性。验证假设 1。究其原因，企业通过实时信息整合与共享，依托数字化工具打破数据孤岛，增强全链条可见性，降低信息摩擦并缩短响应延迟，提升了供应链韧性。

Table 2. Impact of digital transformation on supply chain resilience

表 2. 数字化转型对供应链韧性的影响

变量	(1) Scr	(2) Scr	(3) Scr
Digi	0.00873*** (16.43)	0.00762*** (14.32)	0.00797*** (7.28)
常数项	0.221*** (115.16)	0.160*** (7.28)	0.115*** (2.15)
控制变量	否	是	是
个体固定效应	是	是	是
时间固定效应	是	是	是
观测值	35040	35040	33448

t statistics in parentheses. *p < 0.1, **p < 0.05, ***p < 0.01.

4.2. 稳健性检验

4.2.1. 改变样本年份区间

由于我国在 2016 年出台《“十三五”国家信息化规划》，标志着我国开始正式全力从信息化基础设施建设阶段向数字化能力系统化重构阶段的战略跃迁，这种政策性影响较为明显，因此本文将样本区间改为 2016~2023 年。回归结果见表 3 的第一列，结果表明在改变样本区间后结果依旧稳健。

4.2.2. 剔除异质性样本

考虑到计算机、通信和其他电子设备制造业作为具有天然“数字性”的企业，其企业年报中出现涉及数字化转型关键词的频率普遍高于其他行业，故剔除该行业样本。此外，样本中并不是每个企业都实施数字化转型这一举措，即存在数字化转型为词频为 0 的企业，这些样本与本研究的核心问题无关，因此将其剔除后重新回归，回归结果见表 3 的第二列。结果表明，数字化转型的回归系数依然显著为正，与先前结论保持一致。

Table 3. Robustness test

表 3. 稳健性检验

变量	改变样本年份区间 Scr	剔除异质性样本 Scr
Digi	0.00833*** (14.03)	0.00758*** (13.46)
常数项	0.188*** (7.87)	0.131*** (5.38)
观测值	30,237	30,622
R ²	0.34	0.46

t statistics in parentheses. *p < 0.1, **p < 0.05, ***p < 0.01.

5. 机制检验

根据前文理论分析，数字化转型会通过提升企业节能减排水平从而提高供应链韧性。目前国内经济

学因果推断研究中，大多采用传统中介效应检验。这一方法的流行可溯源至温忠麟教授团队的基础性研究[14][15]。然而传统三步法长期面临方法论局限，无法解决内生性等问题。基于此，江艇教授倡导转向“两步法”：第一步通过实验或准实验设计确立核心因果效应($X \rightarrow Y$)，第二步直接量化并分离直接效应($X \rightarrow Y$)与间接效应($X \rightarrow M \rightarrow Y$)。即($X \rightarrow Y$)与($X \rightarrow M$)通过检验说明，而($M \rightarrow Y$)通过学科理论体系、文献基础或经验证据等进行说明。因此本文参考江艇[16]的研究设计，采用两步法进行中介效应检验。回归结果如表 4 所示：

Table 4. Impact of digital transformation on energy saving and emission reduction in enterprises
表 4. 数字化转型对企业节能减排水平的影响

变量	(1) Ecer	(2) Ecer	(3) Ecer
Digi	0.179*** (33.65)	0.102*** (18.64)	0.0665*** (5.17)
常数项	1.661*** (94.76)	-6.968*** (-38.71)	-2.389*** (-5.83)
控制变量	否	是	是
个体固定效应	是	是	是
时间固定效应	是	是	是
观测值	31800	31800	30164
R ²	0.14	0.15	0.69

t statistics in parentheses. *p < 0.1, **p < 0.05, ***p < 0.01.

表 4 中列示了数字化转型程度对企业节能减排水平影响的回归结果。列(1)汇报了仅包含核心解释变量、个体效应及时间固定效应的基准回归结果。在逐步采用控制变量、行业与省份层面的双重聚类标准误调整方法后，核心变量的估计系数仍保持 0.1%水平的统计显著性。实证分析表明，企业数字化转型战略的实施程度与其节能减排水平呈显著正向关联，即数字化进程的深化通过技术赋能机制驱动企业节能减排效能的持续提升。此外基于资源基础观理论，企业通过节能减排积累的绿色资源(如清洁技术专利)具有稀缺性和不可模仿性，可增强供应链对资源短缺的抵抗力；在具体实践中，联合利华(Unilever)在 2016 年可持续发展报告中指出，通过节能减排技术(如清洁能源采购)，其供应链因环境问题导致的中断事件减少 40%。因此假设 2 得以证明。

6. 研究结论与建议

6.1. 研究结论

本文探究了数字化转型对供应链韧性的影响及节能减排水平的中介作用，通过实证结果发现：1. 企业进行数字化转型能显著提升供应链韧性，在进行一系列误差控制与稳健性检验后结果仍然成立。2. 企业节能减排水平在数字化驱动供应链韧性提升的过程中有显著的中介效应。研究揭示了数字化与供应链韧性的条件性因果机制，突破传统线性研究范式。

6.1. 建议

第一，企业应依托数字化进行数据整合与智能优化，构建跨链条数据共享平台，整合生产、物流、回收端的碳排放数据流，利用 AI 算法实时识别高耗能环节并生成“减排 - 韧性”双目标优化方案，通过

动态库存调配与智能排产提升资源利用率，同步增强供应链韧性与减排效率。

第二，进行技术协同机制创新，依托区块链建立绿色供应商联盟，实现碳足迹全链条追溯与低碳技术共享，强化突发风险下的多节点协同响应能力；部署数字孪生技术模拟清洁能源替代场景，将可再生能源应用数据转化为抵抗断裂风险的储备，形成减排措施与抗风险能力的联动。

第三，应加强动态监管，联合行业协会开发绿色供应链评价体系，定期量化数字化转型对碳强度降低、中断恢复速度等指标的提升效应，通过不断优化确保环境效益与运营稳定性同步增强，构建可持续的良性循环机制。

参考文献

- [1] Tao, F., Zhang, H., Liu, A., et al. (2018) Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, **15**, 2405-2415.
- [2] Sheffi, Y. and Rice Jr., J.B. (2005) A Supply Chain View of the Resilient Enterprise. *MIT Sloan Management Review*.
- [3] 尹西明, 马伊兰, 王朝晖, 等. 制造业数字化转型、开放式创新与组织韧性——基于动态能力视角[J/OL]. 科技进步与对策: 1-11. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1224.G3.20250317.1011.002.html>, 2025-03-21.
- [4] 陈立峰, 曹维洲, 陈伊凡. 企业数字化转型对 ESG 绩效的驱动机制与路径——基于 meMO-II模型的检验[J]. 统计与决策, 2025, 41(4): 172-177.
- [5] 肖红军, 沈洪涛, 周艳坤. 客户企业数字化、供应商企业 ESG 表现与供应链可持续发展[J]. 经济研究, 2024, 59(3): 54-73.
- [6] 白婉婷, 陈建成, 侯建. “双碳”目标下制造业数字化转型的碳减排效应研究[J]. 软科学, 2024, 38(8): 114-120.
- [7] 马鸿佳, 王亚婧, 苏中锋. 数字化转型背景下中小制造企业如何编排资源利用数字机会?——基于资源编排理论的 fsQCA 研究[J]. 南开管理评论, 2024, 27(4): 90-100, 208.
- [8] 李晓梅, 刘梦雪. 数字技术、供应链韧性与企业可持续绩效——吸收能力的调节作用[J/OL]. 华东经济管理: 1-11. <https://doi.org/10.19629/j.cnki.34-1014/f.240917004>, 2025-03-21.
- [9] 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, 24(2): 149-161.
- [10] 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.
- [11] Cull, R., Xu, L.C. and Zhu, T. (2009) Formal Finance and Trade Credit during China's Transition. *Journal of Financial Intermediation*, **18**, 173-192. <https://doi.org/10.1016/j.jfi.2008.08.004>
- [12] 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.
- [13] Zhang, R., Fu, W. and Kuang, Y. (2022) Can Digital Economy Promote Energy Conservation and Emission Reduction in Heavily Polluting Enterprises? Empirical Evidence from China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article 9812. <https://doi.org/10.3390/ijerph19169812>
- [14] 温忠麟, 侯杰泰, 张雷. 调节效应与中介效应的比较和应用[J]. 心理学报, 2005, 37(2): 268-274.
- [15] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.
- [16] 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.