

# 基于数字技术的电子商务企业供应链韧性优化路径探析

罗立杰, 徐飞\*

贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年7月7日; 录用日期: 2025年7月28日; 发布日期: 2025年8月25日

## 摘要

全球突发事件频发, 严重冲击了供应链的正常运行。鉴于突发事件低频高害特性导致供应链网络频发中断, 增强供应链韧性成为电子商务企业绩效提升的关键, 而识别其影响因素是企业优化韧性的基础。数字技术赋能产业链智能化, 其在增强供应链韧性中的作用日益凸显, 深入探讨其对供应链韧性及绩效的作用机制至关重要。本研究深入解析数字技术、供应链韧性与绩效等核心概念, 构建变量关系模型并进行实证分析。研究表明, 数字技术显著提升了供应链韧性和绩效; 此外, 供应链韧性正向影响供应链绩效。因此, 电子商务企业可以通过利用数字技术来优化供应链运作和增强韧性, 从而提高绩效。

## 关键词

电子商务企业, 供应链韧性, 数字技术

# Exploring Optimization Paths for Supply Chain Resilience in E-Commerce Enterprises Based on Digital Technology

Lijie Luo, Fei Xu\*

School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Jul. 7<sup>th</sup>, 2025; accepted: Jul. 28<sup>th</sup>, 2025; published: Aug. 25<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

The frequent occurrence of global emergencies has seriously affected the normal operation of the

\*通讯作者。

文章引用: 罗立杰, 徐飞. 基于数字技术的电子商务企业供应链韧性优化路径探析[J]. 电子商务评论, 2025, 14(8): 2203-2215. DOI: 10.12677/ecl.2025.1482766

**supply chain. In view of the frequent interruption of the supply chain network caused by the low-frequency and high-harm characteristics of emergencies, improving supply chain resilience has become the key to improving the performance of e-commerce enterprises, and identifying its influencing factors is the basis for enterprises to optimize resilience. Digital technology enables the intelligentization of the industrial chain, and its role in enhancing the resilience of the supply chain is increasingly prominent. It is very important to explore its mechanism of action on the resilience and performance of the supply chain. This study deeply analyzes the core concepts of digital technology, supply chain resilience, and performance, constructs a variable relationship model, and conducts empirical analysis. Research shows that digital technology has significantly improved supply chain resilience and performance. In addition, supply chain resilience positively affects supply chain performance. Therefore, e-commerce enterprises can improve their performance by using digital technology to optimize supply chain operations and enhance resilience.**

## Keywords

**E-Commerce Enterprise, Supply Chain Resilience, Digital Technology**

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

全球经济一体化与国际贸易的深化使得高度互联、复杂的全球供应链网络在推动经济增长与产业变革中扮演着关键角色,但其脆弱性一旦显现,易对国家经济造成广泛损害。全球突发事件的频发严重冲击供应链稳定,暴露了其面对低频高损风险的短板,凸显了提升供应链韧性与安全稳定能力的迫切性。同时,这已成为构建新发展格局、保障电子商务产业安全的核心要求。工业 4.0 背景下,智能化发展依赖数字技术,其在增强供应链韧性方面的作用日益凸显。这也使得国内外学者们从政策激励、机制建设和模式构建等方面着手,研究韧性供应链的构建与提升供应链韧性的途径。姜婷等(2021)从供应链中断风险的基本界定出发,分析了供应链中断风险的应对思路和供应链动态能力构成,构建了由储备能力、响应能力、协同能力、适应能力、学习能力、创新能力、可见能力等七种能力组成的面向供应链中断风险应急能力图谱[1]。李维安等(2022)深入探究了多种并发因素和复杂机制对供应链韧性构建的影响,发现单一的动态能力因素或组织举措因素不足以构成高供应链韧性的必要条件,必须通过联动作用,才能实现韧性的有效构建[2]。王煜昊等(2024)揭示了跨境电商综试区通过企业竞争能力、创新能力和数字基建三个中介变量提升韧性,其中差异化产品企业受益最显著[3]。康茂楠等(2025)聚焦制造企业,证明跨境电商削减贸易成本、提高产品质量和缓解供应链不确定性是核心机制,对中西部企业效果更突出。然而,应用数字技术于供应链韧性的研究相对较少[4]。Parast (2022)讨论了组织和供应链韧性权变视角的重要性,阐述了如何利用电子商务的权变资源基础观(CRBV)来解决在组织和跨供应链恢复能力发展中应该审查的战略和运营突发事件[5]。Zaman 等(2023)通过 ISM-DEMATEL 模型,验证了银行数字化通过“效率-信任-成本控制”三重机制增强电商服务供应链韧性,特别强调跨境支付系统对巴基斯坦电商的缓冲作用[6]。Liu 等(2025)的实证研究表明,数字经济通过降低外贸依赖度、提升出口技术复杂度和优化出口集中度三条路径强化医疗跨境电商韧性,发现政策效应在西部更强[7]。

本研究突破了以往学者们对于供应链韧性优化的视角与方法,基于数字技术视角,采用定性研究与定量研究相结合的方法,构建线性回归分析模型,明晰供应链韧性提升的影响因素,探究其韧性提升的

优化路径, 将我国供应链韧性优化的研究进一步引向深入。

## 2. 数字技术与供应链韧性分析

目前对于供应链韧性(Supply Chain Resilience)使用较为广泛的定义为 Serhiy Y. Ponomarov (2009)提出的: “供应链对潜在的突发事件的事前准备、在中断发生后的快速响应并从中恢复的适应能力” [8], 该定义将供应链韧性分为三个阶段: 准备阶段、响应阶段和恢复阶段。当前, 供应链韧性的度量方法可以归纳为三类: 1) 以核心能力为基础, 衡量供应链的韧性。通过将供应链的韧性细分为几个关键要素, 并以此为基础, 对其进行评估, 以衡量其灵活性、可见性、敏捷性等特征(Chowdhury 和 Quaddus, 2017) [9]。2) 通过定量指标来评估韧性。通过这种方法, 可以获得定量指标, 包括: 供应链受到外部影响后恢复到原有状态或更加理想状态所需的时间、恢复的程度, 以及恢复期间供应链绩效的变化情况(Behzadi 等人, 2020) [10]。3) 通过定量指标来衡量供应链的韧性, 以此来评估其绩效。通过评估客户满意度、市场占有率以及在停产期间的财务状况, 我们可以更好地了解公司的发展(Hohenstein 等人, 2015) [11]。

数字技术(Digital technology)涵盖了多种新兴技术, 如区块链、大数据、云计算、人工智能、物联网、云计算等。使用数字技术可以显著提升整个经济的效率。在当今时代, 供应链数字化是行业中发展最迅速、最具颠覆性的发展之一。许多电子商务企业采用数字技术来创建协作和高效的数字化供应链。Yang 等人(2021)研究了制造业组织实施数字技术的影响, 发现数字技术和供应链合作是在供应链中实施数字化的两个基本变量[12]。

## 3. 研究假设与概念模型

### 3.1. 关键变量构建

#### 3.1.1. 自变量——数字技术

1) 机器学习(Machine Learning): 机器学习是一门跨学科的交叉学科, 它涉及概率论、统计学、逼近论等多个领域[13], 它可以帮助我们更好地理解 and 预测复杂的问题。通过深入研究, 我们可以探索计算机如何模拟和实现人类的学习行为, 从而获得更多的知识和技能, 并且通过重新组合已有的知识结构, 来提升系统的效率。

2) 物联网(Internet of Things): 物联网的概念是在 1999 年提出的, 它的定义很简单: 将各种物体通过射频识别、信息传感器、网络连接等技术, 实现自动化的物体识别、管理和控制。

3) 云计算(Cloud Computing): 云计算技术是分布式计算技术的一种, 其最基本的概念, 是透过网络将庞大的计算处理程序自动拆分成无数个较小的子程序, 再交由多个服务器所组成的庞大系统经搜寻、计算分析之后将处理结果回传给用户[14]。

4) 人工智能(Artificial Intelligence): 人工智能是一门新兴的技术科学, 它旨在研究、开发和应用模拟人类智能的理论、方法、技术和系统, 以提高人类的工作效率和生活质量。

5) 区块链技术(BCT): 它是另一种新兴的技术, 是基于分布式账本技术的基本形式, 描述公共区块链技术被创建为一个十进制的网络, 每个参与者或节点在公共账本上记录交易。

#### 3.1.2. 中间变量——供应链韧性

1) 供应链韧性(Supply Chain Resilience, SCR)被视为供应链吸收破坏性事件的冲击, 应对中断并迅速恢复到其原始状态或实现更佳运营状态的能力。不同的层面需要开发不同类型的资源和能力, 即吸收能力(中断前)、响应能力(中断期间)和恢复能力(中断后)。这三种功能在响应中断方面是独立的, 电子商务企业需要整合不同的资源, 形成相应的能力来应对不同类型的中断。

2) 吸收能力强调供应链系统通过使用其原始冗余资源和其他风险准备活动来吸收和承受供应链中断的能力(Essuman 等人, 2022) [15]。它被认为是供应链应对中断事件的第一道防线。具有吸收能力的供应链意味着所牵涉到的公司完全了解供应链运行的状态, 并在突发事件发生前就做好相应的准备。因此, 吸收能力可以反映三个供应链韧性要素: 供应链态势感知、冗余和可见性(Ivanov, 2021) [16]。

3) 响应能力是供应链在面对中断事件时通过调整活动流程和资源分配来及时正确应对风险的能力(Sheffi 和 Rice, 2005) [17]。响应能力被认为是供应链韧性的重要决定因素, 也是防止供应链中断的第二道防线。因此, 响应能力体现了风险管理决策、敏捷性和协作的三个供应链韧性要素。

4) 恢复能力是指电子商务企业通过使用最佳方法在风险发生的后期阶段快速且经济高效地解决风险冲击, 从而快速达到其原始运营或更好状态的能力(Chowdhury 和 Quaddus, 2009) [11]。恢复能力是供应链系统抵御中断风险的最后一道防线。当吸收和响应能力无法维持初始运行状态时, 需要紧急增强恢复能力。因此, 恢复能力体现了供应链恢复效率、应急计划和知识管理的三个要素(Adobor 和 McMullen, 2018) [18]。

### 3.1.3. 因变量——供应链绩效

供应链绩效(SCP)可以衡量供应链的整体效率(Gunasekaran 等人, 2020) [19]。SCP 不仅关注单个企业的绩效, 还反映整个供应链的运行状态。绩效的衡量可以帮助电子商务企业审查所取得的成就, 设定发展目标并确定未来行动的方向。

本文根据 Beamon (1999)的观点, 由四个维度来衡量 SCP: 运营成本、投资回报率、交货时间和客户满意度[20]。其中运营成本指生产经营过程中的成本, 包括生产成本、运输成本和库存持有成本等; 投资回报率指商业投资的经济回报; 交货时间指从订单到交货的时间段; 客户满意度指满足客户需求或期望的程度, 包括售后服务效率和缺货率。

## 3.2. 研究假设

机器学习及其在供应链韧性管理中适用性的研究随着近年来人工智能的兴起而被学者们逐渐重视, 它旨在通过预测供应链中断的发生并减轻其不利影响来保护供应链免受中断(Baryannis 等人, 2021) [21]。当供应链遇到时间、成本和资源约束方面的挑战时, 机器学习能够良好地应对这些风险。云计算技术在工业 4.0 时代的应用改变了供应链和运营管理(Ivanov 等, 2021) [16]。物联网是重要的数字技术之一, 通过物联网技术, 可以实现供应链实体和流程的连接, 完成自动识别产品和货物的活动, 跟踪产品在各个阶段的流动, 对提升供应链透明度有很大的帮助。人工智能被定义为“机器模仿人类智能行为的能力”。在不同的复杂性工作上, 人工智能能够增强供应链组织的效率。通过供应链协作, 可以降低牛鞭效应导致的高成本, 提高运营效率和整体竞争力并且对供应链韧性产生正向影响(AI-Talib 等, 2020 年) [22]。区块链作为一项重要的数字技术, 能够通过智能合约达成透明、安全、及时的数据自动化交互, 提高了企业获得的数据和信息的质量, 并为供应链可见性提供了信息基础(Rogerson 和 Parry, 2020) [23]。

综合上述分析, 本研究认为将人工智能、机器学习、大数据等数字技术融入供应链流程, 可以更好地监控和分析供应商的运营, 淘汰经营不善的供应商, 构建强大的供应链合作网络, 进一步降低缺货的风险, 增强意外事件到来前的吸收能力。因此, 本研究提出了以下假设:

- H1: 机器学习对供应链韧性有正向影响。
- H2: 云计算技术对供应链韧性有正向影响。
- H3: 物联网技术对供应链韧性有正向影响。
- H4: 人工智能可对供应链韧性有正向影响。
- H5: 区块链技术对供应链韧性有正向影响。

在对以往有关供应链韧性的文献进行整合与分析后，本文拟使用时间属性来确定 SCR 的三个维度：吸收能力(中断前)、适应能力(中断期间)和恢复能力(中断后)。首先，吸收能力的提高降低了与破坏性突发事件相关的波动性，并保障了供应链的稳健运行，使供应链有机会和时间来实现更高的盈利能力和更大的市场份额。其次，响应能力的提高使得电子商务企业在发生中断时能快速制定正确的风险管理策略以应对市场变化，从而创造更高的供应链绩效。最后，从战略、管理和运营的不同维度来看，快速的供应链恢复使电子商务企业能够重组资源和能力，为价值增长创造新的机会，从而有助于获得良好的供应链绩效。基于上述论点，本研究提出了以下假设：

数字化的供应链可以有效提高产品质量和生产力，并降低生产成本，从而提高供应链绩效。供应链数字化结合了数字采购、数字生产、数字销售和数字物流运营，可以延长产品生命周期并实现可持续的性能改进。这将加快产品创新的效率以及新产品和服务的开发，并帮助电子商务企业占据更大的市场份额，最终在动态竞争的环境中得到更高水平的绩效。基于上述论点，本研究提出了以下假设：

H6：供应链韧性对供应链绩效有正向影响。

H7：数字技术可对供应链绩效有正向影响。

### 3.3. 数字技术对供应链韧性产生影响的概念模型

供应链的数字化可以通过流程效率的提高对供应链绩效产生直接影响，在风险不确定的环境中，数字技术可以增强供应链韧性的动态能力，使电子商务企业获得更好的业绩和市场竞争地位。因此，基于上述假设，建立“数字技术→供应链韧性→供应链绩效”的分析框架和理论模型，分析数字技术对供应链韧性和供应链绩效的直接影响，以及供应链韧性对供应链绩效的作用。图 1 突出显示了综合假设及其关系的研究模型。

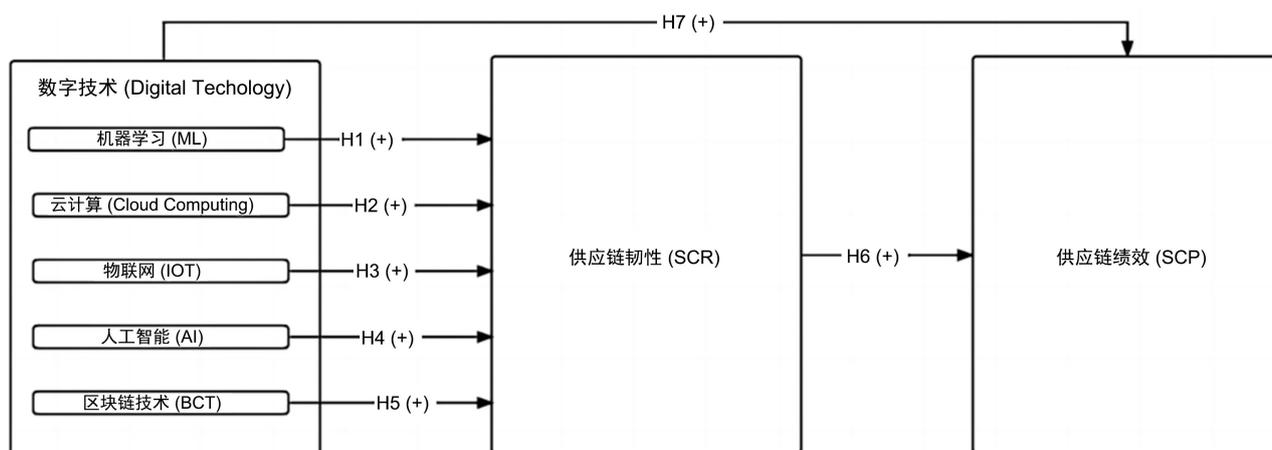


Figure 1. Conceptual model of the impact of digital technology on supply chain resilience

图 1. 数字技术对供应链韧性产生影响的概念模型

## 4. 实证分析和假设检验

数据来源于对电子商务企业供应链相关人员的问卷调查，根据受访者的反馈，对调查问卷(见附录)中结构定义不明确的困难和语义问题进行了修订，以产生最终版本供主要调查使用。使用 5 分李克特反射量表来衡量对问题的回答，其中“1”代表“强烈不同意”，“5”代表“非常同意”。我们首先在重庆某物流有限公司发放了 60 份调查问卷，其中 50 份被回收，经过严格的筛选，最终选出 46 份有效问卷，Cronbach's  $\alpha$  系数达到了 0.920，这表明问卷的数据是可靠的。随后，我们对重庆的一家电子商务公司和

一家快递公司的一些工作人员进行了深入地采访, 本次调查共计向受访者发放了 204 份问卷, 其中有效问卷为 174 份, 有效率达 85.3%。本文也采用这次调查问卷的数据进行分析(问卷分布特征见图 2)。

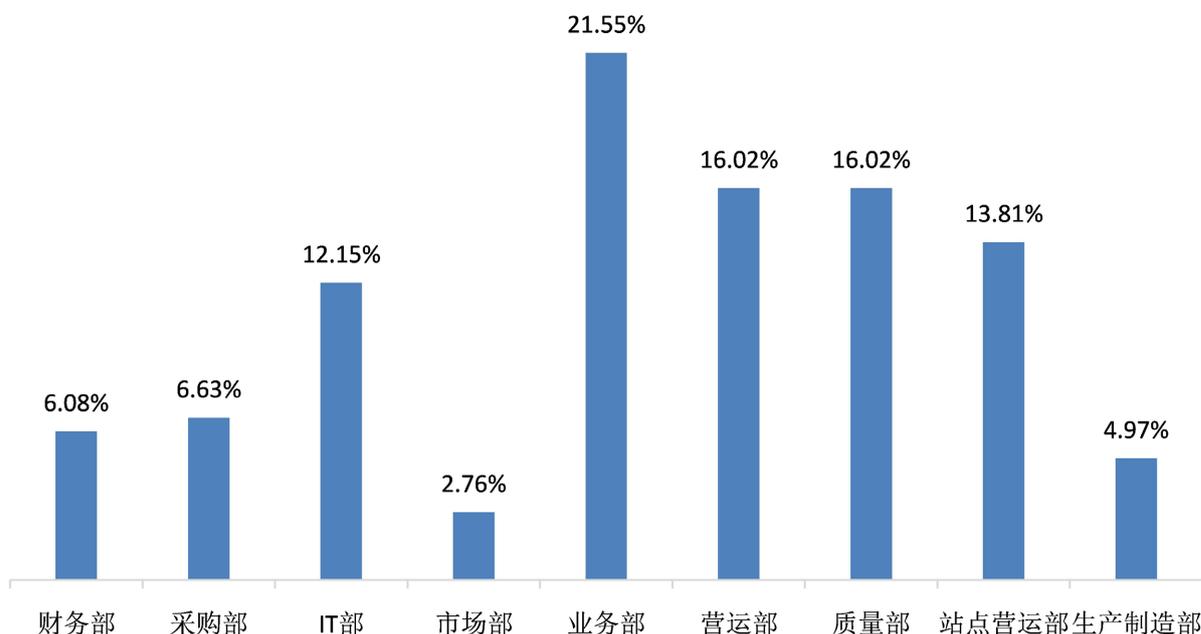


Figure 2. Questionnaire characteristic distribution map  
图 2. 问卷特征分布图

对数据的适用性进行 KMO (Kaiser-Meyer-Olkin)和 Bartlett 的球形度检验, 结果见表 1。

Table 1. KMO and Bartlett tests  
表 1. KMO 和巴特利特检验

KMO 取样适切性量数		0.896
巴特利特球形度检验	近似卡方	1984.605
	自由度	171.000
	显著性	0.000

KMO 检验的系数结果为 0.896, 巴特利特检验卡方值为 1984.605 (Sig. = 0.000 < 0.01), 说明问卷总体的效度极好。

由表 2 可知, 使用主成分分析法提取后通过对因子的分析, 我们发现 4 个因子的特征根值都超过了 1, 这些因子的方差解释率分别为 18.501%、17.600%、16.806%和 14.657%。说明研究已经成功地提取了这些因子, 并且这些因子的数据非常丰富。经过旋转处理后, 累积方差解释率达到了 67.565%。

通过表 3, 我们发现因子能够有效地提取研究项的信息, 并且它们之间存在着密切的关联。根据表格中的数据, 所有研究项的共同度都超过了 0.4, 这表明因子能够有效地提取出相关的信息。在确定了因子能够收集到绝大多数数据之后, 我们将进一步探讨它们与研究项目的相互影响。

如表 4 所示, 人工智能、区块链技术、物联网技术、云计算技术、机器学习可以解释态势感知的 53.1% 变化原因。对模型进行 F 检验时发现模型通过了 F 检验(F = 39.395, p = 0.000 < 0.05), 说明人工智能、区

区块链技术、物联网技术、云计算技术、机器学习中至少一项会对态势感知产生影响关系。另外, 针对模型的多重共线性进行检验发现, 模型中 VIF 值全部均小于 5, 意味着不存在共线性问题; 并且 D-W 值在数字 2 附近, 从而说明模型不存在自相关性, 样本数据之间并没有关联关系, 模型较好。

**Table 2.** Variance interpretation rate table

**表 2.** 方差解释率表格

因子编号	特征根			旋转前方差解释率			旋转后方差解释率		
	总计	方差解释率%	累计%	总计	方差解释率%	累计%	总计	方差解释率%	累计%
1	6.911	36.376	36.376	6.911	36.376	36.376	3.515	18.501	18.501
2	2.460	12.948	49.324	2.460	12.948	49.324	3.344	17.600	36.101
3	2.122	11.171	60.495	2.122	11.171	60.495	3.193	16.806	52.908
4	1.343	7.070	67.565	1.343	7.070	67.565	2.785	14.657	67.565
5	0.666	3.507	71.072	-	-	-	-	-	-
6	0.581	3.058	74.130	-	-	-	-	-	-
7	0.549	2.889	77.018	-	-	-	-	-	-
8	0.508	2.675	79.693	-	-	-	-	-	-
9	0.501	2.639	82.332	-	-	-	-	-	-
10	0.452	2.381	84.713	-	-	-	-	-	-
11	0.415	2.186	86.899	-	-	-	-	-	-
12	0.378	1.988	88.887	-	-	-	-	-	-
13	0.363	1.911	90.798	-	-	-	-	-	-
14	0.354	1.863	92.660	-	-	-	-	-	-
15	0.337	1.775	94.436	-	-	-	-	-	-
16	0.301	1.584	96.020	-	-	-	-	-	-
17	0.286	1.503	97.523	-	-	-	-	-	-
18	0.268	1.410	98.933	-	-	-	-	-	-
19	0.203	1.067	100.000	-	-	-	-	-	-

**Table 3.** Load coefficient table

**表 3.** 载荷系数表格

名称	因子载荷系数				共同度 (公因子方差)
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	
人工智能	<b>0.833</b>	0.161	0.151	0.138	0.761
区块链技术	<b>0.828</b>	0.087	0.130	0.150	0.733
物联网技术	<b>0.775</b>	0.067	0.046	0.276	0.683
云计算技术	<b>0.748</b>	0.174	0.193	0.104	0.638

续表

机器学习	<b>0.788</b>	0.143	0.103	0.170	0.681
态势感知	0.165	0.103	<b>0.776</b>	0.243	0.700
冗余	0.098	0.046	<b>0.785</b>	0.114	0.642
可见性	0.075	0.082	<b>0.782</b>	0.040	0.625
风险决策	0.069	0.128	<b>0.732</b>	0.147	0.578
敏捷性	0.129	<b>0.761</b>	0.022	0.245	0.656
协作	0.199	<b>0.770</b>	0.077	0.152	0.662
恢复效率	0.131	<b>0.813</b>	0.039	0.102	0.690
应急计划	0.059	<b>0.766</b>	0.168	0.073	0.623
知识管理	0.092	<b>0.795</b>	0.065	0.225	0.696
运营成本	0.290	0.209	0.182	<b>0.754</b>	0.730
投资回报率	0.191	0.207	0.160	<b>0.794</b>	0.736
提前期	0.180	0.201	0.230	<b>0.766</b>	0.712
客户满意度	0.181	0.201	0.208	<b>0.745</b>	0.671

注：表格中加粗数字表示载荷系数绝对值大于 0.4。

**Table 4.** Linear regression analysis results table of digital technology and situational awareness

**表 4.** 数字技术与态势感知的线性回归分析结果表

	态势感知	冗余	可见性	风险决策	敏捷性	协作	恢复效率	应急计划	知识管理
人工智能	0.711**	0.415**	0.467**	0.472**	0.369**	0.512**	0.456**	0.467**	0.579**
区块链技术	0.464**	0.406**	0.382**	0.401**	0.438**	0.514**	0.435**	0.671**	0.505**
物联网技术	0.424**	0.312**	0.320**	0.401**	0.493**	0.540**	0.478**	0.371**	0.482**
云计算技术	0.484**	0.388**	0.385**	0.410**	0.455**	0.483**	0.527**	0.407**	0.446**
机器学习	0.461**	0.353**	0.408**	0.426**	0.495**	0.508**	0.472**	0.474**	0.484**

注：\*p < 0.05, \*\*p < 0.01。

总结分析可知：人工智能、云计算技术会对态势感知产生显著的正向影响关系。但是区块链技术、物联网技术、机器学习并不会对态势感知产生影响关系。类似地，将供应链韧性(SCR)的内部所有变量均作为线性回归的因变量，再将数字技术(DT)的五个变量作为自变量分别进行线性回归分析，可以得到以下结论：人工智能会对态势感知、冗余、可见性、风险决策、应急计划、知识管理产生显著的正向影响关系；区块链技术会对冗余、应急计划、知识管理、协作产生显著的正向影响关系；物联网技术会对敏捷性、协作产生显著的正向影响关系；云计算技术会对态势感知、敏捷性、恢复效率产生显著的正向影响关系；机器学习会对风险决策、敏捷性产生显著的正向影响关系。即对数字技术中任一技术进行优化都会对供应链韧性产生正向影响，H1、H2、H3、H4、H5 均得到验证。

区块链技术对态势感知( $\beta = 0.082, p = 0.245$ )、物联网对运营成本( $\beta = -0.090, p = 0.220$ )等路径未达显著水平，表明技术赋能存在边界条件。例如，区块链更适用于需要高安全性的契约执行(如应急计划)，而非实时数据感知；物联网硬件投入可能短期内增加成本，需长期摊销才能体现效益。

由表 5 可知, 态势感知、冗余、可见性、风险决策、敏捷性、协作、恢复效率、应急计划、知识管理可以解释运营成本的 48.2% 变化原因。对模型进行 F 检验时发现模型通过了 F 检验( $F = 17.581, p = 0.000 < 0.05$ ), 也即说明态势感知、冗余、可见性、风险决策、敏捷性、协作、恢复效率、应急计划、知识管理中至少一项会对运营成本产生影响关系, 另外, 针对模型的多重共线性进行检验发现, 模型中 VIF 值全部均小于 5, 意味着不存在共线性问题; 并且 D-W 值在 2 附近, 从而说明模型不存在自相关性, 样本数据之间并没有关联关系, 模型较好。

**Table 5.** Linear combination coefficient and weight results

**表 5.** 线性组合系数及权重结果

	非标准化系数		标准化系数	<i>t</i>	<i>p</i>	VIF
	<i>B</i>	标准误	<i>Beta</i>			
常数	1.099	0.238	-	4.617	0.000**	-
人工智能	0.594	0.068	0.622	8.743	0.000**	1.875
区块链技术	0.075	0.064	0.082	1.168	0.245	1.842
物联网技术	-0.079	0.064	-0.090	-1.231	0.220	1.993
云计算技术	0.118	0.056	0.140	2.092	0.038*	1.652
机器学习	0.040	0.063	0.047	0.642	0.522	1.955
$R^2$			0.531			
调整 $R^2$			0.517			
<i>F</i>			$F(5, 174) = 39.395, p = 0.000$			
D-W 值			1.985			

注: 因变量: 运营成本; \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ 。

总结分析可知: 态势感知、协作会对运营成本产生显著的正向影响关系。但是冗余、可见性、风险决策、敏捷性、恢复效率、应急计划、知识管理并不会对运营成本产生影响关系。类似地, 将供应链韧性(SCR)的内部所有变量均作为线性回归的自变量, 再将供应链绩效(SCP)的四个变量作为因变量分别进行线性回归分析; 将数字技术(DT)的内部所有变量均作为线性回归的自变量, 再将供应链绩效(SCP)的四个变量作为因变量分别进行线性回归分析, 可以得到以下结论: 冗余、协作会对投资回报率产生显著的正向影响关系; 态势感知、协作会对运营成本产生显著的正向影响关系; 可见性、风险决策、协作、恢复效率会对提前期产生显著的正向影响关系; 敏捷性、应急计划、知识管理会对客户满意度产生显著的正向影响关系。即对供应链韧性中任一维度进行优化都会对供应链绩效产生正向影响, 同时, 人工智能、区块链技术会对运营成本产生显著的正向影响关系。云计算、机器学习会对投资回报率产生显著的正向影响关系。区块链技术、物联网技术会对提前期产生显著的正向影响关系。人工智能、区块链技术会对客户满意度产生显著的正向影响关系。即对数字技术中任一技术进行优化都会对供应链绩效产生正向影响, H6、H7 得到验证。

冗余( $\beta = 0.07, p > 0.05$ )、知识管理( $\beta = 0.09, p > 0.05$ )对运营成本无显著影响, 但显著提升投资回报率( $\beta = 0.21, p < 0.01$ )。这说明韧性能力需与绩效目标匹配: 冗余能力侧重风险缓冲(长期 ROI), 而实时协作( $\beta = 0.27, p < 0.01$ )更直接影响短期成本控制。数字技术对客户满意度的直接影响(H7)强于通过韧性中介的路径, 尤其人工智能的直接影响( $\beta = 0.62^{**}$ ), 表明技术可能通过非韧性路径(如个性化服务)提升绩效, 需纳入更广泛的作用框架。

## 5. 结论

本研究通过严谨的实证分析, 深入探究了数字技术赋能电子商务企业供应链韧性的内在机理及其对供应链绩效的影响, 揭示了以下核心发现:

1) 数字技术对供应链韧性的赋能呈现显著的差异化特征: 实证结果清晰地表明, 不同的数字技术对供应链韧性各维度的提升作用存在明显差异。人工智能(AI)与云计算技术被证实为核心驱动力, 特别是对态势感知( $\beta = 0.62, p < 0.01$ )和恢复效率( $\beta = 0.53, p < 0.01$ )具有强大的正向推动作用, 这源于 AI 强大的数据分析和预测能力, 以及云计算提供的弹性计算资源与协同平台。这一发现意味着电子商务企业在进行数字化投入时, 应摒弃“一刀切”的策略, 必须依据其供应链当前面临的主要韧性短板(如预测不足、响应迟缓、恢复困难或协作不畅), 精准选择和组合相应的数字技术, 以实现资源的最优配置和效果最大化。

2) 供应链韧性的多维能力对绩效提升具有协同作用, 但其作用路径和优先级需战略权衡: 研究证实了供应链韧性整体对供应链绩效具有显著的正向影响。进一步分析韧性内部各能力维度发现, 吸收能力如同供应链的“免疫系统”, 降低中断发生的概率和初始冲击, 但维持较高的冗余资源通常意味着更高的运营成本。相比之下, 恢复能力则扮演着“修复系统”的角色, 其高效运作能够在中断发生后显著加速业务恢复并提升客户满意度。因此, 电子商务企业在构建韧性体系时, 需要根据外部环境的波动性、自身风险承受能力以及成本效益原则, 战略性地权衡在防御性储备和主动响应与恢复能力之间的资源投入比例。

3) 数字技术对供应链绩效的提升存在“双路径”作用机制: 研究不仅验证了数字技术通过增强供应链韧性进而间接提升绩效的路径(H6 成立), 同时也证实了数字技术对供应链绩效具有显著的直接影响(H7 成立)。例如, 人工智能被证明能直接降低运营成本( $\beta = 0.59, p < 0.01$ ), 区块链和物联网技术有助于缩短订单交付的提前期。这一发现要求电子商务企业将数字化建设视为一项系统工程, 需要同步推进两方面的工作: 一是持续投入升级技术基础设施, 为直接提升运营效率打下坚实基础; 二是利用这些技术赋能, 系统性地重构和优化供应链流程, 打造动态韧性的核心能力。

基于上述结论, 本研究提出以下具备可操作性的实施建议:

1) 构建数据驱动的智能协作网络: 优先在供应商准入、订单履行、合同执行等关键环节应用区块链技术实现智能合约。例如, 将交货条款、质量标准和支付条件编码为智能合约, 实现履约条件的自动化校验和执行, 大幅减少因人工干预或争议导致的响应延迟, 提升供应链的可靠性和信任度。这直接回应了区块链技术对应急计划和协作效率的实证发现。

2) 实施分阶段、能力导向的韧性建设策略: 重点利用云计算平台构建敏捷的响应能力, 利用云计算的弹性算力, 整合多渠道销售数据、市场情报、物流信息, 进行实时需求分析和预测。当预测到潜在波动或监测到实际中断时, 系统能快速生成并推荐最优的应对方案, 从而显著压缩订单交付周期(提前期), 提升客户满意度。这充分利用了云计算对恢复效率( $\beta = 0.53$ )和响应敏捷性的赋能作用。

3) 建立“技术-韧性-绩效”闭环管理机制: 定义核心指标体系: 设计并实施一个“数字化供应链韧性仪表盘”。该仪表盘应整合反映技术应用水平、韧性能力状态和最终绩效表现的关键指标(KPI)。例如: 技术层: AI 预测准确率、区块链合约执行率、IoT 设备数据采集覆盖率; 韧性层: 态势感知指数(风险识别率/时效)、库存周转率(反映冗余效率)、中断恢复时长与成本; 绩效层: 总运营成本占比、订单满足率/准时交付率(OTIF)、客户满意度指数(NPS/CSI)、投资回报率(ROI)。

综上所述, 电子商务企业应深刻理解数字技术赋能供应链韧性的差异化机制和双路径绩效提升效应, 通过构建智能协作网络、实施能力导向的分阶段韧性策略以及建立闭环管理体系, 将技术优势转化为切

实的运营韧性与绩效提升, 从而在充满不确定性的市场环境中构筑持久的竞争优势。

## 参考文献

- [1] 姜婷, 周伟良, 孙家军. 面向供应链中断风险的应急能力提升路径研究[J]. 安徽行政学院学报, 2021(3): 57-62.
- [2] 李维安, 马茵. 如何构造供应链韧性的有效机制? [J]. 当代经济管理, 2022, 44(12): 27-38.
- [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] 康茂楠, 马然, 刘娟. 跨境电子商务与制造企业出口韧性——兼论“数实”融合稳出口的现实路径[J]. 国际商务(对外经济贸易大学学报), 2025(3): 96-117.
- [5] Parast, M.M. (2022) Toward a Contingency Perspective of Organizational and Supply Chain Resilience. *International Journal of Production Economics*, **250**, Article ID: 108667. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108667>
- [6] Zaman, S.I., Khan, S.A., Qabool, S. and Gupta, H. (2022) How Digitalization in Banking Improve Service Supply Chain Resilience of E-Commerce Sector? A Technological Adoption Model Approach. *Operations Management Research*, **16**, 904-930. <https://doi.org/10.1007/s12063-022-00341-0>
- [7] Liu, J., Mao, S., Lu, L., Jing, Y., Yang, X., Xu, H., et al. (2025) The Impact of Digital Economy on the Supply Chain Resilience of Cross-Border Healthcare E-Commerce. *Frontiers in Public Health*, **13**, Article 1570338. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1570338>
- [8] Ponomarov, S.Y. and Holcomb, M.C. (2009) Understanding the Concept of Supply Chain Resilience. *The International Journal of Logistics Management*, **20**, 124-143. <https://doi.org/10.1108/09574090910954873>
- [9] Chowdhury, M.M.H. and Quaddus, M. (2017) Supply Chain Resilience: Conceptualization and Scale Development Using Dynamic Capability Theory. *International Journal of Production Economics*, **188**, 185-204. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.020>
- [10] Behzadi, G., O'Sullivan, M.J. and Olsen, T.L. (2020) On Metrics for Supply Chain Resilience. *European Journal of Operational Research*, **287**, 145-158. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.04.040>
- [11] Hohenstein, N., Feisel, E., Hartmann, E. and Giunipero, L. (2015) Research on the Phenomenon of Supply Chain Resilience. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **45**, 90-117. <https://doi.org/10.1108/ijpdlm-05-2013-0128>
- [12] Gu, M., Yang, L. and Huo, B. (2021) The Impact of Information Technology Usage on Supply Chain Resilience and Performance: An Ambidexterous View. *International Journal of Production Economics*, **232**, Article ID: 107956. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107956>
- [13] 寇晨. 人工智能视域下机器学习应用与创新探索[J]. 智库时代, 2018(29): 203, 207.
- [14] 顾理琴. 浅谈云计算(Cloud Computing)——未来网络趋势技术[J]. 电脑知识与技术: 学术版, 2008, 4(S2): 11-12.
- [15] Essuman, D., Bruce, P.A., Ataburo, H., Asiedu-Appiah, F. and Boso, N. (2022) Linking Resource Slack to Operational Resilience: Integration of Resource-Based and Attention-Based Perspectives. *International Journal of Production Economics*, **254**, Article ID: 108652. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108652>
- [16] Ivanov, D. (2021) Lean Resilience: AURA (Active Usage of Resilience Assets) Framework for Post-COVID-19 Supply Chain Management. *The International Journal of Logistics Management*, **33**, 1196-1217. <https://doi.org/10.1108/ijlm-11-2020-0448>
- [17] Sheffi, Y. and Rice, J.B. (2005) A Supply Chain View of the Resilient Enterprise. *MIT Sloan Management Review*, **47**, 40-48.
- [18] Adobor, H. and McMullen, R.S. (2018) Supply Chain Resilience: A Dynamic and Multidimensional Approach. *The International Journal of Logistics Management*, **29**, 1451-1471. <https://doi.org/10.1108/ijlm-04-2017-0093>
- [19] Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S.J., Bryde, D.J., Giannakis, M., Foropon, C., et al. (2020) Big Data Analytics and Artificial Intelligence Pathway to Operational Performance under the Effects of Entrepreneurial Orientation and Environmental Dynamism: A Study of Manufacturing Organisations. *International Journal of Production Economics*, **226**, Article ID: 107599. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107599>
- [20] Beamon, B.M. (1999) Measuring Supply Chain Performance. *International Journal of Operations & Production Management*, **19**, 275-292. <https://doi.org/10.1108/01443579910249714>
- [21] Baryannis, G., Dani, S. and Antoniou, G. (2019) Predicting Supply Chain Risks Using Machine Learning: The Trade-Off between Performance and Interpretability. *Future Generation Computer Systems*, **101**, 993-1004.

- <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.07.059>
- [22] Al-Talib, M., Melhem, W.Y., Anosike, A.I., Garza Reyes, J.A., Nadeem, S.P. and Kumar, A. (2020) Achieving Resilience in the Supply Chain by Applying IoT Technology. *Procedia CIRP*, **91**, 752-757. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.231>
- [23] Rogerson, M. and Parry, G.C. (2020) Blockchain: Case Studies in Food Supply Chain Visibility. *Supply Chain Management: An International Journal*, **25**, 601-614. <https://doi.org/10.1108/scm-08-2019-0300>

## 附录

Table A1. Questionnaire scale

表 A1. 问卷量表

测量变量	项目	定义	测量题项	参考来源
数字化技术(DT)				
DT1	人工智能(AI)	以人类智能相似的方式做出反应的智能机器的技术	我们采用了人工智能技术并能在生产中运用	Dubey 等人 (2020) [19]
DT2	区块链技术(BCT)	一个又一个保存了一定的信息的区块组成链条	我们采用了区块链技术并能在生产中运用	
DT3	物联网技术(IOT)	把物品通过信息传感设备与互联网连接起来, 实现智能化识别和管理的技术	我们采用了物联网技术并能在生产中运用	
DT4	云计算技术 (Cloud Computing)	将庞大计算程序自动分拆成无数个较小子程序计算分析之后将处理结果回传用户的技术	我们采用了云计算技术并能在生产中运用	
DT5	机器学习(ML)	让计算机自己在数据中学习规律并对未来数据预测的技术	我们采用了机器学习技术并能在生产中运用	
供应链韧性(SCR)				
SCR1	态势感知	预测和感知可能的中断风险的能力	我们能够保持高水平态势感知和危机预测	Ivanov (2021 年) [16] Yang 等人(2021 年) [10]
SCR2	冗余	供应链中的过剩资源, 包括冗余库存等	我们可以在中断开始之前拥有冗余资源	
SCR3	可见性	能够获得反映供应链运营的高质量数据信息	我们可以实现高水平的数据可见性	Adobor 和 McMullen (2018 年) [18]
SCR4	风险决策	当风险出现时, 管理者制定指导性风险应对计划的能力	我们能够在中断时做出正确的风险管理决策	Sheffi 和 Rice (2005) [17]
SCR5	敏捷性	快速响应市场和自然环境变化的能力	我们能够对供应链中断做出快速响应	Ponomarov 和 Holcomb (2009) [10] Adobor 和 McMullen (2018) [18]
SCR6	协作	协作是指供应链网络各节点可以相互交换信息资源和其他资源, 实现利益共享	我们始终能够在中断时保持供应链连接和协作	
SCR7	恢复效率	能够在短时间内以低成本恢复业务状态	我们能够在中断后快速有效地恢复正常运营	
SCR8	应急计划	能够执行供应链情景分析以及使用结果进行下一阶段的业务规划	我们能够在中断后重组资源并制定新的供应链连续性业务计划	
SCR9	知识管理	从中断的反馈中学习以获得更大竞争优势的能力	我们能够从中断中提取有用的知识	
供应链绩效(SCP)				
SCP1	运营成本	指生产经营过程中的成本	我们能够节省更多的运营成本	Gunasekaran 等人 (2020) [14] Beamon (1999) [20]
SCP2	投资回报率	商业投资的经济回报	我们可以实现更好的投资回报	
SCP3	提前期	从订单到交货的时间段	我们能够缩短交货时间	
SCP4	客户满意度	满足客户需求或期望的程度	我们能够满足客户多样化的产品需求	