

区块链技术在跨境电商溯源中的应用效果分析

朱 滢

南京林业大学经济管理学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年11月10日; 录用日期: 2025年11月25日; 发布日期: 2025年12月19日

摘 要

随着全球数字经济发展, 跨境电商面临溯源与信任挑战。传统中心化溯源系统存在信息孤岛、数据易篡改与效率低下等缺陷。区块链技术凭借其去中心化、不可篡改及可追溯特性, 为解决该问题提供了新方案。本文基于TOE框架, 从技术、组织、环境三维度分析区块链在跨境电商溯源中的应用效果。研究表明, 区块链能有效提升供应链透明度与信任, 通过智能合约提升效率, 并重构消费者信任机制。尽管面临技术性能、生态协同与监管合规等挑战, 但结合人工智能、物联网与治理创新, 区块链有望发展成为支撑全球跨境电商可信流通的核心基础设施。

关键词

区块链, 跨境电商, 商品溯源, 供应链管理, 信任机制

Analysis of the Application Effectiveness of Blockchain Technology in Cross-Border E-Commerce Traceability

Ying Zhu

College of Economics and Management, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu

Received: November 10, 2025; accepted: November 25, 2025; published: December 19, 2025

Abstract

With the development of the global digital economy, cross-border e-commerce is facing challenges in traceability and trust. Traditional centralized traceability systems suffer from issues like information silos, susceptibility to data tampering, and low efficiency. Blockchain technology, leveraging its decentralized, tamper-proof, and traceable features, offers a new solution to these problems. Based on the TOE framework, this paper analyzes the application effects of blockchain in cross-border e-commerce

traceability from technical, organizational, and environmental dimensions. Research shows that blockchain can effectively enhance supply chain transparency and trust, improve efficiency through smart contracts, and reshape consumer trust mechanisms. Despite challenges such as technical performance, ecosystem collaboration, and regulatory compliance, blockchain is expected to evolve into core infrastructure supporting trusted global cross-border e-commerce transactions through integration with AI, IoT, and governance innovations.

Keywords

Blockchain, Cross-Border E-Commerce, Product Traceability, Supply Chain Management, Trust Mechanism

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

在全球数字经济快速发展的背景下，跨境电商已成为推动国际贸易增长的新引擎。然而，其多国参与和长链条运作特征也带来了严峻的商品溯源与信任挑战。根据中国消费者协会 2024 年数据显示，跨境电商代购投诉量同比激增 187%，其中货不对板、物流造假与付款后失联构成了三大核心痛点¹，反映了行业面临的严峻信任挑战。

传统的溯源系统依赖于单一中心机构，导致信息流通受阻。以速卖通全托管模式为例，速卖通平台 2024 年数据显示，在未全面实施区块链溯源前，因“商品描述不符”引发的纠纷占纠纷总量的 37%²，是平台卖家面临的主要纠纷类型之一。物流环节的信息更新延迟与轨迹伪造现象频发，严重损害了消费者权益与平台公信力。

区块链技术作为一种创新的分布式账本技术，凭借其去中心化、不可篡改与透明可追溯的内在特性，为破解跨境电商的溯源困境提供了全新的思路[1]。本文以速卖通全托管模式 2024 年实践为主要案例，以 TOE 框架为理论基础[2]，深入探讨区块链技术在跨境电商溯源中的应用模式，系统评估其应用成效，并重点分析技术、组织、环境三个维度之间的相互作用机制。

2. 跨境电商溯源现状与挑战

跨境电商供应链的全球化与复杂性，使其溯源体系面临前所未有的考验。

首先，信息壁垒与孤岛现象严重。从海外生产商、多级供应商、国际物流服务商、海关口岸到境内电商平台，各方均采用独立的信息管理系统。这些系统互不连通，形成了“数据割据”的局面。其次，数据可信度面临严峻挑战。中心化数据库的管理员享有单方面的数据修改权限，这为内部造假或外部攻击留下了空间。实践中，不乏不良商家通过制造“海外空包裹 + 国内二次包装”的虚假物流路径来欺骗系统与消费者，导致平台与消费者均蒙受损失[3]。再者，溯源效率难以满足实际需求。当发生商品质量问题或需要紧急召回时，在传统模式下追溯一件商品的完整流通过程，往往需要耗费数日甚至数周时间。IBM 的研究显示，追溯一件芒果从农场到商店的路径，在传统系统中可能需要长达数周[4]。这种低效的溯源能力，不仅增加了企业的运营成本与风险，还威胁了消费者的安全。

¹数据来源：2025 年跨境电商新标配：区块链溯源 + AI 验货 + DAO 治理的“信任三角”-阿里云开发者社区(aliyun.com)。

²数据来源：速卖通卖家中心 2024 年报。

上述问题共同导致了消费者信任的严重缺失。根据韩国消费者 2024 年对速卖通等平台的调查显示，对商品质量不满意的比例高达 64.3%³，反映出消费者对跨境商品真实性的普遍担忧。

3. 区块链赋能跨境电商溯源的技术框架与实现路径

传统溯源系统的根本缺陷在于其中心化的信任机制。区块链技术并非简单地将数据上链，而是通过一套全新的技术架构，重构了跨境电商供应链中的信任传递模式与协同逻辑。

3.1. 从“中心化登记”到“分布式共识”的范式革命

区块链溯源的核心在于算法的运用。在跨境场景中，生产商、物流商、海关、平台等参与方共同维护一个分布式账本，任何数据的记录与变更都需要经过多数节点的验证才能达成共识。这极大增加了单一节点为谋求利益而篡改或隐瞒数据的难度与成本。这一转变契合了制度经济学中关于“信任”的经典论述，即用基于算法和规则的“系统信任”替代了对单一中心化机构的“人格化信任”[5]。从而在跨国界、跨文化的商业环境中构建了更稳固的信任基础。在速卖通 2024 年实施的“信任三角”体系中，海外品牌商上传的商品产地信息，必须经过物流服务商及海关对商品信息的确认与核验，才能被共识确认为“有效记录”。这种多方校验机制，确保了溯源信息从源头就具备高度的可信度。

3.2. 智能合约：构建自治的业务流程

智能合约的本质是将商业规则代码化、法制化，其价值远超单纯的“自动执行”。以一批从澳洲运往中国的冷链鲜奶为例，智能合约可以预设如下规则：当物联网传感器记录的温度数据持续超出预设范围，合约将自动标记该批次商品为“异常”，并通知相关方；若最终清关时异常状态未解除，合约可自动冻结部分货款并启动保险理赔流程，同时将此次异常永久记录在链上，作为该批次商品的质量履历。这个过程不需要人工介入，实现了业务流程的自动化与可信化，将传统模式下可能持续数周的纠纷解决时间缩短至几小时。

3.3. “链上 - 链下”协同的数据存储架构

将跨境电商全链条的海量数据全部存储在区块链上是低效且昂贵的。因此，业界普遍采用“哈希指针”混合架构：仅将最关键数据的数字指纹和元数据存储在链上，而将完整的原始数据存储在链下的分布式文件系统或经授权的中心化服务器中。任何对链下数据的篡改，都会导致其哈希值与链上记录不匹配，从而立即暴露篡改行为。这种架构巧妙地在数据完整性与系统效率之间取得了平衡。

4. 基于 TOE 框架的区块链溯源应用效果分析

区块链技术在跨境电商溯源中的实际应用，从技术、组织、环境三个维度深刻重塑了行业的信任机制、运营模式与市场格局。基于 TOE 框架的分析表明，区块链溯源不仅解决了具体业务问题，更在构建新型数字经济基础设施方面体现战略价值。

4.1. 技术效果：供应链透明度与信任的实质性提升

区块链技术通过其独特的技术特性，显著增强了跨境商品流通过程的可见性与可信度。去中心化信任机制的建立是区块链提升供应链透明度的核心。全生命周期可追溯性的实现使商品流通历史变得高度透明。区块链能够记录商品从原材料采购到最终配送的全流程信息，形成完整的链条。这种端到端的透明性，有助于缓解因信息不对称导致的“货不对板”等核心痛点，为消费者提供了更为可靠和便捷的溯源体验。

³数据来源：韩国消费者市民团体调研。

密码学机制为保障数据的不可篡改性提供了坚实基础，从而为商品真伪验证提供了更高程度的可靠性。区块链利用哈希函数为每一笔交易生成唯一的数字指纹，任何对已记录信息的篡改都会导致哈希值变化。在奢侈品领域，这一特性使得消费者扫码验证率大幅提升，假货投诉量显著下降，同时催生了基于真实数据的新型价值评估模式。

4.2. 组织效果：运营效率与成本的结构优化

区块链溯源技术通过流程重构和系统优化，为跨境电商企业实现了运营效率的显著提升和成本结构的持续优化。根据资源基础观，区块链溯源系统可被视为企业的一种“战略性互补资产”，它通过与现有物流、信息系统等资源整合，共同构成了难以被竞争对手模仿的竞争优势[6]。

流程自动化是区块链提升组织效率的核心路径。智能合约通过将交易规则编码为可自动执行的程序，显著降低了人为错误和欺诈风险。在跨境贸易场景中，智能合约能够自动完成清关文件审核、货款结算等流程，将传统模式下需要数日的流程压缩到数小时内，大幅提升了交易效率。从交易成本经济学的视角分析，智能合约通过预设和自动执行规则，极大地降低了供应链伙伴间的协调成本、谈判成本以及对履约情况进行验证的成本[7]。

信息共享效率的提升带来了供应链协同的革命性变革。速卖通的分布式账本技术为各参与方提供了实时、透明的信息共享平台，有效解决了传统供应链中的信息孤岛问题。

此外，溯源与召回机制的优化大幅提升了供应链响应速度。基于区块链的溯源系统能够快速定位问题节点，实现精准召回，将传统模式下耗时数天的溯源过程缩短至秒级。这种高效的溯源能力不仅降低了企业运营成本，也提高了消费者权益的安全保障水平。

4.3. 环境效果：消费者信任与市场生态的深刻变革

区块链溯源技术的应用对跨境电商的市场环境和消费者信任体系产生了深远影响，构建了更加健康、可持续的市场生态系统。

在环境层面，区块链最为突出的影响体现在消费者信任机制的重构。根据对 200 家出口企业的调研，使用溯源系统后，订单复购率提升 38%，纠纷解决效率提升 67%⁴。当消费者能够直接验证产品的真实来源与流转过程时，信任从抽象概念转化为具体的消费行为。数据显示，具备区块链可追溯性的商品显著提升了消费者的购买意愿，表明供应链透明度已成为影响消费行为的关键变量。

从市场结构角度看，区块链溯源系统通过提供国际通行的验证标准，有效降低了中小企业参与全球贸易的准入门槛。此类技术赋能使得中小企业更好地构建品牌信誉，从而能够与大型企业在同一信任起跑线上竞争，不仅拓宽了市场边界，也促进了更加多元化的市场生态。

在制度演进层面，区块链技术正在催生新型行业标准与监管范式。监管沙盒等创新机制的出现，标志着适应性治理模式的初步形成。这一变革不仅解决了跨境贸易中的合规挑战，也为建立更加适应数字时代的国际贸易规则提供了实践基础。

通过 TOE 框架的分析可见，区块链技术在跨境电商溯源中的应用效果体现了技术创新、组织变革和环境适应的有机统一。这三个维度相互促进、相互依赖，共同推动了跨境电商行业向更透明、更高效、更可信的方向发展，为构建数字时代的新型贸易体系奠定了坚实基础。

4.4. TOE 三维互动机制分析

技术、组织与环境三个维度在区块链溯源应用中并非孤立存在，而是构成了复杂的互动关系。在速

⁴数据来源：溯源管理系统服务出口如何破解企业出海难题？

卖通全托管模式中，技术突破直接推动了组织流程的重构，实现了运营效率的显著提升；组织效率的提升又进一步增强了平台在市场竞争中的优势地位，这种竞争优势促使更多参与者加入生态系统，形成了良性的环境反馈。同时，消费者信任的提升为平台带来了更多数据资源，这些数据反过来优化了区块链算法的精准度。

具体而言，速卖通通过区块链技术建立了可信溯源系统，促使物流商、供应商等各方调整业务流程，这种调整得到了监管机构的认可并提升了消费者信任，而消费者的积极参与又为系统优化提供了数据支持。中泰农产品贸易案例中，区块链技术的应用直接带来通关效率提升，而效率提升又增强了市场竞争力并促进了行业标准建立，这种三维互动机制表明，区块链溯源的成功实施需要技术可行性、组织适应性和环境支持性的协同演进。

5. 区块链溯源面临的挑战与限制

尽管区块链技术在跨境电商溯源中展现出显著优势，但在实际推广应用过程中仍面临技术实现、商业生态和监管合规等多重挑战，这些因素共同制约着其规模化应用进程。

5.1. 技术性能与可扩展性瓶颈

区块链系统在跨境电商溯源中仍面临性能瓶颈，尤其在促销高峰期间，其交易处理能力难以满足高并发需求。虽然分片等技术方案提供了一定的改进思路，但其在保证系统安全性和去中心化特性方面的表现仍需进一步验证。

在数据存储架构方面，数据存储方案同样存在明显局限。完整的供应链数据上链将产生高昂成本，而当前主流的链上链下混合存储模式虽能缓解存储压力，却引发了新的信任问题。如何有效验证链下数据的真实性并确保其长期可访问性，已成为该架构亟待解决的核心难题。

此外，系统互操作性不足限制了区块链溯源的协同效应。不同区块链平台与传统系统之间形成新的“数据孤岛”，而源头数据可信度这一问题仍无法通过区块链技术自身解决，需要结合物联网设备采集和第三方认证等辅助手段。

5.2. 生态系统协同的复杂性

区块链溯源系统的价值实现依赖于多方参与，这在实践中面临复杂的协同难题。

首先，参与主体间收益分配存在结构性失衡。品牌商与电商平台能够通过溯源系统获取品牌溢价与信任资本，而供应商、物流服务商等中间环节的收益回报相对有限，导致其参与动力不足。特别是对资源受限的中小企业而言，系统接入与维护成本往往超出其可承受范围，成本收益评估成为制约其参与的关键因素。

其次，数据共享机制在实施过程中遭遇实质性障碍。供应链参与企业普遍将核心运营数据视为商业机密，对数据泄露风险存在深切忧虑。尽管隐私计算技术为数据安全共享提供了一定的解决方案，但其应用复杂性和性能问题仍限制着实际推广。

最后，标准化缺失进一步增加了系统整合难度。当前行业缺乏统一的技术标准和数据规范，导致不同溯源平台之间难以实现有效对接，供应商往往需要维护多个系统，这不仅提高了运营成本，也降低了用户体验。同时，传统业务流程的数字化改造面临组织惯性和员工适应性的内部阻力，进一步延缓了溯源系统的有效落地。

5.3. 监管与合规的不确定性

区块链跨境溯源面临着与现有监管框架的深层次矛盾，主要表现在以下几个方面：

首先，在数据治理层面，区块链所依赖的数据跨境自由流动机制，与多国推行的数据本地化存储政策存在制度性冲突。特别是欧盟《通用数据保护条例》中确立的“被遗忘权”，与区块链不可篡改的特性形成了本质性矛盾。这一矛盾的化解，需要依赖技术创新与法律调整协同推进。

其次，在法律适用层面，虽然我国已明确区块链存证的法律效力，但国际社会对此尚未形成统一认识，这种跨境法律认可度的不对称性，显著提升了企业的合规风险与运营不确定性。

最后，监管政策的滞后性进一步放大了制度风险。区块链技术的更新迭代速度远超监管体系的完善能力，这使得诸多应用常常处于监管的灰色地带，这在一定程度上影响了企业的投资信心和应用推广。

6. 未来发展趋势

针对上述挑战，区块链溯源技术正沿技术融合、治理创新与应用拓展三个关键路径协同演进，共同推动该技术走向成熟。

6.1. 前沿技术的融合与突破

区块链溯源技术正与人工智能、物联网等前沿科技加速融合，催生更强大的解决方案。

一是与人工智能的深度结合。AI 技术能够对区块链中积累的海量溯源数据进行深度挖掘与分析，从而优化供应链决策，提升整体系统的透明度、安全与效率。例如，通过分析历史环境数据与商品损毁率之间的关联，AI 可智能预测并优化冷链物流策略，降低运输风险。同时，借助自然语言处理技术，消费者能够以更直观的对话方式查询复杂的溯源信息，显著改善用户体验。在这一方向上，Saidu 等提出了一个整合区块链、IoT 和 AI 的四层框架，旨在全面提升溯源系统的透明度、安全和效率[8]。

二是，动态 NFT 的创新应用。同质化代币正从静态的数字资产凭证，演进为承载商品全生命周期数据的动态数字孪生。这一趋势在供应链管理中已展现出应用潜力，例如，有研究提出了一种基于 NFT 的解决方案，用于医疗产品的管理、数字认证、交易和交付。在该方案中，产品的所有权通过数字证书得以维护，智能合约则协助完成交易流程，并将所有相关信息记录于链上以供审计[9]。未来，此类可编程的 NFT 将能实时记录并更新商品的使用状况、维修历史、所有权变更等动态信息，为商品的价值评估、二手交易和金融服务提供可信的数据支撑。

三是，量子安全的前瞻布局。面对未来量子计算对现有加密算法的潜在威胁，业界已开始积极研发量子抗性密码学算法。国内学者指出抗量子安全已成为下一代区块链的核心要求。当前主要聚焦后量子密码学(PQC)与量子区块链两条技术路径，其中 NIST 主导的基于格密码的标准化工作已取得重要进展。IBM 等机构正致力于将此类算法整合至区块链系统，以确保溯源数据的长期安全性[10]。

6.2. 治理模式的演进与创新

区块链溯源的治理模式正在向更加开放、民主和合规的方向演进。

一是，DAO 治理模式的探索。去中心化自治组织的理念开始被引入跨境电商的治理中。例如，美国电商平台 Provenance 已尝试将 70% 的运营决策交由社区投票决定⁵。预计未来，由供应链各方乃至消费者共同参与的 DAO 模式，将在社区型电商的规则制定与利益分配中扮演更重要的角色。

二是，监管科技的深度融合。为应对合规挑战，区块链溯源系统正积极融合监管科技。新加坡 MAS 的“沙盒监管”机制为区块链创新提供了安全的测试环境，这一模式正被更多国家借鉴。同时，符合中国《区块链信息服务管理规定》的了解你的客户与反洗钱方案也在不断完善，旨在平衡技术创新与合规监管。

⁵数据来源：2025 年跨境电商新标配：区块链溯源 + AI 验货 + DAO 治理的“信任三角”-阿里云开发者社区(aliyun.com)。

6.3. 应用范式的拓展与深化

区块链溯源的应用正从单一功能向构建综合生态系统拓展，主要体现在两个维度。

一是，从真伪溯源到可持续价值溯源。区块链溯源的应用范畴正从验证商品真伪，扩展到证明其全生命周期的 ESG 表现。消费者将能够追踪一件商品的碳足迹、环保合规性及社会责任履行情况，使“绿色消费”和“道德消费”变得可量化、可验证。

二是，从鼓励系统到全球互联互通网络。面对各国溯源系统标准不一形成的新的“数据鸿沟”，跨系统、跨平台的互联互通已成为关键趋势。越南 NDA Trace 与 EBSI TRACE4EU 的兼容是构建全球认证网络的重要一步。其深远意义在于，它旨在建立一个联盟化的信任基础设施，最终实现“一次认证，全球通认”，为跨境贸易打造一个无缝的信任环境。

7. 结语

区块链技术为跨境电商溯源问题提供了一种有效的解决方案，其在提升供应链透明度、优化运营效率与重建消费者信任等方面已取得显著成效。速卖通全托管模式 2024 年的实践表明，区块链技术的成功应用依赖于技术、组织与环境三个维度的协同作用。然而，该技术在性能瓶颈、生态协同与监管合规等方面仍面临挑战，需要技术创新、标准制定、法律完善与商业模式探索的系统性推进。未来，随着跨链、动态 NFT、DAO 等机制的成熟，以及与人工智能、物联网等技术的深度融合，区块链有望从一项溯源工具演进为支撑全球数字贸易体系可信流通的关键基础设施。

参考文献

- [1] 朱麒麟. 区块链技术在跨境电商产品溯源中的应用研究[J]. 中国新通信, 2023, 25(1): 100-102.
- [2] Tornatzky, L.G., Fleischer, M. and Chakrabarti, A.K. (1990) The Processes of Technological Innovation.
- [3] 程文美, 夏肇元, 李荣, 等. 基于区块链的电力物资供应链数据协同共享管理[J]. 中国新技术新产品, 2021(18): 140-142.
- [4] 左敏, 何思宇, 张青川, 等. 基于区块链的食品溯源技术研究[J]. 农业大数据学报, 2020, 2(3): 52-60.
- [5] North, D.C. (1990) Institutions, Institutional Change and Economic Performance. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/cbo9780511808678>
- [6] Barney, J. (1991) Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17, 99-120.
<https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- [7] Williamson, O.E. (2008) The Economic Institutions of Capitalism. In: Barma, N. and Vogel, S.K., Eds., *The Political Economy Reader: Markets as Institutions*, Routledge, 27.
- [8] Saidu, Y., Shuhidan, S.M., Aliyu, D.A., Abdul Aziz, I. and Adamu, S. (2025) Convergence of Blockchain, IoT, and AI for Enhanced Traceability Systems: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, 13, 16838-16865.
<https://doi.org/10.1109/access.2025.3528035>
- [9] Musamih, A., Yaqoob, I., Salah, K., Jayaraman, R., Omar, M. and Ellahham, S. (2024) Using NFTs for Product Management, Digital Certification, Trading, and Delivery in the Healthcare Supply Chain. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 4480-4501. <https://doi.org/10.1109/tem.2022.3215793>
- [10] 翁健, 祝烈煌, 赵运磊. 抗量子密码与区块链应用专题前言[J]. 软件学报, 2025, 36(10): 4403-4404.