



区块链技术应用对供应链绩效的影响机理研究

李刚^{1,2}, 扶明亮¹

1 中南民族大学 管理学院, 武汉 430074

2 中南民族大学 民族地区数字化发展与治理研究中心, 武汉 430074

摘要: 区块链技术以其具有的信息透明性、数据防篡改性、点对点价值传输、智能合约等特性,为解决供应链痛点、提升供应链绩效提供了新的技术手段。但目前对区块链技术应用与供应链绩效之间关系的实证研究较少。

基于资源基础观和交易成本理论,探讨区块链技术应用对供应链绩效的影响,考察供应链流程整合的中介作用以及供应链复杂性的调节作用。利用438家样本企业的问卷数据进行直接效应、中介效应和调节效应检验。

研究表明:①区块链技术应用对供应链绩效有显著正向影响。区块链技术四大特性能有效破解供应链绩效提升的瓶颈问题。②供应链流程整合在区块链技术应用与供应链绩效之间起部分中介作用。区块链技术提升了信息流的安全性和透明性,加速了物流流通效率,促进了资金流融通,实现了供应链上信息流、物流和资金流的整合;而信息流整合促进信息共享,提升了供应链成员应对市场环境变化的能力,使供应链决策更加科学有效;物流整合降低了生产成本,提高了供应链上企业获取订单和响应客户需求的能力,使供应链上产品和服务的质量大大提升;资金流整合则实现了供应链上企业应收账款和应付账款流程的自动化,打通了资金流障碍,提高了资金周转率。③供应链复杂性在区块链技术应用通过供应链流程整合对供应链绩效的影响中起正向调节作用。在复杂的供应链系统中,供应链流程整合表现出的绩效提升效果更显著。因此,复杂供应链更需运用区块链技术来整合信息流、物流和资金流,以提升供应链绩效。

研究结论从流程整合视角揭示了区块链技术应用对供应链绩效的影响机理,为推进区块链技术应用落地和提升供应链绩效提供了理论参考和实践指导。基于以上发现,建议企业在应用区块链技术进行供应链变革时,进行信息流、物流和资金流整合以最大限度地发挥区块链技术优势,从而提升供应链绩效。

关键词: 供应链绩效; 区块链技术; 供应链流程整合; 供应链复杂性; 资源基础观; 交易成本理论

中图分类号: F124.3, F274 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2024.05.001

文章编号: 1672-0334(2024)05-0001-20

收稿日期: 2022-08-04 修返日期: 2024-06-18

基金项目: 国家社会科学基金(24BMZ035)

作者简介: 李刚, 管理学博士, 中南民族大学管理学院副教授, 研究方向为区块链技术与供应链管理、供应链协同创新等, 代表性学术成果为“*The impact of supply chain relationship quality on knowledge sharing and innovation performance: evidence from Chinese manufacturing industry*”, 发表在2021年第5期《*Journal of Business & Industrial Marketing*》, E-mail: ligangrobert@163.com

扶明亮, 中南民族大学管理学院硕士研究生, 研究方向为区块链技术与供应链管理等, 代表性学术成果为“*区块链技术在供应链中的应用: 理论述评与研究展望*”, 发表在2021年第11期《*供应链管理*》, E-mail: 2019110384@mail.scuec.edu.cn

引言

近年来,区块链技术凭借信息透明、防篡改、智能合约等特性,为解决供应链痛点、提升供应链绩效提供了新的技术手段^[1]。但在业界,由于企业间的流程壁垒难以打破,数据无法充分共享,供应链绩效提升仍面临挑战^[2]。因此,进行供应链流程整合成为突破口^[3]。例如,美国 Moog 公司利用区块链技术将产品全流程的信息同步到供应链各节点,从而节省了信息传递时间,提高了协作效率^[4]。同时,学术界对区块链技术提升供应链绩效的机理认识尚不透彻,区块链技术投资与回报也面临生产力悖论问题。所谓生产力悖论,是由诺贝尔经济学奖获得者索洛于 1987 年提出,意指信息技术投资与生产率提升间存在相悖现象^[5]。HALD et al.^[6]认为,这主要是因为现有研究大多关注区块链技术对绩效的直接影响而忽略了某些中介变量的作用。近期研究显示,区块链技术可能通过中介因素影响供应链绩效^[7]。KORPELA et al.^[8]发现,区块链技术能够加速供应链流程整合。然而,迄今为止,尚未有学者从供应链流程整合视角探讨区块链技术对供应链绩效的影响机理。

本研究基于资源基础观和交易成本理论,探讨区块链技术应用对供应链绩效的影响,考察供应链流程整合的中介作用以及供应链复杂性的调节作用。主要贡献在于:①通过探讨区块链技术应用与供应链绩效之间的关系,丰富区块链与供应链管理的融合研究,验证区块链技术在供应链管理中的适用性;②通过考察供应链流程整合的中介作用,为探索区块链技术如何提高供应链绩效提供一个有价值的理论解释路径与视角;③通过检验供应链复杂性的调节效应,厘清区块链赋能下供应链流程整合作用效果的边界条件。

1 相关研究评述

本研究旨在揭示区块链技术应用对供应链绩效的影响机理,与此相关的研究主题涉及区块链技术在供应链中的应用、区块链技术应用与供应链绩效的关系等。通过梳理已有研究,一方面把握区块链技术应用的最新研究动态,为开展区块链技术在供应链中的应用效果研究提供理论支持;另一方面识别区块链技术应用对供应链绩效的影响研究存在的不足,明确本研究的侧重点和突破口。

1.1 区块链技术应用

区块链技术最初作为支持加密货币领域交易的技术而出现^[9]。它本质上是一个去中心化的分布式账本数据库,包括分布式存储、非对称加密、共识机制、智能合约等核心技术,具有去中心化、可信任、公开透明、开放性、防篡改、可追溯、安全可靠等特点^[10]。区块链技术应用在商业情境中可以降低交易成本,提升产品可追溯性,建立信任机制,保障信息安全^[11]。关于区块链技术应用场景的研究起初以金融领域为主,之后扩展到农业、食品、医药以及制造业等多行业供应链中。区块链技术应用在供应链金

融中主要解决供应商信用信息记录不全、中小微企业难获授信、多主体之间的数据信息难以互联互通互验等问题^[12]。在农业及食品供应链的应用包括农产品、食品的质量安全监管与溯源等^[13]。在医药供应链的应用涉及医疗设备和药品的追溯体系、安全监管以及采购渠道透明化等^[14]。在制造业供应链的应用包括产品溯源和召回、流程可视化、物流实时跟踪等^[15]。

除应用场景外,学者们还探讨了区块链技术采纳行为为决策,主要通过构建技术采用模型分析决策行为的影响因素。QUEIROZ et al.^[16]基于区块链、供应链、网络理论及技术接受模型的相关研究,对经典的技术接受与使用统一理论(UTAUT)进行改进,建立区块链技术在供应链中的采用模型,并通过印度和美国的采用行为数据进行验证;KAMBLE et al.^[17]通过构建综合了技术准备指数(TRI)、技术接受模型(TAM)和计划行为理论(TPB)的研究模型,采用 181 名供应链从业人员的调查数据研究供应链采用区块链技术的情况;车阿大等^[18]分析区块链技术采纳成本分摊对供应链均衡决策与利润、消费者剩余和社会福利的影响。这些研究聚焦区块链技术应用决策,为本研究进一步分析区块链技术在供应链中的应用效果奠定了良好的基础。

1.2 区块链技术应用与供应链绩效

已有研究主要从理论和实证两方面研究了区块链技术应用对供应链绩效的影响,表 1 对部分研究进行梳理。

在理论研究方面,学者们主要探讨了相关理论基础和概念模型。用于阐释区块链技术对供应链影响的理论主要包括委托代理理论、交易成本理论、资源基础观和网络理论等^[19]。如 SCHMIDT et al.^[20]从交易成本理论视角阐释了区块链与供应链的关系,认为区块链限制了机会主义行为以及环境和行为不确定性的影响,降低了交易成本并能对治理成本和结构产生影响;NANDI et al.^[21]基于资源基础观,探讨了企业如何将区块链技术整合到其供应链系统中,以实现特有的供应链能力,并因此提高供应链绩效。鉴于资源基础观和交易成本理论有助于解释区块链技术对重塑供应链资源能力优势以及降低交易成本的作用,本研究将基于这两种理论分析区块链技术应用对供应链绩效的影响。在概念模型上,HALD et al.^[6]使用结构化文献综述和组织理论对供应链管理中的技术—绩效关系进行概念化研究,分析了区块链技术作为信息灯塔、利用性技术、探索性技术和关系构建技术对供应链绩效的赋能作用,同时指出如果设计不当也会对供应链绩效起阻碍作用;李勇建等^[2]构建了区块链赋能供应链管理的框架,包括供应透明化、制造智能化、物流安全化、销售平台化及治理生态化等 5 方面的机遇和挑战以及信息共享、信息追溯和信任建立 3 个赋能途径。

在实证研究方面,学者们主要从供应链和企业两个层面探讨了区块链技术应用效果。在供应链层面,

表1 区块链技术与供应链绩效关系研究文献

Table 1 Literature on the Relationship between Blockchain Technology and Supply Chain Performance

文献作者	发表时间	理论基础	自变量	因变量	中介变量	调节变量
HALD et al. ^[6]	2019	组织理论	区块链	供应链绩效	赋能形式、强制形式	设计
SCHMIDT et al. ^[20]	2019	交易成本理论	区块链	治理成本与结构	交易成本	
SHEEL et al. ^[26]	2019		区块链技术赋能的供应链适应性、敏捷性、一致性	企业绩效	竞争优势	
NANDI et al. ^[21]	2020	资源基础观	区块链技术赋能的供应链系统	供应链绩效	供应链能力	行业
FOSSO WAMBA et al. ^[22]	2020	技术接受模型、技术接受与使用统一理论	知识共享、贸易伙伴压力	供应链绩效	区块链技术应用 → 供应链透明度、区块链透明度	行业
林心怡等 ^[28]	2021		区块链技术	企业绩效		公司治理结构
杨红雄等 ^[24]	2022		区块链技术下的数字信用共治体系	供应链金融绩效	网络嵌入性	
夏曼曼等 ^[25]	2022		区块链技术适用性	装配式建筑供应链绩效	信任关系	
KAMBLE et al. ^[23]	2023	动态能力理论	区块链技术应用	可持续供应链绩效	供应链整合	
PATTANAYAK et al. ^[7]	2024	关系观、动态能力理论	区块链技术	供应链绩效	信任 → 关系能力	供应链不确定性

FOSSO WAMBA et al.^[22] 通过实证研究表明, 区块链应用影响供应链透明度和区块链透明度进而对供应链绩效有积极影响, 而知识共享和贸易伙伴压力则对区块链应用起重要作用; KAMBLE et al.^[23] 实证分析了区块链技术应用对供应链整合的直接影响和对可持续供应链绩效的间接影响。还有学者针对区块链技术对供应链金融绩效和特定行业供应链绩效的影响进行了研究, 如杨红雄等^[24] 从网络嵌入性视角探讨了区块链技术对供应链金融绩效的影响, 夏曼曼等^[25] 以信任关系为中介探讨了区块链技术适用性对装配式建筑供应链绩效的影响。但是, 已有研究尚未以供应链流程整合为中介分析区块链技术应用对供应链绩效的影响。此外, 部分学者围绕区块链技术对企业层面绩效的影响进行了实证研究, 如 SHEEL et al.^[26] 建立了区块链技术采用对供应链适应性、敏捷性、一致性和企业绩效的影响模型, 验证了区块链技术能够改进供应链适应性、敏捷性、一致性进而带来竞争优势和更好的企业绩效; 邓小朱等^[27] 运用数据包络分析方法, 通过区块链概念的上市公司数据得出区块链应用于企业生产经营领域的总体效果积极, 但区块链技术与主营业务关联度较低的企业会造成低效率; 林心怡等^[28] 研究发现, 区块链技术应

用促进了企业绩效, 公司治理结构在其中发挥了调节作用。

综上所述, 将区块链技术应用用于供应链领域的研究受到了广泛关注, 已有研究已经探讨了区块链技术对供应链影响的相关理论, 并在区块链技术采纳行为及其效果上取得了一些实证研究成果。但还存在以下不足: 首先, 已有研究从技术层面探讨的多, 主要侧重区块链技术特点、作用原理及应用场景, 而对应用效果和影响机理关注不够, 特别是关于区块链技术对供应链绩效的作用机理的实证研究还很薄弱。尽管部分研究通过构建概念模型对区块链技术在供应链中的积极作用进行了理论分析, 但缺乏相关的实证研究加以检验, 部分实证研究也仅局限于区块链技术的采纳行为及对企业层面绩效的影响。其次, 已有研究尚未从供应链流程整合视角探讨区块链技术应用对供应链绩效的影响。已有研究表明, 物流、信息流、资金流是供应链的“血液”, 供应链流程整合是提高供应链绩效的重要因素, 而区块链技术可以有效促进供应链流程整合^[8], 因此, 有必要引入供应链流程整合探讨其对区块链技术提升供应链绩效的中介作用。最后, 已有研究对区块链技术应用效果的情境条件仅从行业、设计、公司治理结

构和供应链不确定性上进行分析,尚未考虑供应链本身的复杂性问题,基于区块链技术的供应链流程整合与供应链绩效的关系是否受到供应链复杂性的影响仍有待厘清。鉴于此,本研究基于供应链流程整合这一中介变量探究区块链技术应用对供应链绩效的影响,并引入供应链复杂性作为调节变量探讨区块链技术通过供应链流程整合影响供应链绩效的边界条件。

2 理论分析和研究假设

本研究的理论模型构建主要基于两种理论,即资源基础观(resource-based view, RBV)和交易成本理论(transaction cost theory, TCT)。资源基础观认为,企业拥有的有形或无形资源,使得企业形成了独特的能力^[29],创造了区别于其他企业的持续竞争优势和绩效差异^[30]。该理论集成了组织资源和核心能力观点,强调由于资源和能力异质性而带来绩效差异^[21],这为理解区块链技术应用对供应链绩效的赋能机理提供了便利。具体而言,区块链技术作为新一代信息技术,是企业获得的一种新型技术资源,它能带来供应链上信息流、物流和资金流的高效协同,这种独特的供应链流程整合能力使企业具备了异质性能力,它是通过传统信息技术无法获得的,具有稀缺性。这种能力帮助企业形成了传统供应链不具备的核心竞争优势,最终通过提高供应链运行效率实现供应链绩效的提升。本研究的另一个理论基础——交易成本理论由COASE^[31]在1937年提出,该理论认为选择最有效的组织间和组织内结构形态会从交易成本上影响治理机制的效率。WILLIAMSON^[32]将交易成本分为搜寻成本、信息成本、议价成本、决策成本、监督成本和违约成本,并指出交易成本产生的原因主要来自于有限理性、机会主义、信息不对称、专用性投资、不确定性与复杂性、气氛6个方面。交易成本理论为分析供应链成员间的关系和绩效提供了理论基础,已有研究已运用该理论对供应链协同与整合^[33]、数字化能力与供应链融资绩效^[34]等主题进行了研究。根据交易成本理论,供应链成员在交易过程中需要不断收集和處理信息、监督和執行协议以及维护关系,而区块链技术应用实现了供应链信息流、物流和资金流的整合,增强了全链条的信息透明度,使供应链在无需信任的环境下可自动实现交易的及时性和安全性,省去了传统供应链中的谈判成本、监管成本和执行成本,形成了一种既能保障供应链高效有序运行又能减少花费的治理结构^[35]。在这种治理结构中,区块链通过创建永久的防篡改的交易记录,使交易中发生的不当行为可追踪、可审查,其智能合约功能通过预先设定的参数进行交易,抑制了交易关系中的机会主义行为^[36],降低了供应链节点企业间的交易成本,保障了供应链的安全性和可靠性,从而带来供应链绩效的提升。综上,本研究以资源基础观和交易成本理论为基础,分析区块链技术应用如何通过赋能供应链流程整合进而提升供

应链绩效的内在机理。

2.1 区块链技术应用对供应链绩效的影响

区块链技术是一种共享的分布式账本技术,用以记录各方之间的交易数据,能够增强信息的透明度,保证数据安全性和提高信息的传递效率^[37]。区块链技术主要有信息透明性、数据防篡改性、点对点价值传输、智能合约等四大特性^[9]。信息透明性是指网络中的所有交易对每个授权节点都是透明可见的,系统中所有节点均有完整且准确的交易记录副本,这使得系统中的信息具备可信性。数据防篡改性是指交易一旦通过全网的共识机制添加至区块链,就很难被更改或删除,这一特性铸就了区块链的可追溯性,即区块链上发生的任何一笔交易都能完整地记录下来并随时查看。点对点价值传输是指节点之间的价值交换无需任何中介,即可安全快速地传递或验证信息。智能合约则是在满足交易双方事先约定的条件时,自动执行合同条款的计算机程序。相关研究表明,区块链技术凭借其四大特性能在成本、质量、速度、可靠性、风险降低、灵活性和可持续性等供应链关键目标实现上发挥重要作用^[38]。

供应链绩效是供应链管理效果的反映,是对供应链运作柔性、资源利用效率和产出等的系统测量^[39]。关于供应链绩效的测度,学术界尚无统一的指标。CHEN et al.^[40]认为,出于股东的利润动机,财务绩效应成为供应链绩效的主要测量指标。但考虑到仅采用财务绩效具有局限性,BEAMON^[39]认为应该将运作绩效包含在供应链绩效中,如客户服务和柔性水平等。为更全面地测量供应链绩效,本研究采用财务绩效和运作绩效两个维度。其中,财务绩效是对供应链中企业资源利用效率和最终产出的测量,用于评估供应链的经济表现,包括销售量、投资回报率、销售利润、市场份额等;运作绩效是对交货质量、速度和满意度的测量,用于评估供应链的交付效率和可靠性,包括产品质量、交付准时率、客户服务、运营水平等。

区块链技术应用对供应链绩效的影响具体表现在:首先,信息透明性减少了供应链中潜在的机会主义行为。区块链网络中的所有参与者共享一个完整的账本信息,该账本以相同的方式自动更新最新的交易记录,任何更新的信息在账本中均是可见的,并且所有授权的网络参与者均可对已发生的交易信息进行访问,这极大地消除了信息不对称性带来的损失^[41]。区块链技术确保各个节点的信息完全一致,从而削弱供应链的牛鞭效应^[42]。依据交易成本理论,信息透明性增加了企业之间交易的公平性和可靠性,消除了企业间因寻租行为带来的额外开销,并降低了交易中存在的风险损失,能提高供应链财务绩效和运作绩效^[22]。其次,数据防篡改性为供应链上产品溯源提供了极大的便利。区块链技术提高了供应链数据的可得性和不可篡改性,增强了供应链端端的可视性和可追溯性^[43]。这一特性尤其适用于存在长周期交易行为、需要低信任成本的多主体协作

的供应链网络。如在跨境供应链中的应用效果表现为降低跨境贸易中的欺诈风险、提高产品质量等^[11]。再次,点对点价值传输省去了传统交易过程中的中介环节,在去中心化的系统中,价值通过通证在节点间直接转移,大大简化了价值交换的过程,降低了供应链整体的运营成本^[44]。最后,智能合约将预先约定的条件以代码的形式写入区块链中,当满足触发条件后,直接执行交易内容,有效防止了供应链合作伙伴之间在执行和实施合约时出现误解,提高了交易效率,使产品或服务交付更准时^[45]。

总的来说,区块链技术的独特资源及技术优势能解决供应链管理中存在的信息不对称、数据追溯难、交易成本高等瓶颈问题,进而带来更高的供应链绩效水平。因此,本研究提出假设。

H₁ 区块链技术应用对供应链绩效具有正向影响;

H_{1a} 区块链技术应用对供应链财务绩效具有正向影响;

H_{1b} 区块链技术应用对供应链运作绩效具有正向影响。

2.2 区块链技术应用对供应链流程整合的影响

供应链流程整合是供应链合作伙伴为组建供应链网络而进行的交互与协同^[46]。RAI et al.^[47]将供应链流程整合定义为供应链上核心企业与供应链合作伙伴之间整合其信息流、物流和资金流的程度。因此,供应链流程整合是一个由信息流整合、物流整合和资金流整合3个维度组成的结构^[48]。在信息流方面,引入区块链技术,使参与主体可随时掌握客户信息、交易信息等,形成透明连贯的信息流,增强信息的可追溯性和透明性^[49];在物流方面,运用区块链实时共享物流信息,追溯商品流转,优化仓储、配送流程^[50];在资金流方面,减少资金核对成本,保障每笔交易数据如实录入,各节点之间进行去信任化交易,提高业务效率^[51]。可见,区块链技术对促进供应链流程整合具有积极作用。下面将基于区块链技术四大技术特性阐释其对信息流、物流和资金流整合的具体作用。

首先,区块链技术主要依靠信息透明性和数据防篡改等优势促进信息流整合。从信息透明性优势来看,区块链技术可在需要时,及时地将有价值的准确信息传递给供应链上的所有参与者,并受所有参与者的共同监管,解决了传统供应链管理中信息传递的“牛鞭效应”问题^[52]。ELJAZZAR et al.^[53]研究发现,区块链技术提升了单个行为主体了解和查看供应链网络中发生的但行为主体无法立即察觉的所有活动和流程的能力。这能显著提高供应链信息传递的及时性、可信赖性和准确性,使供应链上参与主体全面掌握供应链上下游各个层面的信息。从数据防篡改优势来看,区块链可防止供应链网络中的信息或数据在未经参与者批准的情况下被删除或修改。KORPELA et al.^[8]的研究表明,区块链技术可以整合供应链的所有信息,并作为供应链成员的统一信息

来源,这种整合功能可以有效减少成员之间的信息失真并防范蓄意欺骗的机会主义行为。故本研究认为区块链技术能促进信息流整合。

其次,区块链技术主要依靠数据不可篡改、点对点价值传输和智能合约的优势来促进物流整合。物流整合是涉及到多主体间实物流动的整合模式。数据不可篡改性使得企业可以监控和追溯物品的生产、仓储、运送、到达等全流程,便于物流跟踪和防伪溯源,提高物流管理的效率。点对点价值网络直接连接交易双方,无须中介,上下游之间的直接交易可以加大透明度,提高信任水平和效率。在基于区块链的系统中,供应商可以访问和分析与客户购买模式、订单投放趋势和产品交付相关的累积数据,用以更好地描绘他们的客户,从而改善对供应链下游的预测^[54]。通过这种方式,区块链技术可与供应商管理库存(VMI)和准时制生产(JIT)等实践相结合,实现供需之间的精确匹配。智能合约功能则使供应链的透明度得到了提高^[55],该功能允许贸易伙伴快速就精确的条件达成一致,同时减少了发生分歧或冲突的风险。事实证明,区块链技术的应用对于跟踪库存、监控产品组件和跟踪合作公司的足迹具有巨大价值^[56]。因此,区块链技术能促进物流整合。

最后,区块链技术主要依靠智能合约的优势促进资金流整合。应收账款和应付账款是测量资金流整合的两个主要维度。区块链技术的智能合约机制采用代码形式将触发合同的条件与触发后的响应规则写入系统中,一旦满足触发条件,智能合约就会自动执行预先设定的交易行为,从而缩短了应收账款和应付账款的账期,促进了资金的流通^[57]。已有研究表明,利用智能合约功能,供应商可以显著提高交易速度,缩短支付周期,更好地满足客户的需求^[58]。因此,区块链技术能促进资金流整合。综上,本研究提出假设。

H₂ 区块链技术应用对供应链流程整合具有正向影响;

H_{2a} 区块链技术应用对信息流整合具有正向影响;

H_{2b} 区块链技术应用对物流整合具有正向影响;

H_{2c} 区块链技术应用对资金流整合具有正向影响。

2.3 供应链流程整合对供应链绩效的影响

良好的供应链流程整合有助于共同创造效率和客户价值,从而提高供应链绩效^[59]。首先,通过精准化的需求估计和供需平衡预测,供应链流程整合使得供应链上下游企业的整体运营能力增强,销售收入增加^[47]。其次,供应链流程整合促进了准时交付、交货周期缩短、自动补货、供应商库存控制和货架空间利用率提高^[60]。最后,供应链流程整合还通过最小化库存成本和提高供应链合作伙伴的运营透明度与协调性来改善运作绩效^[61]。因此,本研究提出假设。

H₃ 供应链流程整合对供应链绩效具有正向影

响。

从信息流整合的角度看,信息流整合使整个供应链能够传递一致的信息和知识,从而增强对市场动态变化的快速响应能力^[48]。信息流整合促进了库存管理、供应链协调、需求和预测信息共享^[48]。上下游节点企业不仅可以共享与客户订单相关的信息,还可以共享需求和库存数据。这种及时准确的信息共享机制可以提高供应商预测需求的能力,以及零售商按时交付产品和服务满足终端客户需求的能力^[48]。因此,提高供应链成员之间的信息流整合水平已成为提高供应链绩效的必要条件^[62]。因此,本研究提出假设。

H_{3a} 信息流整合对财务绩效具有正向影响;

H_{3b} 信息流整合对运作绩效具有正向影响。

从物流整合的角度看,供应链核心企业可通过与供应商和客户的内部流程整合,实现产品质量的提升和产品成本的降低。物流整合通过降低生产成本、提高库存管理效率和改进供应商管理,提高了核心企业的生产力,从而增加供应链上企业的销售量和利润额,带来财务绩效的增长^[63]。从长远角度看,物流整合增强了企业获得订单的能力并提高了满足客户需求的服务水平,有益于企业运作绩效的提升,并最终对整个供应链产生影响。因此,本研究认为,物流整合对提高财务绩效和运作绩效具有正向作用。因此,本研究提出假设。

H_{3c} 物流整合对财务绩效具有正向影响;

H_{3d} 物流整合对运作绩效具有正向影响。

从资金流整合的角度看,供应链上企业通过应付账款和应收账款流程的自动化来共享所需的财务资源,进而提高供应链资金流通效率,实现供应链绩效提升。资金流整合可将买方的应付账款业务流程与供应商的应收账款业务流程联系起来,通过缩短应收账款和应付账款天数来提高资金周转率。例如,零售商层面的电子支付系统可以在收到供应商的产品时自动触发支付流程,从而最大限度地减少账单支付成本以及欺诈行为^[64]。另外,资金流整合也可帮助供应链合作伙伴获取关于客户满意度和业务流程中的财务绩效方面的信息。这些信息包括货物的吞吐量、库存和流动时间等。其中,吞吐量测量的是产品的销售速度,吞吐量的增加意味着收入和利润的增加;库存测量的是为满足客户需求而暂时闲置的资本量,库存的减少意味着营运资本需求量的减少;流动时间测量的是将订单和投资转化为产品所需的时间,更快的流动时间通常意味着更快的库存周转速度和更低的资本需求^[48]。供应链上的企业通过改善这3个关键的运营指标可以提高公司的整体净现值和投资回报率,这对供应链财务绩效和运作绩效的提升均具有积极影响。因此,本研究认为,资金流整合对于提高供应链财务绩效和运作绩效至关重要。因此,本研究提出假设。

H_{3e} 资金流整合对财务绩效具有正向影响;

H_{3f} 资金流整合对运作绩效具有正向影响。

2.4 供应链流程整合的中介作用

已有研究探讨了供应链流程整合在信息技术与供应链绩效之间的中介作用。如 RAJAGURU et al.^[60]从供应链流程整合的角度出发,探讨了供应链伙伴之间的技术兼容性对运作绩效的影响;周骊华等^[65]基于信息整合的视角,探讨了信息技术能力对供应链绩效的影响。区块链技术作为一种新型信息技术,通过高效整合信息流、物流和资金流,保持供应链信息系统与供应链组织结构及业务流程的高度一致,进而提升供应链整体效率^[66]。对比信息技术的研究分析,区块链技术与供应链绩效之间的关系也需要发挥供应链流程整合的中介作用,这一假设在国内外已有研究中尚未找到直接证据,但可通过与之类似的研究得以推断。如 KAMBLE et al.^[23]对印度从事汽车行业工作至少两年的525名经理进行调查,发现供应链整合在区块链技术与可持续供应链绩效中存在完全中介作用。因此,本研究提出假设。

H₄ 区块链技术应用与供应链绩效之间的关系受供应链流程整合的中介作用影响;

H_{4a} 区块链技术应用与供应链财务绩效之间的关系受信息流整合的中介作用影响;

H_{4b} 区块链技术应用与供应链运作绩效之间的关系受信息流整合的中介作用影响;

H_{4c} 区块链技术应用与供应链财务绩效之间的关系受物流整合的中介作用影响;

H_{4d} 区块链技术应用与供应链运作绩效之间的关系受物流整合的中介作用影响;

H_{4e} 区块链技术应用与供应链财务绩效之间的关系受资金流整合的中介作用影响;

H_{4f} 区块链技术应用与供应链运作绩效之间的关系受资金流整合的中介作用影响。

2.5 供应链复杂性的调节作用

供应链是由上下游多个主体和信息流、物流及资金流组成的复杂网络结构,供应链的复杂性增加了管理难度^[67]。从传统信息技术的视角看,供应链复杂性负向调节信息整合对供应链绩效的影响^[65]。但本研究认为,在复杂供应链中,区块链技术的适用性与传统信息技术有显著差异。主要原因在于区块链的四大技术特性使其非常适用于结构复杂、产品价值高或产品质量要求严格的供应链^[66],并且区块链通过共识机制所揭示的企业相关信息在上链企业数量众多、上链信息质量较高的供应链中更逼近于真实信息^[68]。也就是说,供应链越复杂,区块链技术优势和应用效果越显著。首先,信息透明性提高了供应链的可视化能力,产品从原材料到成品输出,包括产品分销、零售等全过程中的信息均存储在区块链平台上,供应链上成员和终端消费者能在权限范围内查阅该产品的流转信息,从而保证了产品的可溯源性^[69]。这一特性在产品线宽、原材料或零部件种类众多、生产工艺复杂的供应链中具备更加显著的优势。其次,数据防篡改性保障了数据的可靠性,提高了供应链的整体信任度和竞争力,降低了多主

体供应链中信任缺失的风险^[70]。再次,点对点价值传输有助于实现供应链流程标准化,打破了跨国境或地区的复杂供应链的限制,减少了节点间的摩擦,实现多主体信息共享,有效控制安全与信任风险^[71]。最后,智能合约实现了交易资金转账、赔付合约执行等流程的自动化,极大促进了资金支付效率,显著提升了含有长周期交易的供应链智能化水平^[57]。因此,本研究认为,在复杂的供应链结构中,区块链技术赋能下的供应链流程整合能更好地发挥其作用效果。因此,本研究提出假设。

H₅ 供应链越复杂,区块链技术赋能下的供应链流程整合产生的供应链绩效越显著。

从信息流整合的角度看,区块链技术赋能下的信息流整合在复杂供应链中的优势表现为3个方面。首先,当供应链复杂性提高时,供应链上企业所面临的物料项目的数量、产品的种类和复杂程度将会提高,这将极大增加管理信息的难度;但在区块链技术的赋能下,区块中存放的信息可作为唯一的信息来源,这有助于整合供应链上的信息,使记录、跟踪和共享信息变得更加迅速,并且可以在没有延迟的情况下实现可扩展性^[17]。其次,区块链技术构建了去中介化的供应链信任,克服了供应链复杂性增加带来的企业与供应商和客户的沟通障碍,加快了产品的生产进度,降低了产品交付的不确定性和风险性,使产品交付更加准时高效。最后,区块链技术增强了供应链应对风险的能力,在区块链技术的作用下,信息的交互方式和进程不受环境因素的影响,企业内部部门间以及企业与外部伙伴的交流变得更为通畅,供应链合作伙伴间的协作变得更为密切。因此,供应链复杂性为发挥区块链技术在信息流整合中的技术优势提供了更广阔的空间,由此产生的绩效更显著。因此,本研究提出假设。

H_{5a} 供应链越复杂,区块链技术赋能下的信息流整合带来的财务绩效越显著;

H_{5b} 供应链越复杂,区块链技术赋能下的信息流整合带来的运作绩效越显著。

从物流整合的角度看,区块链赋能下的物流整合在复杂供应链中的优势可通过生产计划层面和执行层面体现。在生产计划层面,区块链可帮助企业准确地预测需求,有效地管理资源并减少库存成本,在更多产品和部件以及更专业化定制的供应链中,区块链技术可准确跟踪到企业生产计划活动的数量和所需的资源水平,从而降低企业的计划成本。此外,区块链技术可使企业在不稳定的市场环境中有效平衡需求和产能,并确定可行的生产计划。在执行层面,区块链技术尤其适用于多主体长周期的跨境物流服务。依托区块链技术,货物运输路线转化为数字化的路线,使得货物运输状态能够实时反映在动态监控中。当货物运输行驶路线与预定路线发生偏差时,系统会发出预警信息。交易主体可根据实时的信息判断货物运输的安全性,及时做出运输方案调整,提高运输效率。总之,区块链赋能下的物流整

合在更多的客户数量、更大的客户异质性和更高层次的需求可变性的供应链中产生的效果更为显著。因此,本研究提出假设。

H_{5c} 供应链越复杂,区块链技术赋能下的物流整合产生的财务绩效越显著;

H_{5d} 供应链越复杂,区块链技术赋能下的物流整合产生的运作绩效越显著。

从资金流整合的角度看,供应链复杂性也会调节资金流整合的效果。首先,区块链的智能合约机制使资金在满足触发合同条件的情况下自动到账,消除了复杂供应链中供应商数量众多带来的违约风险;其次,区块链技术及时准确的信息共享机制使其对供应商行为的监控变得容易,降低了供应商欺诈行为带来的损失;最后,当收到来自利益相冲突的供应商的订单报价信息,区块链技术的可审计性能提高企业分辨事实或虚构的能力,使企业决策变得更加科学。总的来说,在复杂供应链中,区块链赋能下的资金流整合的效果更明显。因此,本研究提出假设。

H_{5e} 供应链越复杂,区块链技术赋能下的资金流整合产生的财务绩效越显著;

H_{5f} 供应链越复杂,区块链技术赋能下的资金流整合产生的运作绩效越显著。

综上所述,本研究构建概念模型,如图1所示。

3 研究设计

3.1 变量测量和量表设计

本研究采用较成熟的量表进行变量测量。其中,供应链绩效测量量表主要采用 FLYNN et al.^[72] 在研究供应链整合对供应链绩效影响中使用的量表,包括财务绩效和运作绩效2个维度,共11个题项,具体题项为“销售量增加”“市场份额增加”“销售回报率增长”“销售利润增加”“投资回报率增加”“我们公司可以快速调整产品以满足主要客户的要求”“我们公司能够迅速将新产品推向市场”“我们公司服务和产品质量绩效增加”“我们公司履行客户订单的交付周期很短”“我们公司为主要客户提供高水平的客户服务”“我们公司整体运营成本降低”;区块链技术应用测量量表采用 COLE et al.^[9] 提出的信息透明性、数据防篡改性、点对点价值传输、智能合约4个维度,每个维度设置1个题项,具体题项为“信息透明性成为维持供应链成员关系的关键因素”“数据防篡改性成为维持供应链成员关系的关键因素”“点对点价值传输成为维持供应链成员关系的关键因素”“智能合约成为维持供应链成员关系的关键因素”;供应链流程整合测量量表采用 RAI et al.^[47] 提出的信息流整合、物流整合、资金流整合3个维度,除采用原量表中的所有11个题项外,对于资金流整合维度增加了 RAJAGURU et al.^[60] 在 RAI et al.的基础上新增的1个题项,具体题项为“供应链系统中共享生产和交付时间表”“供应链系统中共享整个供应链的绩效指标”“与供应链合作伙伴一起预测和计划未来的需求”“我们能与下游合作伙伴,如分销商、

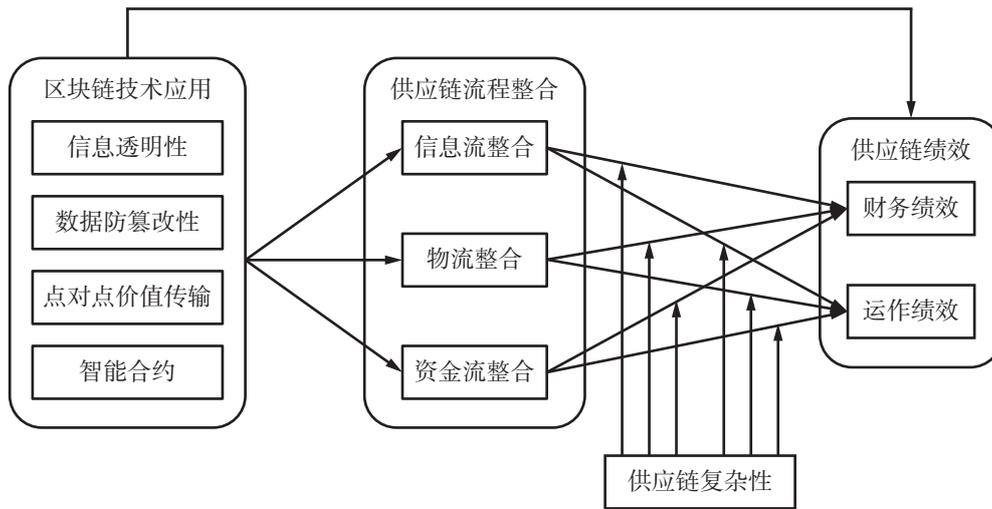


图1 区块链技术应用对供应链绩效的影响模型

Figure 1 The Impact Model of Blockchain Technology Application on Supply Chain Performance

批发商、零售商，共享他们的真实销售数据”“库存数据在整个供应链上具有可见性”“整个供应链的库存持有量保持最小化”“与合作伙伴共同管理供应链范围内的库存”“供应商和物流合作伙伴能及时交付产品和材料”“整个供应链的库存成本极大降低”“我们将产品运输到供应链合作伙伴时，会自动触发应收账款流程”“我们从供应链合作伙伴那里收到产品时，会自动触发应付账款流程”“我们与供应链合作伙伴的电子资金转移更加高效”；供应链复杂性测量量表来自周驹华等^[65]的研究，共6个题项，具体题项为“主要顾客需求多样化程度高”“支柱产品生命周期短”“支柱产品包含的原材料或零部件种类多”“支柱产品的生产工艺复杂”“原材料或零部件的跨国采购比例高”“产品线宽”。控制变量包括企业性质、企业规模、企业年龄、营业额、区块链技术应用年限等。

为保证测量的有效性和准确性，本研究首先结合区块链技术在供应链上的应用情况对原始量表进行了英汉互译和适当的修改，并邀请6位相关领域的专家进行了审阅。然后选择了50家应用区块链技术的企业进行预调研，基于企业反馈的结果，删除了部分题项，并对题项的逻辑、措辞和顺序进行了修改，最后形成了正式量表。具体题项见表2。所有问卷题项均采用Likert 5点评分法，1为完全不同意，5为完全同意。

3.2 数据收集和样本描述

本研究的调查对象为计划或正在供应链运营中应用区块链技术的企业。为保证数据的可靠性，通过设置“您所在企业是否计划或正在供应链运营中应用区块链技术”题项，以筛选出符合条件的企业。本研究采用多种渠道收集问卷。首先，利用2021中国5G+工业互联网大会区块链专题论坛暨2021武汉市区块链技术和产业发展峰会之机向与会企业代表

发放问卷，共发放200份，回收有效问卷157份；其次，通过邮件的形式向相关企业的采购经理和高层管理人员发放问卷，共发放200份，回收有效问卷134份；此外，还通过问卷星平台收集问卷，共发放问卷200份，回收有效问卷147份。通过以上途径，本研究在2021年11月下旬至2022年1月下旬期间，共发放问卷600份，回收有效问卷438份，有效回收率为73%。

样本描述性统计结果见表3。可以看出，被调查企业多为民营企业，占比52.283%；企业规模多在500人以上，占比75.343%；企业成立时间以6年~10年为主，占比40.640%；企业年营业额多在5000万元以上，占比64.155%。在被调查企业中，有232家企业即将应用区块链技术，占比达52.968%，而在已运用区块链的企业中，多数企业运用区块链的时长较短。这与《中国区块链发展报告(2021)》中指出的中国区块链企业特征(占比较低，应用处于初级阶段)基本一致，表明样本符合总体的基本情况。

4 数据分析和假设检验

4.1 共同方法偏差与共线性检验

本研究采用Harman单因素检验法对共同方法偏差进行检验，结果显示第一因子解释的变异量为35.380%，未超过40%，说明不存在严重的共同方法偏差。同时采用方差膨胀因子诊断法对变量可能存在的多重共线性问题进行检验，结果发现本研究各个自变量的方差膨胀因子最大值为1.245，小于参考值4，说明不存在多重共线性问题^[73]。

4.2 信度与效度分析

表2给出验证性因子分析结果及信度分析结果。本研究采用克隆巴赫系数(Cronbach's α)检验量表的信度水平，结果显示各变量的Cronbach's α 均大于标准值0.600，表明本研究的量表具有较好的信度。

表2 验证性因子分析及信度分析结果
Table 2 Results for Confirmatory Factor Analysis and Reliability Analysis

因子	题项	标准化因子载荷	克隆巴赫系数	组合信度	平均方差抽取量
财务绩效 (FP)	FP ₁ : 与区块链技术应用前相比, 公司(预计)销售量增加	0.878	0.932	0.932	0.775
	FP ₂ : 与区块链技术应用前相比, 公司(预计)投资回报率增加	0.868			
	FP ₃ : 与区块链技术应用前相比, 公司(预计)销售利润增加	0.879			
	FP ₄ : 与区块链技术应用前相比, 公司(预计)市场份额增加	0.895			
运作绩效 (OP)	OP ₁ : 与区块链技术应用前相比, 公司(预计)服务和产品质量绩效增加	0.903	0.937	0.937	0.789
	OP ₂ : 与区块链技术应用前相比, 公司(预计)服务和产品交付更准时	0.877			
	OP ₃ : 与区块链技术应用前相比, 公司(预计)为我们的主要客户提供高水平的服务	0.883			
	OP ₄ : 与区块链技术应用前相比, 公司(预计)整体运营成本降低	0.890			
区块链技术应用 (Bct)	Bct ₁ : 信息透明性成为维持供应链成员关系的关键因素, 高度适用于我们所在的供应链	0.871	0.921	0.922	0.746
	Bct ₂ : 数据防篡改成为维持供应链成员关系的关键因素, 高度适用于我们所在的供应链	0.836			
	Bct ₃ : 点对点价值传输成为维持供应链成员关系的关键因素, 高度适用于我们所在的供应链	0.867			
	Bct ₄ : 智能合约成为维持供应链成员关系的关键因素, 高度适用于我们所在的供应链	0.881			
信息流整合 (Inf)	Inf ₁ : 公司(预计)在区块链技术支持下的供应链系统中共享生产和交付时间表	0.850	0.931	0.931	0.730
	Inf ₂ : 公司(预计)在区块链技术支持下的供应链系统中共享整个供应链的绩效指标	0.868			
	Inf ₃ : 公司(预计)能与供应链合作伙伴一起预测和计划未来的需求	0.834			
	Inf ₄ : 公司(预计)能与下游合作伙伴, 如分销商、批发商、零售商, 共享他们的真实销售数据	0.854			
	Inf ₅ : 公司(预计)能提高库存数据在整个供应链上的可见性	0.866			
物流整合 (Phy)	Phy ₁ : 公司(预计)整个供应链的库存持有量保持最小化	0.890	0.930	0.930	0.768
	Phy ₂ : 公司(预计)与合作伙伴共同管理供应链范围内的库存	0.866			
	Phy ₃ : 公司(预计)供应商和物流合作伙伴能及时交付产品和材料	0.873			
	Phy ₄ : 公司(预计)整个供应链的库存成本极大降低	0.875			
资金流整合 (Fin)	Fin ₁ : 公司(预计)将产品运输到供应链合作伙伴时, 会自动触发应收账款流程	0.883	0.908	0.908	0.766
	Fin ₂ : 公司(预计)从供应链合作伙伴那里收到产品时, 会自动触发应付账款流程	0.875			
	Fin ₃ : 公司(预计)与供应链合作伙伴的电子资金转移变得更加高效	0.868			
供应链复杂性 (Scc)	Scc ₁ : 公司主要顾客需求多样化程度高	0.945	0.971	0.971	0.849
	Scc ₂ : 公司支柱产品的生命周期短	0.924			
	Scc ₃ : 公司支柱产品包含的原材料或零部件种类多	0.920			
	Scc ₄ : 公司支柱产品的生产工艺复杂	0.929			
	Scc ₅ : 公司原材料或零部件的跨国采购比例高	0.911			
	Scc ₆ : 公司产品线宽	0.900			

注: 样本量为438。

表3 样本描述性统计分析
Table 3 Descriptive Statistical Analysis of Samples

项目	选项	样本量	百分比
企业性质	国有企业	138	31.507%
	民营企业	229	52.283%
	外资企业	71	16.210%
企业规模	100人及以下	43	9.817%
	101人~500人	65	14.840%
	501人~1000人	147	33.562%
	1001人~5000人	96	21.918%
	5000人以上	87	19.863%
企业成立时间	5年及以下	102	23.287%
	6年~10年	178	40.640%
	11年~20年	119	27.169%
	20年以上	39	8.904%
企业年营业额	1000万元以下	48	10.959%
	1000万元~5000万元	109	24.886%
	5000万元~10000万元	156	35.616%
	10000万元以上	125	28.539%
企业应用区块链技术的年限	即将应用	232	52.968%
	不到1年	71	16.210%
	1年~2年	64	14.612%
	2年~3年	42	9.589%
	3年及以上	29	6.621%

注：样本量为438。

收敛效度和判别效度的检验采用 FORNELL et al.^[74] 的标准。由表3可知,各变量的标准化因子载荷均高于0.500且在0.001的水平下显著,组合信度(CR)均大于0.700,平均方差抽取量(AVE)均大于0.500,表明模型的收敛效度良好。表4给出各变量的均值、标准差和相关系数矩阵,其中,AVE的平方根均大于各变量与其他变量间的相关系数,故判别效度得到验证。此外,表4的结果还表明,各潜变量之间的相关性显著,可以进行进一步分析。

4.3 直接效应分析

首先对模型拟合度进行分析。结果显示,除调整的拟合优度指数(AGFI)为0.891外,卡方自由度比($\frac{\chi^2}{df}$)、拟合优度指数(GFI)、规范拟合指数(NFI)、相对拟合指数(RFI)、增量拟合指数(IFI)、Tucker-Lewis指数(TLI)、比较拟合指数(CFI)和近似误差均方根(RMSEA)指标均达到了评价标准。因此,该模型总体上具有较好的拟合度。采用AMOS构建结构方程模

型对变量间直接效应进行检验,结果如表5所示。

对于区块链技术应用与供应链绩效之间的关系,结果显示区块链技术应用显著正向影响供应链财务绩效和供应链运作绩效, $\beta = 0.275, p < 0.001; \beta = 0.183, p < 0.001$, H_{1a} 和 H_{1b} 得到验证。研究结果证明了区块链技术应用对供应链绩效的直接影响, H_1 得到验证。这表明区块链技术的优势能在供应链中发挥作用,直接带来供应链绩效的提升。

对于区块链技术应用与供应链流程整合之间的关系,结果显示区块链技术应用正向显著影响信息流整合、物流整合和资金流整合, $\beta = 0.391, p < 0.001; \beta = 0.286, p < 0.001; \beta = 0.278, p < 0.001$, H_{2a} 、 H_{2b} 和 H_{2c} 得到验证。研究结果证明区块链技术应用对供应链流程整合的直接影响, H_2 得到验证。因此,区块链技术能改善供应链信息流、物流和资金流的交互方式,实现“三流合一”的理想局面。

对于供应链流程整合与供应链绩效之间的关系,结果显示信息流整合、物流整合和资金流整合均能

表4 各变量的均值、标准差和相关系数矩阵
Table 4 Mean, Standard Deviation, and Correlation Coefficients of Variables

变量	均值	标准差	<i>FP</i>	<i>OP</i>	<i>Bct</i>	<i>Inf</i>	<i>Phy</i>	<i>Fin</i>	<i>Sc</i>
<i>FP</i>	4.134	0.999	(0.880)						
<i>OP</i>	4.022	1.111	0.299**	(0.888)					
<i>Bct</i>	4.154	0.966	0.411**	0.339**	(0.864)				
<i>Inf</i>	4.162	0.947	0.371**	0.368**	0.354**	(0.854)			
<i>Phy</i>	4.038	1.051	0.324**	0.293**	0.253**	0.323**	(0.876)		
<i>Fin</i>	4.105	1.018	0.312**	0.323**	0.245**	0.237**	0.234**	(0.875)	
<i>Sc</i>	2.651	1.387	-0.487**	-0.553**	-0.248**	-0.188**	-0.180**	-0.211**	(0.921)

注: **为 $p < 0.010$, 下同。对角线上括号中的数据为 AVE 的平方根, 对角线下的数据为变量之间的相关系数。

表5 直接效应检验结果
Table 5 Results for Direct Effect Test

变量关系	标准化系数	临界比值
<i>Bct</i> → <i>FP</i>	0.275*** (0.055)	5.098
<i>Bct</i> → <i>OP</i>	0.183*** (0.065)	3.368
<i>Bct</i> → <i>Inf</i>	0.391*** (0.050)	7.809
<i>Bct</i> → <i>Phy</i>	0.286*** (0.054)	5.650
<i>Bct</i> → <i>Fin</i>	0.278*** (0.053)	5.410
<i>Inf</i> → <i>FP</i>	0.199*** (0.050)	4.037
<i>Phy</i> → <i>FP</i>	0.169*** (0.045)	3.601
<i>Fin</i> → <i>FP</i>	0.177*** (0.047)	3.744
<i>Inf</i> → <i>OP</i>	0.231*** (0.060)	4.593
<i>Phy</i> → <i>OP</i>	0.139** (0.053)	2.909
<i>Fin</i> → <i>OP</i>	0.220*** (0.055)	4.536

注: ***为 $p < 0.001$, 下同; 括号内数据为标准误。

正向显著影响供应链财务绩效, $\beta = 0.199, p < 0.001$; $\beta = 0.169, p < 0.001$; $\beta = 0.177, p < 0.001$ 。信息流整合、物流整合和资金流整合均能正向显著影响供应链运作绩效, $\beta = 0.231, p < 0.001$; $\beta = 0.139, p < 0.010$; $\beta = 0.220, p < 0.001$, H_{3a} 、 H_{3b} 、 H_{3c} 、 H_{3d} 、 H_{3e} 和 H_{3f} 得到验证。研究结果证明供应链流程整合对供应链绩效的直接

影响, H_3 得到验证。

此外, 为验证控制变量是否对模型检验结果及供应链财务绩效和运作绩效产生影响, 将控制变量加入上述模型中, 发现上述直接效应检验的显著性水平均未发生改变, 且本研究的 5 个控制变量对供应链财务绩效和运作绩效的路径系数均不显著, 表明控制变量未对研究产生影响。

4.4 中介效应分析

为检验信息流整合、物流整合和资金流整合在区块链技术应用和供应链绩效之间的中介作用, 运用 Hayes PROCESS 插件方法^[75], 从数据中重复随机抽取 5 000 个 bootstrap 样本, 计算 95% 置信区间, 结果如表 6 所示。

由表 6 可知, 信息流整合、物流整合和资金流整合的中介效应置信区间均不包括 0, 并且区块链技术应用对供应链财务绩效和运作绩效的直接效应和总效应置信区间也不包含 0, 因此, 可认为信息流整合、物流整合和资金流整合在区块链技术应用与供应链财务绩效和运作绩效之间起部分中介作用, H_{4a} 、 H_{4b} 、 H_{4c} 、 H_{4d} 、 H_{4e} 、 H_{4f} 得到验证。研究结果证明供应链流程整合在区块链技术应用和供应链绩效之间的中介作用, H_4 得到验证。区块链改变了供应链信息流、物流和资金流的整合方式, 使供应链变得更加透明, 大规模协同变得更加容易, 最终提高供应链绩效。

4.5 调节效应分析

继续采用 PROCESS 插件用重复抽样 5 000 次的 bootstrap 法进行调节效应检验, 探讨信息流整合、物流整合和资金流整合对供应链财务绩效和运作绩效的影响是否受到供应链复杂性的调节作用, 结果如表 7 所示。

从表 7 可知, 供应链复杂性正向显著调节信息流整合与供应链财务绩效和运作绩效之间的关系, $\beta = 0.098, p < 0.001$; $\beta = 0.113, p < 0.001$ 、物流整合与供应链财务绩效和运作绩效之间的关系, $\beta = 0.089, p < 0.001$; $\beta = 0.048, p < 0.100$ 、资金流整合与供应链财务绩效和运作绩效之间的关系, $\beta = 0.057, p < 0.050$; $\beta =$

表6 中介效应检验结果
Table 6 Results for Mediation Effect Test

路径	效应值	bootstrap 95% 置信区间		相对效应值	
		下限	上限		
<i>Bct</i> → <i>FP</i>	总效应	0.544 (0.070)	0.287	0.560	100%
	直接效应	0.331 (0.068)	0.201	0.471	60.846%
	<i>Inf</i> 中介效应	0.094 (0.030)	0.043	0.157	17.279%
	<i>Phy</i> 中介效应	0.062 (0.022)	0.023	0.110	11.397%
	<i>Fin</i> 中介效应	0.057 (0.022)	0.021	0.107	10.478%
<i>Bct</i> → <i>OP</i>	总效应	0.526 (0.064)	0.264	0.512	100%
	直接效应	0.274 (0.061)	0.159	0.400	52.091%
	<i>Inf</i> 中介效应	0.116 (0.034)	0.057	0.188	22.053%
	<i>Phy</i> 中介效应	0.064 (0.024)	0.025	0.118	12.167%
	<i>Fin</i> 中介效应	0.072 (0.026)	0.028	0.131	13.688%

0.124, $p < 0.001$, H_{5a} 、 H_{5b} 、 H_{5c} 、 H_{5d} 、 H_{5e} 和 H_{5f} 得到验证。研究结果证明供应链复杂性对区块链技术赋能下的供应链流程整合和供应链绩效之间关系的正向调节作用, H_5 得到验证。

4.6 稳健性检验

为进一步检验研究结果的可靠性,采用模型替换法通过 AMOS 构建中介效应和调节效应模型进行稳健性检验。首先,运用 AMOS 中的信度区间法检验信息流整合、物流整合和资金流整合在区块链技术应用和供应链财务绩效与运作绩效之间的中介效应,结果如表 8 所示。其次,参照 KEH et al.^[76] 使用的方法,运用 AMOS 构建模型检验供应链复杂性在区块链技术赋能下的信息流整合、物流整合和资金流整合与供应链财务绩效和运作绩效之间的调节作用,并将结果汇总为表 9。由表 8 和表 9 可知,信息流整合、物流整合和资金流整合的中介效应和供应链复杂性的正向调节效应均得到支持,表明本研究的结论具有较好的可靠性。

5 结论

5.1 研究结果

本研究基于资源基础观和交易成本理论,从供应链流程整合的角度探讨区块链技术对供应链绩效的作用机理,以计划或正在供应链运营中应用区

块链技术的企业为样本,实证检验了供应链流程整合在区块链技术应用与供应链绩效之间的中介作用以及供应链复杂性在供应链流程整合对供应链绩效影响中的调节作用。主要得出如下结果。

(1) 区块链技术能显著提升供应链绩效。研究结果表明,区块链技术四大技术特性能解决供应链管理中的瓶颈问题,即信息透明性增加了企业之间交易的公平性和可靠性,消除了企业间因寻租行为带来的额外开销,并降低了交易中存在的风险损失,节省了产品的生产成本;数据不可篡改性保障了供应链上交易的可追溯性和可审计性,降低了供应链中的欺诈风险,提高了产品质量;点对点价值传输取代了传统交易过程中的中介环节,形成了高效的供应链协同和治理结构,大大简化了价值交换的过程,降低了供应链整体的交易成本;智能合约能自动执行预设的各项交易内容,减少了供应链合作伙伴之间发生误解和违约的风险,提高了交易效率。四大技术特性与供应链的完美融合打破了现有供应链绩效提升的瓶颈。

(2) 区块链技术应用通过供应链流程整合间接影响供应链绩效。首先,区块链技术对供应链流程整合具有显著的正向影响。区块链技术提升了信息流的安全性和透明性,加速了物流流通效率,促进了资金流融通,提高了供应链信息流、物流和资金流

表 7 调节效应检验结果
Table 7 Results for Moderation Effect Test

模型	项目	系数	t 值	bootstrap 95% 置信区间	
				下限	上限
<i>Inf</i> → <i>FP</i> <i>Sc</i> 调节	常数	3.144 (0.216)	14.530	2.719	3.570
	<i>Inf</i>	0.189 (0.045)	4.234	0.101	0.276
	<i>Sc</i>	- 0.280 (0.028)	- 9.883	- 0.336	- 0.225
	<i>Inf</i> · <i>Sc</i>	0.098*** (0.029)	3.420	0.042	0.154
	<i>Phy</i>	0.131 (0.039)	3.344	0.054	0.207
	<i>Fin</i>	0.119 (0.040)	2.974	0.040	0.197
<i>Inf</i> → <i>OP</i> <i>Sc</i> 调节	常数	3.090 (0.230)	13.411	2.637	3.542
	<i>Inf</i>	0.205 (0.047)	4.313	0.111	0.298
	<i>Sc</i>	- 0.370 (0.030)	- 12.261	- 0.430	- 0.311
	<i>Inf</i> · <i>Sc</i>	0.113*** (0.030)	3.710	0.053	0.173
	<i>Phy</i>	0.139 (0.043)	3.273	0.056	0.222
	<i>Fin</i>	0.097 (0.042)	2.326	0.015	0.178
<i>Phy</i> → <i>FP</i> <i>Sc</i> 调节	常数	2.779 (0.230)	12.058	2.326	3.231
	<i>Phy</i>	0.111 (0.040)	2.764	0.032	0.189
	<i>Sc</i>	- 0.281 (0.028)	- 9.901	- 0.337	- 0.225
	<i>Phy</i> · <i>Sc</i>	0.089*** (0.026)	3.436	0.038	0.140
	<i>Inf</i>	0.209 (0.044)	4.818	0.124	0.295
	<i>Fin</i>	0.124 (0.040)	3.116	0.046	0.202
<i>Phy</i> → <i>OP</i> <i>Sc</i> 调节	常数	2.404 (0.248)	9.680	1.916	2.892
	<i>Phy</i>	0.094 (0.043)	2.179	0.009	0.179
	<i>Sc</i>	- 0.370 (0.031)	- 12.115	- 0.430	- 0.310
	<i>Phy</i> · <i>Sc</i>	0.048+ (0.028)	1.728	0.007	0.103
	<i>Inf</i>	0.155 (0.043)	3.631	0.071	0.239
	<i>Fin</i>	0.239 (0.047)	5.097	0.147	0.331

续表 7

模型	项目	系数	t 值	bootstrap 95% 置信区间	
				下限	上限
<i>Fin</i> → <i>FP</i> <i>Sc</i> 调节	常数	2.717 (0.215)	12.641	2.294	3.139
	<i>Fin</i>	0.118 (0.041)	2.858	0.037	0.198
	<i>Sc</i>	-0.279 (0.029)	-9.752	-0.335	-0.223
	<i>Fin</i> · <i>Sc</i>	0.057* (0.026)	2.161	0.005	0.109
	<i>Inf</i>	0.213 (0.044)	4.831	0.126	0.299
	<i>Phy</i>	0.136 (0.039)	3.464	0.059	0.213
<i>Fin</i> → <i>OP</i> <i>Sc</i> 调节	常数	2.765 (0.225)	12.268	2.322	3.208
	<i>Fin</i>	0.114 (0.043)	2.645	0.029	0.199
	<i>Sc</i>	-0.367 (0.030)	-12.247	-0.426	-0.308
	<i>Fin</i> · <i>Sc</i>	0.124*** (0.028)	4.473	0.069	0.178
	<i>Inf</i>	0.218 (0.046)	4.733	0.128	0.309
	<i>Phy</i>	0.095 (0.041)	2.314	0.014	0.176

注：*为 $p < 0.100$, **为 $p < 0.050$, 下同。

表 8 中介效应稳健性检验结果

Table 8 Results for Robustness Test of Mediation Effect

路径	效应值	偏差校正法估计95%置信区间			百分位数法估计95%置信区间		
		下限	上限	p 值	下限	上限	p 值
<i>Bct</i> → <i>Inf</i> → <i>FP</i>	0.078 (0.032)	0.025	0.156	0.002	0.022	0.145	0.003
<i>Bct</i> → <i>Inf</i> → <i>OP</i>	0.090 (0.031)	0.041	0.168	0	0.036	0.159	0.001
<i>Bct</i> → <i>Phy</i> → <i>FP</i>	0.048 (0.023)	0.014	0.104	0.004	0.011	0.097	0.006
<i>Bct</i> → <i>Phy</i> → <i>OP</i>	0.040 (0.020)	0.010	0.093	0.006	0.006	0.084	0.017
<i>Bct</i> → <i>Fin</i> → <i>FP</i>	0.049 (0.021)	0.017	0.106	0	0.014	0.098	0.001
<i>Bct</i> → <i>Fin</i> → <i>OP</i>	0.061 (0.025)	0.021	0.125	0.001	0.020	0.117	0.001

整合的能力,实现了供应链上信息流、物流和资金流的畅通。其次,供应链流程整合对供应链绩效具有显著的正向影响。信息流整合实现了信息共享,使

整个供应链能够传递一致的信息和知识,提升了供应链成员应对市场环境变化的能力,使供应链决策更加科学有效;物流整合降低了生产成本,提高了供

表9 调节效应稳健性检验结果
Table 9 Results for Robustness Test of Moderation Effect

路径	总体样本		高供应链复杂性		低供应链复杂性	
	路径系数	<i>p</i> 值	路径系数	<i>p</i> 值	路径系数	<i>p</i> 值
<i>Inf</i> → <i>FP</i>	0.161	***	0.315	***	-0.047	0.141
<i>Inf</i> → <i>OP</i>	0.073	*	0.236	***	0.044	0.226
<i>Phy</i> → <i>FP</i>	0.075	*	0.230	**	0.060	0.261
<i>Phy</i> → <i>OP</i>	0.098	**	0.280	***	0.023	0.644
<i>Fin</i> → <i>FP</i>	0.161	***	0.372	***	0.027	0.675
<i>Fin</i> → <i>OP</i>	0.113	**	0.337	***	0.057	0.438

供应链上企业获取订单和响应客户需求的能力,使供应链上产品和服务的质量大大提升;资金流整合实现了供应链上企业应收账款和应付账款流程的自动化,打通了资金流障碍,提高了资金周转率。最后,供应链流程整合在区块链技术和供应链绩效之间起到部分中介作用。区块链技术可通过整合供应链上信息流、物流和资金流的方式实现供应链绩效的提升。

(3) 供应链复杂性正向调节区块链技术赋能下的供应链流程整合对供应链绩效的正向影响。实证结果表明,在更复杂的供应链系统中,供应链流程整合表现出的绩效提升效果更显著。因此,复杂供应链更需通过运用区块链技术来整合信息流、物流和资金流,以提升供应链绩效。

5.2 理论贡献

随着区块链技术的发展,如何应用区块链技术赋能供应链绩效成为重要的研究议题。本研究从流程整合视角探讨了区块链技术应用与供应链绩效之间的内在关系,为揭开区块链技术应用对供应链绩效的黑箱进行了理论探索,主要理论贡献体现在以下三方面。

(1) 实证检验了区块链技术应用对供应链绩效的影响,丰富了区块链技术应用与供应链绩效之间的关系研究。已有研究大多集中在供应链中的区块链技术采纳行为及区块链技术对企业绩效的影响等方面,而关于区块链技术应用对供应链绩效影响的实证研究相对较少。本研究对二者间的关系进行了实证检验,发现区块链技术对供应链绩效能够产生正向作用,这与 FOSSO WAMBA et al.^[22] 和 KAMBLE et al.^[23] 的研究结论一致。因此,本研究结论是对先前学者们研究的补充。

(2) 从供应链流程整合视角揭示了区块链技术应用对供应链绩效的影响机理,扩展了供应链绩效提升机制的研究视角。以往仅有少量研究从信任^[7]、供应链透明度^[22]、供应链整合^[23]等视角研究区块链技术对供应链绩效的作用路径,尚未考察供应链流程整合的中介作用。本研究响应了以往学者关于重视

对区块链技术影响供应链绩效的中介作用研究的呼吁^[6],以资源基础观和交易成本理论为基础,从供应链流程整合视角探讨区块链技术应用对供应链绩效的影响机制。结果表明,供应链流程整合在区块链技术应用与供应链绩效之间发挥了中介作用,这为探索区块链技术如何提高供应链绩效提供了一个有价值的解释路径与视角。

(3) 厘清了区块链技术赋能下供应链流程整合对供应链绩效作用效果的边界条件。本研究提出并验证了供应链复杂性在供应链流程整合与供应链绩效之间的调节作用。该研究结论目前虽未见其他研究进行实证证明,但也有一些研究表明,在复杂的供应链中,区块链技术应用效果更好^[66]。供应链越复杂,越能发挥出区块链的技术优势,与传统信息技术对供应链的改进不同,区块链技术是对供应链的根本变革,这一变革从底层逻辑出发创建了一个全新的信任方式和交易手段,根本上解决了复杂供应链中多主体信任缺失、信息不对称等痛点问题,突破了现有供应链绩效瓶颈,开启了供应链管理的新模式。因此,对于结构复杂、产品价值高的供应链尤其应推广应用区块链技术。

5.3 政策建议

在实践层面,如何充分发挥区块链技术效用以克服“生产力悖论”,对供应链绩效至关重要。根据研究结论,从三个方面提出应用区块链技术提升供应链绩效的政策建议。

(1) 将区块链技术应用纳入供应链战略层面。区块链技术的特性决定了区块链不是在单个企业而是在整个供应链上发挥作用。从供应链层面上看,应用区块链技术需要耗费大量的资金、时间和精力,区块链的价值创造离不开供应链上各成员的支持与配合。因此,为了更好地实现区块链技术与供应链的融合,并发挥其对供应链绩效的预期作用,需要将区块链技术应用纳入供应链战略层面。一方面,企业需要综合考虑产品特征、业务状况、基础设施等多种因素,明确区块链技术在供应链中的适用场景,为促进区块链与供应链的融合提供战略支持。并构建

科学、全面的供应链绩效评价体系,为评估和优化区块链技术应用对供应链绩效提升的作用提供依据。另一方面,区块链技术与供应链的融合需要IT基础设施、内外协调能力和员工相关知识技能的有力支撑。因此,企业不仅应该提高对区块链的认识,还应该积极与从事开发基于区块链的供应链解决方案的IT公司合作,以满足战略层面对区块链技术在供应链管理中的效用期望。企业还应为员工提供培训项目,使他们更多地了解区块链技术如何改善业务流程和供应链绩效。

(2) 发挥区块链技术在促进供应链流程整合中的作用。供应链节点企业应该对应用区块链技术提升供应链绩效的过程与方法形成共识,在采用区块链技术时要对供应链流程进行整合,以避免区块链技术投资的生产力悖论的出现。研究发现,区块链技术通过促进供应链流程整合来提升供应链绩效。区块链技术的应用提高了供应链成员间信息流的可靠性和透明性、加速了物流交互的效率和准确性、促进了资金流通的安全性和及时性。因此,为了充分发挥区块链的技术优势,供应链成员应该将区块链嵌入到企业间的信息流程(如需求计划和预测)、物流流程(如订单管理、库存管理、物流和分销)和资金流流程(如账单和应收、应付账款管理)中,形成供应链流程整合能力,以最大程度地提升供应链绩效。

(3) 加速区块链技术在复杂供应链中的应用落地。根据本研究的结论,区块链技术赋能下的供应链流程整合在复杂供应链中表现出的供应链绩效提升更显著。因此,在汽车、奢侈品、医药等结构复杂、产品价值高或产品质量要求严格的供应链中,可优先采用区块链技术。具体实施路径可有三种选择。① 市场自发带动。即由行业内优秀企业率先应用并实践,在应用实践的过程中积累经验教训,反复优化、论证和调整,最终形成较为规范、效果良好的区块链技术运行模式,从而构建一个区块链赋能的开放、共享、互利、共赢的生态圈,进而推动产业链供应链全流程健康发展。② 行业组织带动。区块链技术的应用需要产业链上下游的企业联盟之间的思想共识和同步落地,在此过程中,既需要政府的推动,更少不了各类行业组织的引导和服务。此外,从投入产出的角度看,区块链与供应链的融合发展需要建立基础数据库和信息共享平台,企业自身往往缺乏参与建设的动力与诉求,此时,行业组织的参与能起到关键作用。③ 链主企业带动。该路径的最大优势在于,链主企业可以充分利用其在技术储备、数据共享、成本控制和市场竞争等方面的优势,并借鉴其在信息化管理和新技术运用过程中的丰富经验,实现区块链技术与供应链的快速融合,达到降低交易成本、解决信息不对称和促进数据信息共享等效果,从而使整条供应链在竞争中处于优势地位。

5.4 研究不足

尽管本研究从流程整合视角揭示了区块链技术

影响供应链绩效的机理,在区块链技术与供应链关系研究方面取得了一些新进展,但仍存在几点不足,需要在今后的研究中加以推进。

(1) 理论方面的局限性。本研究主要探讨了区块链技术对供应链绩效的正向影响作用,在理论与变量选择的过程中,仅考虑了具有正向解释力度的变量,但区块链技术应用也存在部分负面影响^[11]。未来研究可运用多种理论来解释区块链技术在供应链应用中的利与弊,并引入更多中介变量来探讨区块链技术对供应链绩效的支持和约束作用,以全面阐释区块链技术应用对供应链绩效的多重影响。

(2) 样本的局限性。当前,中国企业应用区块链技术尚处于探索阶段,被调查者的回答主要基于自身对区块链和供应链的了解,存在主观上的认知偏差。这一现实条件的限制,会对本研究结论的准确性造成一定程度的影响。未来研究可运用案例研究法,持续追踪多个应用区块链技术的供应链企业,以对区块链技术与供应链绩效之间的关系进行更加深入的研究。

参考文献:

- [1] 李刚,扶明亮. 区块链技术在供应链中的应用: 理论述评与研究展望. *供应链管理*, 2021, 2(11): 21-34.
LI Gang, FU Mingliang. A review and prospect of the application of blockchain technology in supply chain. *Supply Chain Management*, 2021, 2(11): 21-34.
- [2] 李勇建,陈婷. 区块链赋能供应链: 挑战、实施路径与展望. *南开管理评论*, 2021, 24(5): 192-201, 212.
LI Yongjian, CHEN Ting. Blockchain empowers supply chain: challenge, implementation path and prospect. *Nankai Business Review*, 2021, 24(5): 192-201, 212.
- [3] WEBER I, XU X W, RIVERET R, et al. Untrusted business process monitoring and execution using blockchain//*Proceedings of 14th International Conference on Business Process Management*. Rio de Janeiro: Springer, 2016: 329-347.
- [4] 孙柏林. 国内外区块链技术概况及其在制造业中的应用. *自动化博览*, 2018, 35(7): 48-53.
SUN Bolin. Overview of blockchain technology at home and abroad and its application in manufacturing. *Automation Panorama*, 2018, 35(7): 48-53.
- [5] 陈昕,戴伟辉. “生产力悖论”研究及其对于中国企业信息化的启示. *科学与科学技术管理*, 2003, 24(12): 93-97.
CHEN Xin, DAI Weihui. Research of “productivity paradox” and its enlightenment to informatization of Chinese enterprises. *Science of Science and Management of S.&T.*, 2003, 24(12): 93-97.
- [6] HALD K S, KINRA A. How the blockchain enables and constrains supply chain performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2019, 49(4): 376-397.
- [7] PATTANAYAK S, RAMKUMAR M, GOSWAMI M, et al. Blockchain technology and supply chain performance: the role of trust and relational capabilities. *International Journal of Production Economics*, 2024, 271: 109198-1-109198-25.
- [8] KORPELA K, HALLIKAS J, DAHLBERG T. Digital supply chain transformation toward blockchain integration//*Proceedings of the*

- 50th *Hawaii International Conference on System Sciences*. Big Island, 2017: 4182–4191.
- [9] COLE R, STEVENSON M, AITKEN J. Blockchain technology: implications for operations and supply chain management. *Supply Chain Management*, 2019, 24(4): 469–483.
- [10] 王玉燕, 高俊宏. 基于政府动态补贴区块链技术的闭环供应链决策与协调研究. *系统工程理论与实践*, 2024, 44(3): 1053–1067.
- WANG Yuyan, GAO Junhong. Research on closed-loop supply chain strategy and coordination based on government dynamic subsidy blockchain technology. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2024, 44(3): 1053–1067.
- [11] WANG Y L, HAN J H, BEYNON-DAVIES P. Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management*, 2019, 24(1): 62–84.
- [12] 王嘉鑫, 于鑫雨, 刘志宇. 金融区块链与信贷配置: 基于关系借贷的视角. *管理科学*, 2023, 36(4): 105–120.
- WANG Jiaxin, YU Xinyu, LIU Zhiyu. Financial blockchain and credit allocation: from the perspective of relationship lending. *Journal of Management Science*, 2023, 36(4): 105–120.
- [13] 谭砚文, 李丛希, 宋清. 区块链技术在农产品供应链中的应用: 理论机理、发展实践与政策启示. *农业经济问题*, 2023(1): 76–87.
- TAN Yanwen, LI Congxi, SONG Qing. Application of blockchain technology in agricultural products supply chain: theoretical mechanism, development practice and policy enlightenment. *Issues in Agricultural Economy*, 2023(1): 76–87.
- [14] 曹允春, 李彤, 林浩楠. 基于区块链技术的药品追溯体系构建研究. *科技管理研究*, 2020, 40(16): 215–224.
- CAO Yunchun, LI Tong, LIN Haonan. Construction of drug traceability system based on blockchain technology. *Science and Technology Management Research*, 2020, 40(16): 215–224.
- [15] 王天柱, 李凌, 彭志辰, 等. 基于区块链的可信制造供应链溯源框架设计. *计算机应用研究*, 2024, 41(5): 1308–1313.
- WANG Tianzhu, LI Ling, PENG Zhichen, et al. Design of blockchain-based trusted manufacturing supply chain traceability framework. *Application Research of Computers*, 2024, 41(5): 1308–1313.
- [16] QUEIROZ M M, FOSSO WAMBA S. Blockchain adoption challenges in supply chain: an empirical investigation of the main drivers in India and the USA. *International Journal of Information Management*, 2019, 46: 70–82.
- [17] KAMBLE S, GUNASEKARAN A, ARHA H. Understanding the blockchain technology adoption in supply chains-Indian context. *International Journal of Production Research*, 2019, 57(7): 2009–2033.
- [18] 车阿大, 李芯怡, 郑本荣. 区块链技术采纳成本分摊机制与供应链协调研究. *系统工程理论与实践*, 2024, 44(2): 579–594.
- CHE Ada, LI Xinyi, ZHENG Benrong. Study on cost-sharing mechanism of blockchain technology adoption and supply chain coordination. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2024, 44(2): 579–594.
- [19] TREIBLMAIER H. The impact of the blockchain on the supply chain: a theory-based research framework and a call for action. *Supply Chain Management*, 2018, 23(6): 545–559.
- [20] SCHMIDT C G, WAGNER S M. Blockchain and supply chain relations: a transaction cost theory perspective. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 2019, 25(4): 100552-1–100552-13.
- [21] NANDI M L, NANDI S, MOYA H, et al. Blockchain technology-enabled supply chain systems and supply chain performance: a resource-based view. *Supply Chain Management*, 2020, 25(6): 841–862.
- [22] FOSSO WAMBA S, QUEIROZ M M, TRINCHERA L. Dynamics between blockchain adoption determinants and supply chain performance: an empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 2020, 229: 107791-1–107791-15.
- [23] KAMBLE S S, GUNASEKARAN A, SUBRAMANIAN N, et al. Blockchain technology's impact on supply chain integration and sustainable supply chain performance: evidence from the automotive industry. *Annals of Operations Research*, 2023, 327(1): 575–600.
- [24] 杨红雄, 陈俊树. 区块链技术、网络嵌入性与供应链金融绩效: 模糊集定性比较分析. *大连理工大学学报(社会科学版)*, 2022, 43(2): 13–23.
- YANG Hongxiong, CHEN Junshu. Blockchain technology, network embeddedness and financial performance of supply chain: a qualitative comparative analysis of fuzzy sets. *Journal of Dalian University of Technology (Social Sciences)*, 2022, 43(2): 13–23.
- [25] 夏曼曼, 赵利, 赵乐萌, 等. 区块链技术的适用性对装配式建筑供应链绩效影响: 基于信任关系的中介作用. *建筑经济*, 2022, 43(S1): 864–869.
- XIA Manman, ZHAO Li, ZHAO Lemeng, et al. Impact of the applicability of blockchain technology on the performance of prefabricated building supply chain: based on the mediating role of trust relationships. *Construction Economy*, 2022, 43(S1): 864–869.
- [26] SHEEL A, NATH V. Effect of blockchain technology adoption on supply chain adaptability, agility, alignment and performance. *Management Research Review*, 2019, 42(12): 1353–1374.
- [27] 邓小朱, 王明宇. 区块链的应用对企业绩效的影响: 基于区块链概念的上市公司分析. *会计之友*, 2021(9): 156–160.
- DENG Xiaozhu, WANG Mingyu. The impact of blockchain application on enterprise performance: an analysis of listed companies based on the concept of blockchain. *Friends of Accounting*, 2021(9): 156–160.
- [28] 林心怡, 吴东. 区块链技术与企业绩效: 公司治理结构的调节作用. *管理评论*, 2021, 33(11): 341–352.
- LIN Xinyi, WU Dong. Blockchain technology and firm performance: the moderating role of corporate governance structure. *Management Review*, 2021, 33(11): 341–352.
- [29] WERNERFELT B. A resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 1984, 5(2): 171–180.
- [30] BARNEY J. Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 1991, 17(1): 99–120.
- [31] COASE R H. The nature of the firm. *Economica*, 1937, 4(16): 386–405.
- [32] WILLIAMSON O E. *Markets and hierarchies: analysis and anti-trust implications: a study in the economics of internal organization*. New York: Free Press, 1975: 3–61.
- [33] ACQUAH I S K, NAUDE M J, SENDRA-GARCÍA J. Supply chain collaboration in the petroleum sector of an emerging economy: comparing results from symmetrical and asymmetrical ap-

- proaches. *Technological Forecasting and Social Change*, 2021, 166: 120568-1-120568-11.
- [34] 卢强, 邓扬, 宋华. 基于交易成本理论的中小企业数字化能力对供应链融资绩效的影响研究. *管理学报*, 2023, 20(11): 1696-1705.
- LU Qiang, DENG Yang, SONG Hua. Research on the influence of SME digital capability on supply chain financing performance based on transaction cost theory. *Chinese Journal of Management*, 2023, 20(11): 1696-1705.
- [35] 闫妍, 张锦. 基于区块链技术的供应链主体风险规避研究. *工业工程与管理*, 2018, 23(6): 33-42.
- YAN Yan, ZHANG Jin. A study on supply chain subject with a risk-aversion retailer based on block chain technology. *Industrial Engineering and Management*, 2018, 23(6): 33-42.
- [36] 黄少安, 张华庆. 区块链对要素市场化配置的变革性影响及作用机理. *求索*, 2022(2): 108-115.
- HUANG Shaoan, ZHANG Huaqing. The transformative impact of blockchain on factor market-based allocation and its mechanism. *Seeker*, 2022(2): 108-115.
- [37] RISIUS M, SPOHRER K. A blockchain research framework-what we (don't) know, where we go from here, and how we will get there. *Business & Information Systems Engineering*, 2017, 59(6): 385-409.
- [38] KSHETRI N. Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 2018, 39: 80-89.
- [39] BEAMON B M. Measuring supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 1999, 19(3): 275-292.
- [40] CHEN I J, PAULRAJ A. Understanding supply chain management: critical research and a theoretical framework. *International Journal of Production Research*, 2004, 42(1): 131-163.
- [41] CHOD J, TRICHAKIS N, TSOUKALAS G, et al. On the financing benefits of supply chain transparency and blockchain adoption. *Management Science*, 2020, 66(10): 4378-4396.
- [42] BABICH V, HILARY G. Distributed ledgers and operations: what operations management researchers should know about blockchain technology. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2020, 22(2): 223-240.
- [43] AHMED W A H, MACCARTHY B L. Blockchain-enabled supply chain traceability: How wide? How deep?. *International Journal of Production Economics*, 2023, 263: 108963-1-108963-17.
- [44] 马小峰. *区块链技术原理与实践*. 北京: 机械工业出版社, 2020: 35.
- MA Xiaofeng. *The principles and practice of blockchain technology*. Beijing: China Machine Press, 2020: 35.
- [45] AGRAWAL T K, ANGELIS J, KHILJI W A, et al. Demonstration of a blockchain-based framework using smart contracts for supply chain collaboration. *International Journal of Production Research*, 2023, 61(5): 1497-1516.
- [46] HUANG M C, YEN G F, LIU T C. Reexamining supply chain integration and the supplier's performance relationships under uncertainty. *Supply Chain Management*, 2014, 19(1): 64-78.
- [47] RAI A, PATNAYAKUNI R, SETH N. Firm performance impacts of digitally enabled supply chain integration capabilities. *MIS Quarterly*, 2006, 30(2): 225-246.
- [48] ANGELES R. Anticipated IT infrastructure and supply chain integration capabilities for RFID and their associated deployment outcomes. *International Journal of Information Management*, 2009, 29(3): 219-231.
- [49] 孙林辉, 葛晨晨, 吴安波, 等. 区块链技术影响下的供应链系统动态响应性研究. *运筹与管理*, 2022, 31(10): 53-60.
- SUN Linhui, GE Chenchen, WU Anbo, et al. Research on dynamic response of supply chain system under the influence of blockchain technology. *Operations Research and Management Science*, 2022, 31(10): 53-60.
- [50] 余玉刚, 郑圣明, 霍宝锋, 等. 平台供应链的管理理论与方法前沿课题. *管理科学*, 2021, 34(6): 60-66.
- YU Yugang, ZHENG Shengming, HUO Baofeng, et al. Frontier topics of platform supply chain management theory and method. *Journal of Management Science*, 2021, 34(6): 60-66.
- [51] 宋晓晨, 毛基业. 基于区块链的组织间信任构建过程研究: 以数字供应链金融模式为例. *中国工业经济*, 2022(11): 174-192.
- SONG Xiaochen, MAO Jiye. Research on the process of blockchain-based interorganizational trust building: take the digital supply chain finance model for example. *China Industrial Economics*, 2022(11): 174-192.
- [52] 付永贵. *基于区块链的供应链信息共享机制与管理模式研究*. 北京: 人民邮电出版社, 2020: 52.
- FU Yonggui. *Research on supply chain information sharing mechanism and management mode based on blockchain*. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2020: 52.
- [53] ELJAZZAR M M, AMR M A, KASSEM S S, et al. Merging supply chain and blockchain technologies//*Proceedings of the International Maritime Transport and Logistics Conference (Marlog 7): Innovation in Ports "The Gateway to the Future"*, 2018: 1-7.
- [54] XUE X F, DOU J P, SHANG Y. Blockchain-driven supply chain decentralized operations: information sharing perspective. *Business Process Management Journal*, 2021, 27(1): 184-203.
- [55] BAI C G, SARKIS J. A supply chain transparency and sustainability technology appraisal model for blockchain technology. *International Journal of Production Research*, 2020, 58(7): 2142-2162.
- [56] AZEVEDO P, GOMES J, ROMÃO M. Supply chain traceability using blockchain. *Operations Management Research*, 2023, 16(3): 1359-1381.
- [57] 马欣员, 钟若愚. 基于区块链创新耦合的新型供应链生态体系与制度建构. *新疆师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2021, 42(2): 73-83.
- MA Xinyuan, ZHONG Ruoyu. New supply chain ecosystem and system construction based on blockchain innovation coupling. *Journal of Xinjiang Normal University (Philosophy and Social Sciences)*, 2021, 42(2): 73-83.
- [58] REJEB A, KEOGH J G, SIMSKE S J, et al. Potentials of blockchain technologies for supply chain collaboration: a conceptual framework. *The International Journal of Logistics Management*, 2021, 32(3): 973-994.
- [59] RALSTON P M, BLACKHURST J, CANTOR D E, et al. A structure-conduct-performance perspective of how strategic supply chain integration affects firm performance. *Journal of Supply Chain Management*, 2015, 51(2): 47-64.
- [60] RAJAGURU R, MATANDA M J. Role of compatibility and sup-

- ply chain process integration in facilitating supply chain capabilities and organizational performance. *Supply Chain Management*, 2019, 24(2): 301–316.
- [61] VIRIYASITAVAT W, BI Z M, HOONSOPON D. Blockchain technologies for interoperation of business processes in smart supply chains. *Journal of Industrial Information Integration*, 2022, 26: 100326-1–100326-12.
- [62] GANBOLD O, MATSUI Y, ROTARU K. Effect of information technology-enabled supply chain integration on firm's operational performance. *Journal of Enterprise Information Management*, 2021, 34(3): 948–989.
- [63] 李荣, 刘露, 郑晓娜. 供应商协助库存转运: 基于企业实践的创新方法. *管理科学*, 2017, 30(6): 92–103.
LI Rong, LIU Lu, ZHENG Xiaona. Supplier-facilitated inventory transshipments: an innovative approach based on firm practice. *Journal of Management Science*, 2017, 30(6): 92–103.
- [64] DWIVEDI S K, AMIN R, VOLLALA S. Blockchain based secured information sharing protocol in supply chain management system with key distribution mechanism. *Journal of Information Security and Applications*, 2020, 54: 102554-1–102554-15.
- [65] 周骅华, 万国华. 信息技术能力对供应链绩效的影响: 基于信息整合的视角. *系统管理学报*, 2016, 25(1): 90–102.
ZHOU Sihua, WAN Guohua. Impact of information technology on supply chain performance: an empirical study from information integration perspective. *Journal of Systems & Management*, 2016, 25(1): 90–102.
- [66] 杨慧琴, 孙磊, 赵西超. 基于区块链技术的互信共赢型供应链信息平台构建. *科技进步与对策*, 2018, 35(5): 21–31.
YANG Huiqin, SUN Lei, ZHAO Xichao. Build mutual trust supply chain information system based on blockchain. *Science & Technology Progress and Policy*, 2018, 35(5): 21–31.
- [67] HUSSAIN G, NAZIR M S, RASHID M A, et al. From supply chain resilience to supply chain disruption orientation: the moderating role of supply chain complexity. *Journal of Enterprise Information Management*, 2023, 36(1): 70–90.
- [68] 龚强, 班铭媛, 张一林. 区块链、企业数字化与供应链金融创新. *管理世界*, 2021, 37(2): 22–34.
GONG Qiang, BAN Mingyuan, ZHANG Yilin. Blockchain, enterprise digitalization and supply chain finance innovation. *Journal of Management World*, 2021, 37(2): 22–34.
- [69] 苏秦, 张文博. 供应链质量信息共享与区块链授权策略. *中国管理科学*, 2024, 32(3): 324–334.
SU Qin, ZHANG Wenbo. Supply chain quality information sharing and block chain-enabled authorization strategies. *Chinese Journal of Management Science*, 2024, 32(3): 324–334.
- [70] 周雄勇, 许志端. 数字追溯可以促进供应链整合吗? 企业间信任和政府支持的双重调节作用. *管理评论*, 2023, 35(12): 282–294.
ZHOU Xiongyong, XU Zhiduan. Can digital traceability facilitate supply chain integration? Dual moderating effects of inter-firm trust and government support. *Management Review*, 2023, 35(12): 282–294.
- [71] 陶春博, 王伟. 基于区块链技术的跨境电商供应链模式构建. *商业经济研究*, 2021(21): 158–161.
TAO Chunbo, WANG Wei. Construction of cross-border e-commerce supply chain model based on blockchain technology. *Journal of Commercial Economics*, 2021(21): 158–161.
- [72] FLYNN B B, HUO B F, ZHAO X D. The impact of supply chain integration on performance: a contingency and configuration approach. *Journal of Operations Management*, 2010, 28(1): 58–71.
- [73] 叶宝娟, 温忠麟, 杨强, 等. 气质特征和教养方式对青少年问题性网络使用的影响: 独特效应和交互效应检验. *心理科学*, 2013, 36(5): 1066–1072.
YE Baojuan, WEN Zhonglin, YANG Qiang, et al. The effects of temperament and parenting styles on problematic internet use in adolescence: examining the unique and interaction effects. *Journal of Psychological Science*, 2013, 36(5): 1066–1072.
- [74] FORNELL C, LARCKER D F. Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 1981, 18(1): 39–50.
- [75] HAYES A F. *Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: a regression-based approach*. New York: The Guilford Press, 2013: 89–95.
- [76] KEH H T, JI W B, WANG X, et al. Online movie ratings: a cross-cultural, emerging Asian markets perspective. *International Marketing Review*, 2015, 32(3/4): 366–388.

Research on the Impact Mechanism of Blockchain Technology Application on Supply Chain Performance

LI Gang^{1,2}, FU Mingliang¹

¹ School of Management, South-Central Minzu University, Wuhan 430074, China

² Research Center for Digital Development and Governance in Ethnic Areas, South-Central Minzu University, Wuhan 430074, China

Abstract: Blockchain technology, with its characteristics of information transparency, data immutability, peer-to-peer value transmission, and smart contract, provides a new technical means to solve the “pain points” of the supply chain and improve the supply chain performance. However, there are currently few empirical studies on the relationship between blockchain technology application and supply chain performance.

Based on resource-based view and transaction cost theory, this study explores the impact of blockchain technology application on supply chain performance and examines the mediating role of supply chain process integration as well as the moderating role of supply chain complexity. This study conducts the tests of direct effect, mediating effect and moderating effect using data from a survey of 438 sample companies.

The major results are as follows: First, blockchain technology application has a significant positive impact on supply chain performance. The four major characteristics of blockchain technology can effectively eliminate the bottleneck in improving supply chain performance. Second, supply chain process integration plays a partial mediating role between blockchain technology application and supply chain performance. Blockchain technology application enhances the security and transparency of information flow, accelerates the logistics efficiency, promotes the circulation of financial flow, and thus realizes the integration of information flow, physical flow and financial flow in the supply chain. Information flow integration promotes information sharing, which improves the ability of supply chain members to respond to changes in the market environment and makes supply chain decisions more scientific and effective. Physical flow integration reduces production costs, improves the ability of supply chain enterprises to obtain orders and respond to customer demand, and thus significantly improves the quality of products and services in the supply chain. Financial flow integration realizes the automation of accounts receivable and payable processes of enterprises in the supply chain, eliminating the obstacles to the circulation of financial flow and improving the capital turnover. Third, supply chain complexity positively moderates the impact of blockchain-enabled supply chain process integration on supply chain performance. In complex supply chain systems, supply chain process integration exhibits more significant performance improvement. Therefore, in complex supply chains, there is a greater need for integrating information flow, physical flow and financial flow through the use of blockchain technology to improve supply chain performance.

This study reveals the mechanism of blockchain technology application affecting supply chain performance from the perspective of process integration, providing theoretical references and practical guidance to advance blockchain technology application and improve supply chain performance. According to the findings, when adopting blockchain technology, it is recommended that enterprises need to integrate information flow, physical flow and financial flow to maximize the benefits of blockchain technology and thus improve supply chain performance.

Keywords: supply chain performance; blockchain technology; supply chain process integration; supply chain complexity; resource-based view; transaction cost theory

Received Date: August 4th, 2022 **Accepted Date:** June 18th, 2024

Funded Project: Supported by the National Social Science Fund of China (24BMZ035)

Biography: LI Gang, doctor in management, is an associate professor in the School of Management at South-Central Minzu University. His research interests include blockchain technology and supply chain management, supply chain collaborative innovation. His representative paper titled “The impact of supply chain relationship quality on knowledge sharing and innovation performance: evidence from Chinese manufacturing industry” was published in the *Journal of Business & Industrial Marketing* (Issue 5, 2021). E-mail: ligangrobert@163.com

FU Mingliang is a master degree candidate in the School of Management at South-Central Minzu University. Her research interest focuses on blockchain technology and supply chain management. Her representative paper titled “A review and prospect of the application of blockchain technology in supply chain” was published in the *Supply Chain Management* (Issue 11, 2021). E-mail: 2019110384@mail.scuec.edu.cn □

(责任编辑: 刘思宏)