

# 多式联运与区块链融合模式下的国际贸易物流优化研究

王楠

辽宁工业大学 辽宁省锦州市 121000

**摘要:** 随着全球贸易网络日趋复杂,多式联运中的信息孤岛问题日益凸显,严重制约着国际物流效率与服务质量。研究深入剖析了这一痛点,并以区块链技术为核心解决路径,构建了集分布式账本、智能合约于一体的三层融合架构模型,实现跨主体、跨模式、跨区域的信息无缝流通。通过分析 IBM-Maersk TradeLens 等案例,证实该模式在提升透明度、压缩通关时间、降低成本方面效果显著。研究表明区块链有效破解信息壁垒,但规模化落地仍面临标准化等挑战,需产业链协同突破。  
**关键词:** 区块链技术;多式联运;信息孤岛;智能合约;供应链优化

## 一、绪论

### (一) 研究背景及意义

全球贸易物流呈现高频次、小批量、跨地域特征,传统模式难以应对。世界银行数据显示,跨境物流成本占商品价值 15%–20%,远超发达国家水平。多式联运虽高效,仍面临信息流断裂、责任界定模糊等挑战,尤其是集装箱运输中信息接口不兼容问题最突出。

区块链技术凭借去中心化、不可篡改、可追溯特性,为解决信息孤岛提供新思路。马士基-IBM 的 TradeLens 平台接入 150 余家企业后,集装箱追踪效率提升 40%,展现了打通信息壁垒的潜力。

本研究在理论层面构建融合框架,丰富区块链在供应链管理应用理论;在实践层面为物流企业数字化转型提供技术路径,助力降低物流成本,提升供应链韧性。

### (二) 研究目标与方法

研究识别关键信息孤岛问题,构建融合模式,提出优化路径。采用文献研究法梳理理论,案例分析法考察实践,系统分析法构建模式,模型模拟法评估效果,运用跨学科方法综合分析问题。

## 二、多式联运中的信息孤岛问题分析

### (一) 信息孤岛的表现形式

多式联运各主体采用独立信息系统,导致跨模式交接信息难对接。不同运输模式间信息交互延迟达 24–48 小时。国际贸易物流面临标准不统一、系统兼容性差问题,东亚至欧洲运输需对接 8–12 个信息系统、转换 10 种以上数据格式,形成跨境信息断层。监管部门与物流企业系统封闭运行,监

管与业务数据割裂。

### (二) 信息孤岛带来的物流痛点

一是运输效率低下。335% 时间损耗源于信息传递问题,节点货物滞留时间比最优值高 40% 以上;二是货物追踪困难。70% 货损货差问责困难与信息透明度不足相关;三是文件处理复杂。涉及 20–30 种单证,文件错误率达 15%;四是结算周期长。平均达 45–60 天,远高于单一运输模式

### (三) 传统解决方案的局限性

传统 EDI 系统采用中心化架构难解决多方互信问题;接口定制成本高、标准化程度低;信息共享联盟缺乏数据真实性验证机制,跨境环境难以建立信任,限制了应用深度与广度。

## 三、区块链技术在多式联运中的应用模式

### (一) 区块链赋能多式联运的技术原理

区块链通过分布式账本构建多式联运共享信息架构,实现全链数据共识验证与同步存储。各节点共同维护统一账本,消除信息垄断。密码学链接的区块形成不可逆记录,确保数据一致性与不可篡改性。

智能合约将业务规则代码化,实现条件触发的自动化处理,提升效率 30%–50%。区块链采用非对称加密与哈希函数保障信息安全,零知识证明允许验证而无需披露敏感信息。

### (二) 区块链多式联运融合模式构建

区块链多式联运融合模式采用三层架构。信息共享层包含账本结构与存储策略,采用“链上索引+链下存储”模式。轻量数据直接上链,大容量数据通过 IPFS 存储并哈希上链,标准化 API 支持传统系统对接;智能合约层编码业务规则,

包含编码业务规则, 包含身份权限、业务流程和清结算合约, 通过事件机制交互, 模块化设计支持规则灵活组合。

### (三) 区块链多式联运平台关键技术

平台技术实现需要在共识机制、跨链应用和数据隐私保护方面创新。PBFT、Raft 等投票型共识算法适合多式联运场景, 改进型 PBFT 引入信誉权重, 提升效率 40% 以上。中继链 + 哈希锁定的跨链方案建立不同网络间信息互通, 将 "数据孤岛" 转为 "数据群岛"; 数据安全方面, 基于 "最小知情权" 原则构建多层保护, 包括通道隔离、零知识证明、同态加密和门限签名, 平衡信息共享与隐私保护需求。

## 四、区块链多式联运融合模式下的国际物流优化路径

### (一) 物流信息透明化优化

#### 1 全程可视化追踪机制

区块链多式联运融合模式通过分布式账本构建点对点信息透明机制, 实现货物全程数字足迹不可篡改记录。系统在关键节点自动触发数据上链, 消除 15%-30% 的信息 "黑洞区"。借助标准化事件通知协议 (ENS), 各方能近实时接收状态变更信息, 将信息获取延迟从 4-6 小时缩短至 1-3 分钟, 货物追踪准确率从 78% 提升至 98% 以上。

#### 2 实时信息共享机制

区块链平台通过细粒度访问控制与跨组织授权, 在保障数据隐私前提下实现各方按需获取关键信息。系统采用 "一次录入、多方共享" 原则, 通过零知识证明等技术解决信息共享与商业机密保护矛盾。基于精准货物动态信息, 进口商可将平均库存水平降低 15%-20%。

### (二) 物流效率提升策略

#### 1 单证电子化与自动验证

区块链平台实现贸易单证全面电子化与真实性验证, 为每份单证生成唯一数字指纹并上链存证。基于共享账本的自动验证机制消除人工核单环节, 将单证处理时间从 36 小时缩短至 4 小时, 错误率从 12% 降至 1% 以下。电子提单 (eBL) 在区块链上的安全转让功能解决了传统提单传递问题, 缩短货物交付周期 2-3 天。

#### 2 智能合约驱动的自动结算

智能合约使物流结算流程编码化与自动化。系统设计里程碑触发机制, 当预设条件达成后, 付款指令自动执行。融合数字货币支付通道, 平台实现 7×24 小时即时结算, 将结算周期从平均 45 天缩短至实时或 T+1, 显著降低营运资金占用。智能合约还支持多级运费分账, 简化复杂结算场景。

### 3 异常情况智能处理

区块链平台基于共识数据构建异常情况智能识别与处理机制。系统通过历史数据分析建立多维异常检测模型, 自动识别货物延误、路径偏离等异常。触发异常阈值后, 平台自动生成事件报告并通知相关方。异常处理智能合约支持自动责任判定与理赔流程触发, 将平均处理时间从 48 小时缩短至 6 小时。

### (三) 物流成本降低方案

#### 1 中间环节精简

区块链平台通过信息直连与流程再造精简传统物流冗余环节。单证电子化传递减少文件代理与快递, 相关成本降低 60%。自动化确认机制取代人工交接, 港口交接效率提升 40%, 人力成本降低 25%-35%。融合后, 供应链中间环节成本从 28% 降至 16%。

#### 2 资金流转效率提升

基于不可篡改的状态记录, 融资机构实时掌握货物流转情况, 提供更精准融资服务, 融资成本降低 15%。系统支持基于物流里程碑的分段融资模式。在信用证场景中, 区块链记录使银行审核时间缩短 50%, 企业年化财务成本减少 3%-5%。

#### 3 风险管理成本降低

区块链提高信息透明度与可追溯性, 保险公司基于全程数字足迹更准确评估风险, 提供 5%-10% 保费优惠。在索赔场景中, 区块链记录简化责任判定, 索赔处理时间从 30 天缩短至 7 天, 管理成本降低 40%。系统通过预警机制降低货物风险, 事故发生率下降 25%。

## 五、区块链多式联运融合模式应用案例分析

### (一) 国际典型案例分析

#### 1 IBM-Maersk TradeLens 平台

TradeLens 自 2018 年商用以来连接超过 175 家组织, 覆盖全球 60% 以上集装箱运输量。平台基于超级账本 Fabric 构建, 采用许可型区块链架构, 实现集装箱全程数字化追踪与文档共享。其核心价值在于将航运主体间数据交换时间从 10 天缩短至 1 秒, 文档处理成本降低 40%。

平台设计三层参与结构: 核心运营方 (Maersk、IBM)、验证节点 (主要船公司、港口当局) 和一般参与方 (货主、货代、海关等), 通过差异化权限管理平衡系统开放性与效率。TradeLens 创新开发了基于区块链的电子提单 (eBL) 解决方案, 已获国际保赔协会认可, 并与公共部门合作开发边境措施协作模块, 优化通关流程。

## （二）国内应用实践

### 1 中欧班列区块链应用

成渝地区 2020 年启动 " 中欧班列区块链单证平台 "，覆盖铁路、海关、货代等 20 余家机构。平台基于 FISCO BCOS 联盟链，创新解决了跨境多语言单证转换难题，通过统一数据模型与多语言映射表，实现中、俄、英、德等语言间单证标准化转换。

系统设计了关键单证的区块链存证与验证机制，实现 " 数据出境不出境 " 监管要求。" 车货状态智能匹配 " 功能在异常情况下自动生成事件报告并触发理赔流程。平台将单证处理时间从 16 小时缩减至 2 小时，通关时间缩短 40%，可追溯性提升至 98% 以上。

### （三）案例比较与启示

分析国际与国内案例可提炼关键启示，一方面成功平台采用渐进式实施策略，从核心痛点切入，避免全链路重构，降低风险；另一方面，治理机制设计是可持续运营关键，需平衡利益与权力分配，TradeLens 将决策权下放至行业联盟值得借鉴；技术层面，国际案例注重开放性与跨组织互操作，国内应用在垂直场景优化与性能方面具优势。未来应强化数据标准化推进、物联网与区块链融合、跨链互联与全球协同机制构建，实现端到端物流信息流重构。

## 六、区块链多式联运融合模式实施路径与挑战

### （一）实施路径设计

#### 1 技术架构设计

区块链多式联运融合架构采用分层设计，包括基础层（高吞吐量联盟链）、协议层（标准数据模型与 API）、服务层（智能单证管理中间件）和应用层（差异化界面）。技术路线遵循 " 先局部后全局，先单链后跨链 " 原则，降低风险。

#### 2 业务流程重塑

业务流程重塑需先梳理传统流程，识别信息断点与效率瓶颈，基于 " 最小化改变、最大化收益 " 原则重构关键环节。引入事件驱动机制将串行转为并行处理，建立 IoT 设备、移动 APP 等多元数据采集渠道，确保物理世界与链上记录同步。

#### 3 推广应用策略

推广应遵循 " 点 - 线 - 面 " 策略，初期选择代表性物流通道试点，采用 " 核心企业带动 " 模式吸引龙头港口和承运商，设计多元激励机制提升参与度。

### （二）挑战与对策

技术挑战包括扩展性、互操作性和数据可信上链。对策

是采用分片技术实现 " 热数据链上存储、冷数据链下索引 "，构建双层共识机制，参与国际标准制定推动接口标准化；标准化挑战方面应建立统一数据体系，借鉴 UN/CEFACT 模型构建语义映射层，推动关键要素全程一码化管理。

### （三）配套政策建议

针对区块链多式联运融合发展，建议相关部门出台以下配套政策一是建立试点示范区域，给予税收支持；二是设立专项基金支持关键技术研发；三是构建政府引导、市场主导的标准体系，推动成立跨行业联盟协同制定规范。

## 七、研究结论

本研究深入剖析了多式联运信息孤岛问题，构建了区块链多式联运融合模式的理论框架与实施路径。研究表明，区块链技术通过分布式账本、智能合约和加密机制，有效打通了多式联运中信息壁垒，实现了物流全程可视化、单证处理自动化及结算清算实时化，降低了国际物流交易成本 15%-30%，提升运营效率 40% 以上。

未来研究方向应聚焦三个维度：一是区块链与人工智能、物联网等技术深度融合，构建自主决策的智能物流系统；二是跨链技术在全球多式联运网络中的应用，实现异构区块链互操作与价值流转；三是区块链治理机制优化，平衡效率、隐私与合规要求。随着技术迭代与应用深化，区块链将重构国际物流组织模式与价值网络，推动全球供应链向更高水平协同治理迈进。

### 参考文献：

- [1] 陈灏中. 基于区块链的物流信息获取系统, 方法, 装置及介质: CN202310049393.4[P]. CN116095637A[2025-03-17].
- [2] 焦巍巍, 刘彤. 基于区块链技术的多式联运数字化单证研究[J]. 计算机应用与软件, 2021.DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2021.08.006.
- [3] 马妙明. 多式联运信息集成平台的构建[J]. 微型电脑应用, 2022, 38(3):52-54.DOI:10.3969/j.issn.1007-757X.2022.03.016.
- [4] 管理科学与工程. 基于区块链的多式联运 " 一单制 " 多主体协同研究[D]. 大连海事大学, 2023.
- [5] 刘昱刚, 王添碧, 王海玥, 等. 基于区块链技术的多式联运电子提单研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018(A01):74-79.
- [6] Newswire P R, ARMONK N Y. Maersk and IBM Introduce TradeLens Blockchain Shipping Solution[J]. 2018.