

基于区块链技术的消防产品质量追溯管理研究

路欣欣¹, 胡安林²

(1.四川省消防救援总队, 四川 成都 610036; 2.中安工业互联网(成都)有限公司, 四川 成都 610042)

摘要:消防产品质量追溯体系是保障公共安全的关键基础,但传统系统因信息孤岛、信息易篡改及跨主体协同效率低等问题,导致假冒伪劣消防产品屡禁不止.针对该问题,以区块链技术为核心,结合物联网与智能合约,构建覆盖消防产品生产、流通、监管全生命周期的质量追溯管理体系.首先研究了区块链技术特性与消防行业需求的契合性,提出了基于联盟链架构的多节点协同模型.随后,基于 Fisco Bcos 平台,实现数据层、网络层、共识层与智能合约的模块化设计.最后,通过“链上+链下”混合存储机制优化数据容量与系统性能,构建多方参与的联盟链治理框架,并依托工业互联网标识解析体系为消防产品赋予唯一数字身份,实现全流程动态监控,遏制假冒伪劣产品流通,为消防产品质量追溯体系的建设提供了理论支撑与技术路径.

关键词:区块链;消防产品;质量追溯;Fisco Bcos

中图分类号:TP311.13;TU998.1

文献标志码:A

文章编号:2095-4271(2025)05-0573-07

Research on fire product quality traceability management based on Blockchain technology

LU Xinxin¹, HU Anlin²

(1.Sichuan Fire and Rescue Brigade, Chengdu 610036, China; 2.Zhong'an Industrial
Internet (Chengdu) Co., LTD, Chengdu 610042, China)

Abstract: The quality traceability system of fire products is the key basis to ensure public safety, but the traditional system has many problems, such as information island, information tampering and low efficiency of cross subject collaboration, which leads to the repeated prohibition of fake and inferior fire products. Aiming at this problem, this paper took the Blockchain technology as the core, combined the Internet of things and smart contracts, and constructed a quality traceability management system covering the whole life cycle of fire product production, circulation and supervision. Firstly, this paper studied the compatibility between the technical characteristics of Blockchain and the needs of the fire industry, and proposed a multi node collaboration model based on the alliance chain architecture. Then, based on Fisco Bcos platform, the modular design of data layer, network layer, consensus layer and smart contract were realized. Finally, through the “on Chain+off chain” hybrid storage mechanism, the data capacity and system performance were optimized, and a multi-party alliance chain governance framework was constructed. Relying on the industrial Internet identification analysis system, the unique digital identity was given to the fire products to realize the dynamic monitoring of the whole process, curb the circulation of fake and inferior products, and provide theoretical support and technical path for the construction of the fire product quality traceability system.

Keywords: Blockchain; fire protection product; quality traceability; Fisco Bcos

收稿日期:2025-06-06

作者简介:路欣欣(1982-),女,高级工程师,研究方向:消防产品、消防科技、防火监督.E-mail:626811932@qq.com

通信作者:胡安林(1983-),男,高级工程师,研究方向:智慧消防、工业互联网.E-mail:ankel.hu@qq.com

基金项目:四川省重点研发项目(2024YFFK0107)

近年来我国火灾防控形势持续严峻,群死群伤事故造成重大人员财产损失时有发生.作为灭火救援核心装备的消防产品,其质量安全直接关系到应急处置效能.央视 315 晚会连续五年曝光消防产品制假售假产业链,揭示灭火器压力不足、消防水带爆裂等质量问题屡禁不止,呈现高发态势.2024 年市场监管总局抽查显示,消防产品全国监督抽查不合格率为 7.3%^[1],暴露出传统消防产品质量追溯体系存在深层次缺陷.

一方面,现有消防产品身份信息管理系统作为国内仅有的消防产品追溯系统,完全依赖于中心化数据库;生产企业、检测机构与监管部门之间存在数据孤岛;关键信息易被篡改或隐匿.这种碎片化管理模式为假冒伪劣产品提供了生存空间,使得通过回收翻新、套牌贴标等非法手段流入市场的“问题消防产品”难以被及时识别.

另一方面,消防产品全生命周期涉及生产、流通、使用、维护等多个环节,传统的人工记录与纸质档案难以实现动态化、透明化的全程监管.特别是流通环节中经销商资质审核漏洞与使用环节的维护记录缺失,追溯信息从生产企业到达一级经销商后就无法向下游追溯,直接导致质量追溯链条断裂,严重制约了消防产品的溯源效率与责任认定精度.因此,亟需构建可信、高效、协同的消防产品质量追溯体系.

区块链技术是一种分布式账本技术,具有去中心化、数据不可篡改、不可伪造的特性^[2];可以有效降低个人和组织建立、维护信任的成本^[3],让没有信任关系的人们在无中心化信任机构的情况下合作^[4];联盟链作为区块链的重要形态,由多个预选节点共同维护,在保证隐私的同时实现多方协同^[5];智能合约是部署在区块链上可自动执行的数字化协议,为区块链增添了可编程属性,为实现可编程社会提供可能^[6].基于以上区块链相关技术的特性,为构建可信、高效、协同的消防产品质量追溯体系提供了创新路径.区块链技术已在食品安全、药品监管、市场监管等领域的供应链溯源场景中成功应用.例如:2018 年,廖秋雯^[7]以高端进口领带为例,设计一个基于区块链技术的商品溯源系统方案,并实现了领带商品溯源的原型系统;2019 年,刘津^[8]比较了三种常用的区块链技术平台,选择适用于追溯系统应用的区块链平台,设计了

基于区块链的产品质量追溯技术方案;2020 年,史亮^[9]提出了基于区块链+物联网的果蔬供应链追溯体系,解决了果蔬农产品供应链监管的问题;杨宝亮^[10]设计并实现了一种基于区块链技术的供应链追溯系统,解决了传统供应链追溯系统中的信息透明性和数据篡改等问题.在消防行业,区块链技术的应用尚处于探索阶段,2021 年,俞峰^[11]提出构建基于区块链技术的消防产品追溯系统,并对构建系统的必要性和可行性进行了分析.2023 年,李文艳^[12]分析了消防技术服务机构工作现状、存在问题、追溯技术的可行性等,对基于区块链技术的消防技术服务机构执业追溯平台进行探索,针对平台选择、平台的功能和架构进行初步设计.现有研究多聚焦于单一技术环节或局部场景,缺乏面向消防产品全生命周期管理的系统性框架设计,尤其在跨主体协同机制、隐私保护与监管合规等关键问题上仍存在不足.

本文以“区块链+消防产品质量追溯”为研究对象,构建一套覆盖生产、流通、使用、监管全流程的追溯管理体系,旨在通过区块链技术打通消防产业链数据壁垒,利用智能合约自动执行消防产品质量追溯规则,降低人为干预风险.同时设计兼顾隐私与透明的数据共享机制,平衡企业商业秘密与公众知情权,并探索符合消防行业特性的联盟链治理模型,为监管部门提供实时、可信的决策支持.

1 消防产品质量追溯区块链架构体系设计

1.1 基于 Fisco Bcos 的消防产品质量追溯联盟链构建

典型且应用比较广泛的区块链技术平台包括 Ethereum、Solana、Hyperledger Fabric 和 Fisco Bcos 等,但由于消防产品质量追溯数据的自主可控和保密的要求,Fisco Bcos 在隐私保护、国密算法支持、自主可控等方面具有更大的优势.基于消防产品质量追溯的应用场景要求,最终选定 Fisco Bcos 作为底层技术平台.

Fisco Bcos 采用微服务模块化设计架构,其系统架构主要包含接入层、调度层、计算层、存储层和管理层五个功能层级^[13].Fisco Bcos 系统架构如图 1 所示.

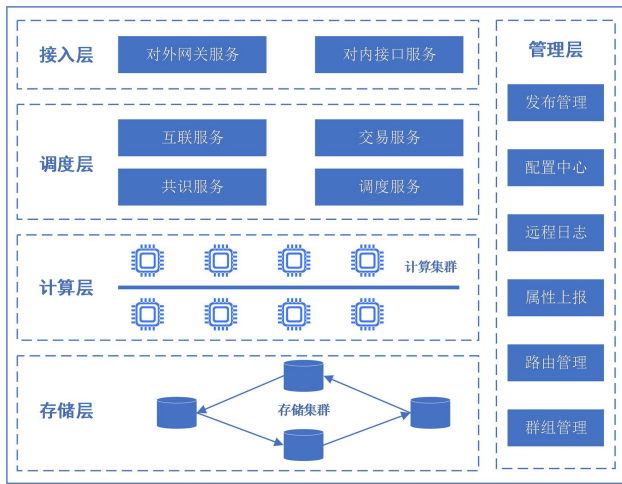


图 1 Fisco Bcos 系统架构

Fig.1 Fisco Bcos system architecture

接入层作为系统的基础通信模块,主要承担区块链网络的连接功能,具体由对外网关服务和对内接口服务两个核心组件构成.在联盟链架构中,对外网关服务负责机构间的安全认证与通信接入,而对内接口服务则为机构内部客户端提供标准化的访问接口.这两个服务组件均支持水平扩展、多活部署和负载均衡机制,可确保系统的高可用性.

调度层作为系统的核心控制单元,承担着区块链网络的运行调度职能.该层级由互联服务、交易服务、共识服务、调度服务等关键模块组成.其中,互联服务模块负责与接入层进行数据通信和消息分发;交易服务模块执行交易接收、签名验证及缓存淘汰等核心功能;共识服务模块则负责交易排序、区块打包及分布式一致性验证;调度服务模块通过并行化处理机制实现交易验证的高效执行,是提升系统吞吐量的关键所在.

计算层作为交易验证的核心执行单元,主要负责将交易解码并提交至合约虚拟机执行,最终生成交易执行结果.鉴于智能合约系统的交易验证过程具有较高的计算复杂度,该层级采用集群化架构实现并行化验证,有效提升了系统的整体性能.

存储层作为数据持久化模块,负责交易数据、区块数据及账本状态的存储管理.为应对海量数据的存储需求,该层级采用分布式存储集群架构,并整合了TiKV等成熟的分布式存储组件,实现了存储容量的弹性扩展.

管理层作为系统的可视化管控平台,提供配置中心、远程日志、路由管理等核心管理功能.该层级基于Tars开源微服务框架构建,充分利用了Tars-Framework成熟的管理组件,实现了系统的高效运维管理.

1.2 消防产品质量数据采集与数据上链

区块链存储主要采用单链结构或“主链+侧链”架构,这两种架构均以主链形式存储消防产品供应链各环节的可追溯数据.然而,随着使用时间的增加,可追溯数据量持续增长,导致区块链存储容量需求不断扩大,进而降低系统性能.为解决这一问题,本文采用“链上+链下”混合存储机制,以增强系统柔性并缓解数据量爆炸带来的压力.

“链上”数据存储以实时数据存储与智能合约生成为主,以消防产品质量关键信息为存储对象,例如消防产品生产信息、流通信息、报警信息、故障处置信息等为主,具有实时性特征.“链下”存储采用中国信息通信研究院建设的工业互联网标识解析二级节点与“星火链”为底座,支持来自“链下”数据采集设备数据与消防管理业务数据的暂存与备份.

星火链是采用许可公有区块链技术打造的区块链标识基础设施(Blockchain Identifier inInfrastructure, BIF),采用“主链+子链”的链群架构^[14],具有极高的安全性和权威性.数据采集设备数据包括火灾报警系统、消防疏散系统等物联采集数据;消防管理业务数据则包含消防产品在使用过程中所产生的消防产品巡检检查数据、维保维修数据等.“链下”存储时,将对数据采集设备海量实时数据及消防产品巡检检查数据、维保维修数据进行数据清洗与数据整理,并设定每晚向链上进行一次数据备份和联盟链智能合约的生成.

此外,现有基于区块链的消防产品追溯系统普遍存在柔性及可扩展性不足的问题.传统区块链采用顺序执行方式,要求所有节点按顺序执行智能合约,严重限制了系统的可扩展性与性能.为此,本系统引入模块化设计方法,通过业务隔离实现高内聚、低耦合的设计思想,从而提升系统柔性及可扩展性.通过对比公有链、联盟链与私有链的特性,本系统最终采用联盟链架构进行开发.区块链数据管理模型如图2所示.

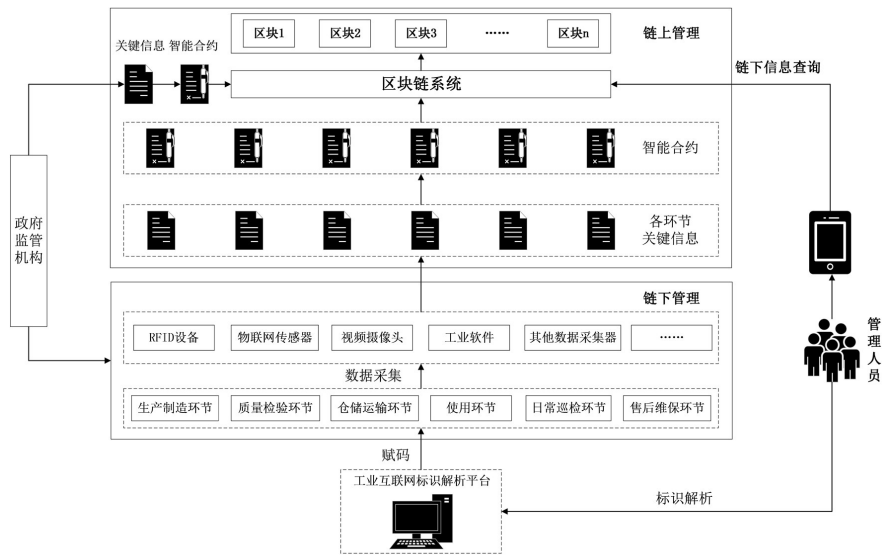


图 2 区块链数据管理模型

Fig.2 Blockchain data management model

2 消防产品质量追溯系统架构设计

2.1 总体架构

基于区块链的消防产品质量追溯体系建设仍以政府为主导,通过行业协会与民间组织的协同推动,逐步将生产制造、质量检验、仓储运输、消防产品流通、日常巡检及售后维保等全生命周期环节的相关企业纳入系统,最终构建面向政府部门与消费者的分布式实时查询追溯体系.该体系的核心架构设计依托工业互联网标识解析体系,为消防产品生成唯一标识,并通过该标识实现全生命周期关键信息的采集与上链存储.

政府监管部门主导在各环节企业中部署区块链存储模块,追溯信息一经上传即在各模块间实现共享存储.各环节主体单位通过工业互联网标识解析平台,输入消防产品的生产、物流、质量、巡检及维保等关键信息,从而实现生产制造企业节点、运输企业节点、政府监管节点及消费者节点之间的互联互通.该架构不仅为消费者提供便捷的查询服务,也为监管部门提供高效的监管支持.消防产品质量追溯体系的总体架构如图 3 所示.

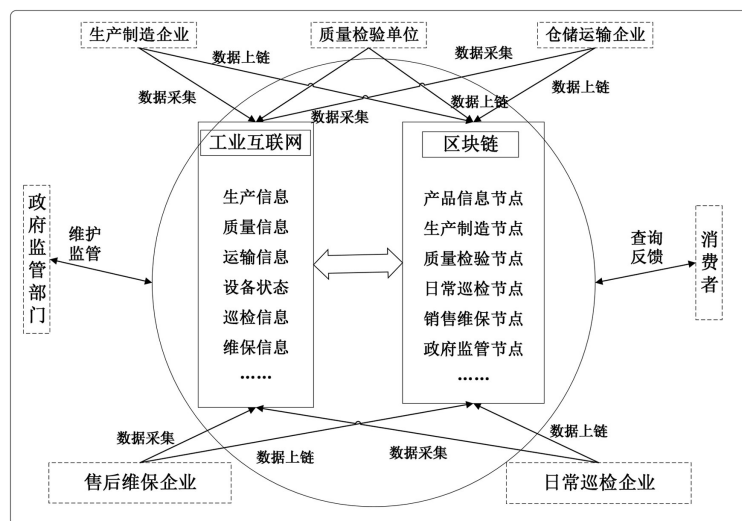


图 3 消防产品质量追溯总体架构

Fig.3 Overall architecture of fire protection product quality traceability

2.2 系统层次架构

在本文中,我们建立了一个基于 Fisco-Bcos 和工业互联网标识解析的消防产品质量追溯系统,主要包括了数据采集层,数据层,网络层,共识层,存储层,应用层及交互层.系统架构如图 4 所示.

数据层负责溯源数据的存储、验证、共享、分析与交易.其中,部分数据存储于传统关系型数据库中,另一部分图片数据则通过数据摘要、非对称加密、哈希算法及数字证书等技术处理,将特定时间段内的交易数据与代码封装至带有时间戳的数据区块中,并链接至当前最长的主区块链,形成最新的区块.网络层是区块链技术体系的核心组成部分,主要负责节点间的通信与数据传输,确保信息在网络中的高效传递与同步.存储层采用分布式区块链账本替代传统的中心化数据库,常用的区块链账本包括以太坊和超级账本等.分布式存储有效解决了传统消防产品溯源体系中数据集中化带来的问题,提升了系统的安全性与可靠性.应用层作为系统与用户的交互界面,采用网页形式为用户提供操作平台,便于用户上传消防产品相关

数据.同时,系统将上传的信息转化为区块链数据并存储,实现数据的可追溯性与透明性.

在区块链中,各节点需通过数据复制与同步来维护系统的一致性,这一过程称为共识.常用的共识算法包括 PoW、PoS、DPoS、PBFT 以及超级账本特有的 Kafka 消息队列共识机制.PBFT 算法则是一种经典的拜占庭容错算法,它能够在部分节点出现故障或恶意行为的情况下,仍然保证系统的一致性和正确性.它通过多个阶段的投票过程来达成共识,具有较高的效率和低延迟的特点,尤其适用于联盟链场景,因为联盟链中的节点数量相对有限且可信任度较高.而超级账本特有的 Kafka 共识机制,它借助 Kafka 消息队列系统来实现对交易的排序和共识.Kafka 作为一种高吞吐量、分布式的消息队列系统,能够有效地处理大量的交易请求,按照顺序将交易发送给各个记账节点进行验证和记录,从而确保了整个区块链系统的数据一致性.这种机制在超级账本的架构中发挥着独特的作用,适合于需要处理大规模交易且对顺序有要求的场景.



图 4 消防产品质量追溯系统架构

Fig.4 Fire protection product quality traceability system architecture

消防产品质量追溯管理系统采用了 PBFT 共识算法以及 Kafka 共识机制。PBFT 算法在该系统中能够确保各个参与节点在记录消防产品信息时,即使存在部分节点出现故障或异常行为,也能够准确无误地达成共识,保证消防产品质量数据的真实性和完整性。而 Kafka 共识机制则可以高效地处理大量的消防产品追溯数据,按照交易发生的顺序进行排序和传递,使得各个节点能够快速、准确地同步数据,从而实现消防产品质量从生产源头到最终使用环节的全流程追溯,为保障消防产品质量数据监控和追溯、维护市场秩序提供了有力的技术支撑。

该架构设计实现了从用户到数据处理的全流程覆盖,旨在为消费者及消防产业链相关方提供一个安全、可靠且易于访问的溯源平台。

3 基于区块链技术的消防产品质量追溯功能应用设计

长期以来,消防行业消防产品的真伪依赖于消防产品合格评定中心消防产品身份信息管理系统查询,而消防产品合格评定中心的消防产品质量评价仅仅依赖于生产商提供的送检样品,导致消防产品身份信息管理系统查询时,检测报告也仅仅对送检样品负责。在实际生产、销售流通、使用过程中,检测报告无法一一对应实际产品,导致假冒伪劣产品充斥消防行业,消费者和使用者对消防产品质量已形成严重的信任缺失问题。

区块链技术在消防产品质量追溯领域的应用为解决行业长期存在的数据孤岛、信息篡改和追溯效率低下等问题提供了创新路径。通过构建多方参与的分布式账本系统,该技术可将生产商、经销商、使用单位和消防部门等主体的数据实时上链,形成多节点交叉验证机制。该机制事实上从多方协调监管的角度,为消防行业产业链条的所有参与者,提供了一个信息共享机制,让任何一方均能够在区块链上查看等同数据,实现了消防产品质量数据的共知、共享和共同监督,从而形成政府监管与社会监管并举的良好局面。

在消防产品生产企业端,结合物联网技术,在生产线上部署温湿度传感器、计量传感器、RFID 标签感应设备等传感器,以及在灭火药剂灌装设备、流水线现场控制器上接入数据采集装置等,能够动态采集从

原材料采购到终端使用的全流程数据,如焊接温度、组装精度、生产数量、灌装重量、灭火剂配方等关键参数;在质量检验环节,通过质量检验设备设施的数据同步和工业互联网标识解析标签的生成和粘贴,实时同步数据至区块链平台,有效杜绝人为干预工艺参数和质量检验数据的行为。

在供应链管理方面,区块链通过存证供应商资质文件和产品质量文件,构建可信溯源体系,同时为每件消防产品生成唯一数字身份标识。消费者扫码即可追溯产品全生命周期信息并验证真伪。该机制在跨区域联防联控中尤为突出,基于联盟链架构可实现不同地区监管部门的数据互通,当某批次防火涂料因运输问题失效或发现伪劣产品时,可快速定位产品流向。智能合约的引入则进一步强化了质量管控,通过预设灭火器压力标准等质量阈值,系统能在检测数据异常时自动触发预警并冻结问题产品,较传统人工处理极大地缩短了响应时间。

在消防产品最终用户使用环节,使用单位用户可以通过区块链信息追溯产品生产信息、产品流通信息、产品安装信息等;同时,通过扫码的方式实现使用过程的消防产品巡检、检查、维保、维修信息的区块链上存证。进一步补充和强化了消防产品在使用过程中的使用信息上链和存证。

在售后监管环节,区块链记录设备维修记录与使用状态的特性为责任认定提供可靠依据,可精准区分生产缺陷、操作不当或伪劣产品导致的故障。当需要启动应急召回时,智能合约可自动匹配问题产品的终端用户信息,通过多渠道通知实现精准召回。

4 结论

区块链与物联网技术的深度融合,通过联盟链架构(Fisco Bcos)实现多方主体协同,利用智能合约自动化执行质量信息存证规则,显著降低数据篡改风险,阻断伪劣产品的生产与流通链路,并提升跨部门协作效率。“链上+链下”混合存储机制有效缓解区块链存储压力,模块化设计增强系统柔性,支持动态扩展与业务隔离,为应对大规模伪劣产品追溯提供技术支撑。基于工业互联网标识解析的唯一数字身份体系,实现消防产品全生命周期数据实时上链,结合消费者扫码溯源功能,精准识别伪劣产品,为召回与

责任认定提供可靠依据。

尽管技术潜力显著,但当前实际应用层面还面临着一定的局限性。在消防产品生产端,生产线物联网设备部署成本高,中小型企业信息化基础薄弱是当前推动区块链技术在消防产品质量追溯体系构建的难点。而这些难点集中体现在当前消防行业尚未构建起一套针对消防产品质量追溯的统一技术标准体系,以及如何解决中小企业信息化建设的成本分摊机制。

在未来,基于区块链技术的消防产品追溯体系的持续研究可在以下几个方面展开工作:一是持续研究基于物联网技术的生产企业数字化和智能化转型;二是通过多方共建全消防行业通用的消防产品质量追溯公共服务平台;三是利用人工智能技术在推理和图像识别方面的技术优势,围绕消防产品质量智能判决和质量预警进行探索和研究。

参考文献

- [1] 国家市场监督管理总局:去年消防产品全国监督抽查不合格率为7.3%_中国政库_澎湃新闻-The Paper[EB/OL].(2025-01-24)[2025-05-06].https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_30016613.
- [2] 袁勇,王飞跃.区块链技术发展现状与展望[J].自动化学报,2016,42(4):481-494.
- [3] RABEHAJA T, PAL S, HILL A, et al. A blockchain-based approach for parametric insurance under multiple sources of truth[J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2024, 17(3): 718-732.
- [4] MAMASSIAN P, DE GARDELLE V. Modeling perceptual confidence and the confidence forced-choice paradigm[J]. Psychological Review, 2022, 129(5): 976-998.
- [5] 郝建民.基于联盟链的学习数据存储系统分析[J].科技视界, 2021(36): 29-30.
- [6] YUAN Y, WANG F Y. Blockchain and cryptocurrencies: Model, techniques, and applications[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2018, 48(9): 1421-1428.
- [7] 廖秋雯.基于区块链技术的商品溯源方案研究[D].华南理工大学, 2018.
- [8] 刘津.基于区块链的产品质量追溯服务平台的研究与实现[D].西安:西北大学, 2019.
- [9] 史亮.基于区块链+物联网的果蔬农产品供应链追溯体系研究[D].泰安:山东农业大学, 2020.
- [10] 杨宝亮.基于区块链技术的供应链追溯系统设计与实现[J].信息与电脑, 2025, 37(1): 74-76.
- [11] 俞峰,陈星.基于区块链技术的消防产品追溯系统模型研究[J].武警学院学报, 2021, 37(2): 21-25.
- [12] 李文艳.基于区块链技术的消防技术服务机构执业追溯平台研究[J].中国人民警察大学学报, 2023, 39(4): 52-56+61.
- [13] 高琪娟,蒋道臻,乐阳,等.基于Fisco-Bcos联盟链技术的农产品溯源系统设计与实现研究[J].安徽农业大学学报, 2024, 51(03): 530-536.
- [14] 谢家贵,李海花.区块链与工业互联网协同发展构建新基建的思考[J].信息通信技术与政策, 2020(12): 38-45.

(责任编辑:肖丽,殷锋,付强,张阳,和力新;英文编辑:周序林,郑玉才)