

区块链赋能的建材质量溯源系统设计与实现

李艳秋¹, 李海红²

¹ 枣庄市台儿庄区综合行政执法局 山东 枣庄
² 甘南拉卜楞仿古建筑工程有限公司 甘肃 甘南

【摘要】 区块链赋能的建材质量溯源系统旨在解决传统建材溯源中数据易篡改、信息不透明等问题。系统依托区块链分布式账本、不可篡改等特性, 构建从原材料采购到施工应用的全流程溯源体系。通过智能合约自动执行数据录入与验证, 实现各环节信息实时上链, 确保数据真实可靠。结合物联网技术采集关键节点数据, 打通生产、运输、仓储等环节的信息壁垒, 提升溯源效率。该系统可有效降低建材质量风险, 为监管部门提供可靠依据, 保障建筑工程安全, 具有较强的实践价值与应用前景。

【关键词】 区块链; 建材质量; 溯源系统; 数据安全; 全流程管理

【收稿日期】 2025 年 6 月 14 日

【出刊日期】 2025 年 7 月 15 日

【DOI】 10.12208/j.sdr.20250125

Blockchain-enabled building materials quality traceability system design and implementation by

Yanqiu Li¹, Haihong Li²

¹Zaozhuang City Taierzhuang District Comprehensive Administrative Law Enforcement Bureau, Zaozhuang, Shandong
²Gannan Labrang Ancient-style Construction Engineering Co., Ltd. Gannan, Gansu

【Abstract】 The blockchain-powered building materials quality traceability system addresses critical challenges in traditional material tracking, including data tampering and information opacity. Leveraging the distributed ledger and immutable nature of blockchain technology, it establishes a comprehensive traceability framework spanning from raw material procurement to construction application. Through smart contract-driven data entry and verification mechanisms, the system ensures real-time blockchain integration of operational data, guaranteeing authenticity and reliability. By integrating IoT-enabled data collection at key nodes, it breaks down information silos across production, transportation, and warehousing processes, significantly enhancing traceability efficiency. This system effectively mitigates material quality risks, provides regulatory authorities with reliable evidence, safeguards construction project safety, and demonstrates substantial practical value and application potential.

【Keywords】 Blockchain; Building materials quality; Traceability system; Data security; Full-process management

引言

建材质量直接关系到建筑工程安全与民生福祉, 传统溯源模式依赖中心化数据库, 存在数据被篡改、责任难以追溯等问题, 导致质量隐患频发。市场对透明、可信的溯源体系需求迫切, 而区块链技术的特性为解决这些问题提供了新思路。构建基于区块链的建材质量溯源系统, 可实现信息全程可追溯, 明确各环节责任, 提升行业监管水平, 此即研究的核心目的。

1 建材质量溯源现存问题分析

在传统的建材质量溯源体系中, 数据存储架构普遍呈现出显著的中心化特征。核心数据库通常被集中部署在单一的服务器上, 或者仅仅分布在少数几个数据中心内。这种中心化的数据存储架构虽然在一定程度上便于数据的集中管理和维护, 但同时也使得整个系统的运行高度依赖于中心节点的稳定性。一旦中心节点遭遇自然灾害、网络攻击或硬件故障等不可预测的因素, 就极易引发数据丢失或服

务中断的问题,从而导致整个建材质量溯源系统陷入瘫痪状态。在这种中心化存储模式下,数据的修改权限被高度集中,这使得操作人员有可能利用管理上的漏洞对关键信息进行篡改。特别是在建材生产批次的记录、质量检测的结果等核心数据环节,人为的干预可能会导致数据失真,从而严重削弱了溯源信息的可信度。这种人为干预不仅可能影响到建材的质量评估,还可能对整个建材供应链的安全性和可靠性造成潜在的威胁。

各参与主体间的数据孤岛问题加剧了建材质量溯源的复杂性。生产企业、物流运输商、质量监管部门及终端用户分属不同业务系统,各主体根据自身需求构建独立的数据管理平台。生产环节的原材料采购记录、加工工艺参数与物流环节的运输路径、仓储环境数据相互隔离,监管部门需协调多方进行数据对接,流程繁琐且耗时^[1]。由于缺乏统一的数据标准与共享机制,不同平台的数据格式、编码规则存在差异,跨系统数据整合难度大,使得溯源流程效率低下,难以满足快速响应需求。

建材质量溯源链条的完整性缺失与信息透明度不足形成恶性循环。部分企业出于成本控制或商业利益考量,选择性记录生产过程中的关键数据,尤其是涉及质量风险的环节,如原材料不合格处理、生产工艺偏差调整等信息常被隐匿。这种不完整的记录方式导致质量问题发生时,难以追溯到具体责任环节与主体。消费者与监管部门无法获取生产流程的完整数据,难以对建材质量进行全面评估^[2]。市场中普遍存在的信息不对称现象,不仅损害消费者权益,也削弱了行业监管的有效性,阻碍建材行业健康发展。

2 区块链技术在溯源中的适配方案

区块链的分布式账本架构为建材质量溯源提供了全新的数据存储范式。与传统中心化存储不同,溯源数据不再依赖单一服务器,而是通过网络节点进行分布式存储。每个节点均保存完整的账本副本,数据同步更新机制确保各节点信息一致。这种去中心化的存储方式极大降低了单点故障风险,即便部分节点遭受攻击或损坏,其他节点仍可正常运行,保障数据的完整性与系统的连续性。数据分散存储削弱了人为篡改的可能性,因为篡改行为需同时控制网络中超过半数的节点,在实际应用中几乎无法

实现。

哈希算法与链式数据结构的结合为建材溯源数据提供了强大的安全保障。建材生产、运输、销售各环节产生的数据,经哈希函数运算生成唯一的哈希值,并记录于区块链的对应区块中。哈希函数的单向性与敏感性确保原始数据无法逆向推导,且任何数据变动都会导致哈希值改变^[3]。若攻击者试图篡改某一环节数据,该区块及其后续所有区块的哈希值都会发生变化,这种连锁反应会立即被其他节点检测到,从而拒绝接受修改后的数据,保证了溯源信息的真实性与不可篡改性。各区块之间通过哈希值首尾相连,形成不可逆的链式结构,进一步强化了数据的安全性。

智能合约与联盟链架构的引入实现了建材溯源流程的自动化与可控化。智能合约是部署在区块链上的自动执行程序,可将建材质量标准、数据录入规则等业务逻辑以代码形式写入合约。当建材进入新的环节,如完成生产、进入物流运输等,触发合约预设条件后自动执行数据验证、上链操作,减少人工干预带来的错误与舞弊风险^[4]。联盟链架构则为建材行业各方主体提供了安全可信的协作平台,由行业协会、监管部门、大型企业等共同组成节点,通过权限分级管理机制,不同主体被赋予相应的数据访问与操作权限。这种架构既保证了关键信息在授权范围内共享,又保护了企业商业机密,实现行业数据的高效协同与安全流转。

3 系统功能模块与实现路径

数据采集模块作为建材质量溯源系统的基础,构建了现实物理世界与区块链数字世界的桥梁。通过部署各类物联网设备,如传感器、RFID 标签等,实现对建材全生命周期数据的实时、精准采集。在原材料采购环节,传感器可监测矿石成分、化学添加剂配比等数据;生产过程中,设备能记录窑炉温度、压力变化、加工时长等工艺参数;运输与仓储阶段,温湿度传感器、GPS 定位设备可采集环境条件与运输轨迹信息。这些数据经边缘计算设备初步处理,去除冗余信息后,通过加密通道上传至区块链,确保数据源头可追溯、过程防篡改,为后续溯源查询与质量分析提供可靠依据。

信息查询模块以用户需求为导向,打造便捷高效的溯源信息获取入口。系统为每件建材分配唯一

标识,如二维码、RFID 编码等,用户可通过移动端 APP 或 PC 端平台扫描或输入标识,一键查询建材全链条溯源信息。查询结果以时间轴形式呈现,涵盖生产企业资质证书、原材料供应商信息、生产工艺流程图、质量检测报告、物流运输记录等关键数据^[5]。系统支持多维度筛选与条件检索功能,监管部门可按批次、地域、时间范围等条件快速定位目标建材,进行质量抽检或问题追溯;消费者则能直观了解产品从原料到成品的完整历程,增强对产品质量的信任。查询界面设计遵循易用性原则,确保不同操作水平的用户均可轻松使用。

智能合约模块与共识机制协同保障了系统的自动化运行与数据一致性。智能合约内置严格的质量标准判定规则,将采集到的实时数据与预设标准进行自动比对,一旦发现原材料成分超标、生产工艺参数异常或运输环境不达标等情况,立即触发预警机制。预警信息同步推送至生产企业、监管部门及相关责任主体,便于及时采取纠正措施,防止质量问题扩大。在共识机制方面,系统采用实用拜占庭容错算法(PBFT),该算法在保证安全性的前提下,通过减少节点间通信复杂度,提高数据处理效率^[6]。各节点在交易验证、区块生成过程中遵循统一规则,快速达成共识,确保全网数据同步一致,保障系统稳定运行。

4 系统应用效果与优化方向

基于区块链的建材质量溯源系统投入试运行后,显著提升了行业信息处理效率与监管效能。传统模式下,建材质量追溯需多方协调、数据整合,流程繁琐且耗时,而新系统实现了全链条信息的即时调取与共享。用户提交溯源查询请求后,系统可迅速整合各环节数据并反馈结果,大幅缩短信息获取时间,有效提升了市场响应速度。区块链的加密特性与不可篡改功能构筑起强大的安全防线,试运行期间所有数据篡改尝试均被系统自动拦截,保障了溯源信息的真实性与权威性,增强了市场各方对数据的信任度。

系统在推动数据共享与提升监管效率方面成效显著。通过联盟链架构,生产企业、物流商、监管部门等实现了数据的互联互通,各环节数据上链率达到较高水平,打破了传统模式下的信息孤岛。监管部门可实时获取建材全生命周期数据,对生产、流

通环节进行动态监管,及时发现并处理潜在质量问题。相比于以往依赖企业主动上报或抽样检查的监管方式,新系统实现了监管范围全覆盖与监管过程透明化,显著提升了执法效率与精准度^[7]。消费者也可通过系统便捷查询产品信息,增强了对建材产品的质量把控能力,促进了市场良性竞争。

尽管系统取得了阶段性成果,但在实际应用中仍面临诸多挑战,需进一步优化完善。物联网设备采购、安装与维护成本较高,成为制约中小企业接入系统的主要障碍,尤其对于利润空间有限的小型建材企业,高昂的硬件投入难以在短期内获得回报。部分企业对数据共享存在顾虑,担心商业机密泄露,影响市场竞争力,导致参与积极性不足^[8]。不同行业的溯源系统采用不同的区块链技术架构,数据标准与协议不统一,阻碍了跨行业数据交互与协同监管。未来需从降低硬件成本、完善激励机制、推动跨链技术应用等方面着手,持续优化系统功能,扩大应用范围,实现建材质量溯源体系的全面升级。

5 结语

区块链赋能的建材质量溯源系统通过技术创新解决了传统模式的诸多痛点,实现了建材全生命周期信息的可信追溯,为行业监管与质量保障提供了有效手段。未来,随着技术不断成熟,系统将进一步优化性能,降低应用成本,推动更多市场主体参与。跨链融合与人工智能的结合,有望拓展系统功能边界,形成覆盖更广、效率更高的溯源生态,助力建材行业向高质量、可持续方向发展。

参考文献

- [1] 浦琳琳,顾建民.“区块链+块数据”赋能大学共同治理的逻辑与路径[J].中国远程教育,2025,45(07):115-128.
- [2] 孟雪,张俊珍.“链”接未来:区块链赋能竞技体育新生态的构建与发展研究[J].体育世界,2025,(06):26-30.
- [3] 晏华.基于建材溯源“一码通”的全品类建材质量全生命周期监管技术[J].建设监理,2025,(05):70-75.
- [4] 曹燕飞,孙国玲.区块链技术及其赋能山东省特色农业发展的建议[J].现代农业科技,2025,(05):174-178.
- [5] 黄春燕.基于区块链技术的职业教育产教融合资源共享模式及协同体系研究[J].天津职业大学学报,2025,34(01):37-42+64.

- [6] 谢晓伟,陈红.区块链技术赋能职业教育产教融合的机制与路径研究[J].中国多媒体与网络教学学报(中旬刊), 2025, (02):1-4.
- [7] 张鑫瑜,石亮亮,曹虎威.区块链技术赋能供应链金融发展研究[J].物流科技,2025,48(02):141-143+160.
- [8] 金季岚.基于区块链的建材质量溯源管理体系研究[J].福

建建设科技,2022,(01):110-113.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS