

基于区块链技术的建筑工程监理数据溯源与信任机制构建

袁勇

九江市建设监理有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i9.8389

[摘要] 针对建筑工程监理领域数据真实性存疑、责任追溯困难、多方信任缺失等行业痛点，本文提出基于区块链技术的监理数据溯源与信任机制解决方案。通过分析区块链去中心化、不可篡改、可追溯的技术特性与监理工作全生命周期的适配性，构建“感知层—网络层—共识层—应用层”四级系统架构，设计涵盖数据采集、上链、追溯的标准化流程，建立以智能合约为核心的自动化信任机制。结合雄安新区区块链监理系统实践案例，验证该机制在提升数据可信度、强化责任落实、优化协同效率方面的成效。研究表明，区块链技术可使监理数据可信度达到 100%，问题整改闭环率提升至 98% 以上，为工程质量管理数字化转型提供技术支撑。

[关键词] 区块链；建筑工程监理；数据溯源；信任机制；智能合约

Construction project supervision data traceability and trust mechanism based on blockchain technology

Yuan Yong

Jiujiang Construction Supervision Co., Ltd.

[Abstract] In response to industry pain points such as doubts about the authenticity of data in the field of construction engineering supervision, difficulties in tracing responsibility, and lack of trust from multiple parties, this article proposes a solution for supervision data traceability and trust mechanism based on blockchain technology. By analyzing the decentralized, tamper proof, and traceable technical characteristics of blockchain and its adaptability to the entire lifecycle of supervision work, a four level system architecture of "perception layer network layer consensus layer application layer" is constructed. A standardized process covering data collection, on chain, and traceability is designed, and an automated trust mechanism with smart contracts as the core is established. Based on the practical case of the blockchain supervision system in Xiong'an New Area, verify the effectiveness of this mechanism in improving data credibility, strengthening responsibility implementation, and optimizing collaborative efficiency. Research has shown that blockchain technology can increase the credibility of supervision data to 100% and improve the closed-loop rate of problem rectification to over 98%, providing technical support for the digital transformation of engineering quality management.

[Key words] Blockchain; Construction project supervision; Data traceability; Trust mechanism; smart contract

一、引言

（一）研究背景

建筑工程监理作为工程质量安全的核心保障环节，承担着

施工过程监督、质量验收、责任认定等关键职能。然而传统监理模式下，数据记录依赖人工纸质台账或中心化系统，存在三大突出问题：一是数据真实性难以保障，纸质资料易篡改、电

子数据可伪造，混凝土强度检测、钢筋间距实测等关键数据常出现“阴阳报告”；二是责任追溯链条断裂，隐蔽工程验收、工序交接等环节缺乏可信记录，事故发生后多主体相互推诿；三是多方信任成本高昂，建设、施工、监理、检测单位间信息不对称，需依赖第三方中介机构验证，导致沟通效率低下、争议频发。

随着《“十四五”建筑业发展规划》提出“加快智能建造与新型建筑工业化协同发展”，区块链技术凭借其分布式信任特性，为破解监理行业困境提供了新路径。雄安新区等试点项目已通过区块链监理系统实现 7140 万条数据上链，使安全事故发生率下降 28%，验证了技术应用价值。

（二）研究现状

当前学界对工程数据管理的研究多聚焦于 BIM、物联网等技术的应用，如基于 BIM 的三维质量追溯模型构建，但忽略了数据本身的可信度保障。区块链在工程领域的研究则集中于供应链管理、合同履行等场景，针对监理数据溯源的系统性研究较少。金锄头文库的研究指出，区块链通过共识机制与加密技术可解决工程项目信息不对称问题，但未涉及监理数据全生命周期的技术适配方案。豆丁网提出区块链与物联网融合的质量追溯框架，但缺乏信任机制的具体设计路径。因此，亟需构建适配监理工作特性的区块链应用体系。

二、区块链技术与建筑监理的适配性分析

（一）区块链核心技术特性

区块链是一种分布式账本技术，其核心特性与监理需求高度契合：

去中心化：通过分布式节点存储数据，取代传统中心化监理平台，避免单点故障与数据垄断，建设、施工、监理等多方可同步获取可信数据。

不可篡改：采用 SHA-256 哈希算法对数据加密，每笔记录与前一区块关联形成链式结构，修改单节点数据需重构后续所有区块，成本极高，确保监理记录的真实性。

可追溯性：数据附带时间戳与节点签名，从材料进场、工序施工到验收归档的全流程可逆向追溯，实现“来源可查、去向可追、责任可究”。

智能合约：将监理规范、验收标准编码为自动执行程序，当实测数据满足预设条件（如混凝土强度达标）时，自动触发验收通过流程，减少人为干预。

（二）监理工作的区块链技术需求

监理工作全生命周期对技术存在明确需求：在施工准备阶段，需验证材料供应商资质与材料批次信息，区块链可对接 GB/T20578 编码体系实现供应链透明化；施工阶段需实时采集隐蔽工程影像、检测数据，区块链与物联网的融合可确保数据采集即上链；验收阶段需多方确认结果，共识机制可实现分布式验证；运维阶段需关联施工数据排查故障，链式存储可提供完整追溯链条。

三、区块链监理数据溯源体系构建

（一）系统总体架构

基于区块链技术构建四级监理数据溯源架构（见图 1），实现数据全生命周期可信管理：

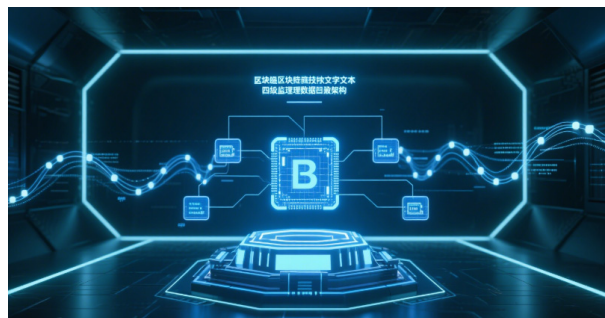


图 1

感知层：数据采集入口，集成物联网传感器（钢筋间距检测、混凝土温度传感器）、移动工作端（监理 APP）、无人机与 AR 设备，实现“拍照即记录、检测即上传”，确保数据来源真实可靠。

网络层：采用 5G + 边缘计算技术，解决工地弱网环境下的数据传输问题，实现高分辨率影像与 BIM 模型的实时同步，离线状态下数据先缓存后自动上链。

共识层：基于联盟链架构设计，仅授权参建方成为节点，采用实用拜占庭容错（PBFT）算法，通过 2/3 以上节点验证即可达成共识，兼顾安全性与效率，每秒可处理千级交易。

应用层：开发多端协同系统，包括管理层大屏驾驶舱（实时呈现 600 + 项目动态）、PC 管理端（13 项标准化履职台账）、移动端（问题一键上报与整改跟踪）。

（二）数据溯源标准化流程

数据采集与编码：按照“三维定位 + 量化描述 + 责任主体”标准采集数据，如隐蔽工程记录需包含“3 号楼 3 层 3 轴 C 轴梁底”定位信息、“钢筋间距 250mm（设计 200mm）”实测数据、“责任人李四”等要素。采用“日期 + 区域 + 序号”编码规则（如 20250915-3F-001），确保每条数据唯一可识别。

数据上链与加密：采集数据经哈希加密后生成区块，附带采集时间戳与采集人数字签名，通过智能合约自动同步至各节点。敏感数据采用 AES-256 算法加密，仅授权人员可解密查看。

数据追溯与核验：用户通过编码或关键词检索数据，系统展示完整追溯链条：材料批次→检测报告→施工记录→验收结果。点击任意节点可查看原始数据与签名信息，通过哈希值比对验证数据完整性。

四、区块链驱动的监理信任机制设计

（一）去中心化信任基石构建

通过联盟链节点布局实现信任去中心化：建设单位、监理单位、施工单位、检测单位各设验证节点，政府监管部门设监管节点。节点权限分级管理，监理日志、检测报告等核心数据需多方节点共同验证方可上链，避免单一主体操控数据。雄安新区项目通过该模式实现 3.9 万用户协同，日均活跃 3000 人，形成“人人都是监管者”的信任网络。

（二）智能合约自动化信任执行

将监理工作规范编码为智能合约，实现三大核心功能：

自动核验：预设验收标准参数，如混凝土 28 天强度需 $\geq$ C30，传感器采集数据达标后自动触发验收通过，生成电子凭证；未达标则触发整改流程，推送通知至施工责任人。

责任固化：工序交接时，施工方上传完工数据，监理方扫码核验，双方签名后智能合约自动记录责任主体，数据不可篡改，解决“口头交接”争议。

费用计量：基于链上考勤与验收数据，自动生成监理费用清单，如完成 10 次旁站监督则触发对应费用结算，避免“人情计量”。

（三）合规性与隐私保护机制

合规对接：系统与住建部“筑安”平台对接，自动上传电子化质量档案，符合《建设工程质量管理条例》数据留存要求，通过国家信息安全等级保护 2.0 认证。

隐私保护：采用零知识证明技术，在不泄露具体检测数据的前提下，向监管部门验证数据合规性，平衡透明度与隐私需求。

五、实践案例与成效分析

（一）雄安新区区块链监理系统实践

雄安集团联合迈道科技打造区块链监理管理系统，覆盖 600+ 工程项目，实现三大突破：

全流程在线化：监理人员通过移动端“拍照即记录”，问题响应时间从 3 天缩短至 2 小时，整改闭环率达 98.7%。

数据可信存储：累计上链 7140 万条数据，涵盖人员考勤、材料检测、问题整改等，链上数据可信度 100%。

协同效率提升：四方主体数据互通，完成 10 万次监理验收，计量争议归零。

（二）成效量化分析

质量管控成效：混凝土缺陷、土方回填等高频问题减少 45%，工程一次性验收通过率提升至 92%，安全事故发生率下降 28%。

效率优化成效：现场巡查次数超 561 万次，质量验收 101 万次，平均处理时间从 3 天压缩至 8 小时。

成本节约成效：减少人工台账制作与核查成本 60%，因质量问题导致的返工成本降低 15%-20%。

六、挑战与展望

（一）现存挑战的深入分析

技术适配挑战：当前区块链技术与建筑信息模型（BIM）、数字孪生等新兴技术的跨平台集成仍面临诸多困难，主要表现为底层架构兼容性不足、接口协议不统一等问题。各类技术平台采用差异化的数据存储格式和传输标准，导致多系统间数据交互存在障碍，严重制约了工程监理过程中的协同工作效率，增加了数据转换与集成的额外成本。

标准缺失挑战：建筑监理行业尚未建立系统化的区块链应用标准体系，特别是在数据上链环节缺乏统一的规范指导。不同监理项目采用各自独立的数据编码规则和智能合约逻辑设计，这种碎片化的标准应用不仅增加了系统对接难度，也阻碍了行业经验的积累与复用，难以形成规模化的区块链监理解决方案。

成本控制挑战：基于联盟链架构的监理系统需要部署多个验证节点以确保数据安全性，这种分布式架构带来了较高的硬件投入和运维支出。对于资金实力有限的中小型监理企业而言，前期的基础设施建设成本和持续的链上交易费用构成了显著的经济负担，制约了区块链技术在行业内的普及应用。

（二）未来发展的全面展望

技术融合创新：积极推进区块链与 5G 通信、边缘计算等前沿技术的深度融合，构建高响应速度的工程监理网络，实现施工质量数据的毫秒级采集与实时监控。同时深化与数字孪生技术的协同应用，通过建立全生命周期的虚拟溯源模型，动态可视化呈现工程质量的演变过程，为监理决策提供多维度的数据支撑。

标准体系建设：联合中国建筑业协会等权威机构，共同研制《建筑监理区块链数据规范》行业标准。该标准将系统规定监理数据的上链格式、统一编码规则、标准化合约模板以及可追溯的监理业务流程，为行业提供可复用的区块链应用框架，促进不同项目间的经验共享和技术迁移。

产业生态构建：打造开放共享的区块链监理云服务平台，采用软件即服务（SaaS）的运营模式，显著降低中小企业的技术使用门槛。通过整合设计、施工、监理等全产业链参与方，构建基于区块链的可信协同生态系统，实现工程数据的全流程可追溯和多方共治，最终提升建筑行业的整体质量管控水平。

七、结论

本文构建的基于区块链技术的监理数据溯源与信任机制，通过四级架构实现数据全生命周期可信管理，以智能合约推动信任自动化执行，有效解决了传统监理模式的数据篡改、责任不清、信任缺失等问题。雄安案例验证表明，该机制可显著提升工程质量管控水平与协同效率。未来需通过技术融合、标准建设与生态构建，进一步释放区块链技术价值，推动建筑工程监理从“人控”向“数控”转型，为智慧建造发展提供坚实支撑。

【参考文献】

- [1]黄俊锋. 基于区块链技术的建筑工程质量管理系统构建[J].住宅与房地产, 2025, (23): 86-88.DOI: CNKI: SUN: ZZFD.0.2025-23-026.
- [2]程成. 区块链技术在建筑工程项目管理中的应用研究[J].砖瓦, 2025, (07): 135-137+140.DOI: 10.16001/j.cnki.i.1001-6945.2025.07.034.
- [3]宗海波. 区块链技术在房屋建筑工程招投标活动中的应用[J].中国招标, 2025, (07): 71-73.DOI: CNKI: SUN: ZBZG.0.2025-07-018.
- [4]杨传鑫. 基于区块链的建筑工程材料质量监管和溯源研究[D].内蒙古科技大学, 2025.DOI: 10.27724/d.cnki.gnmkg.2025.000011.