

基于区块链技术的建筑工程监理数据可信存证与追溯机制研究

胡宇翔

441302*****6415

摘要: 建筑工程监理数据作为反映工程质量、进度与安全状态的核心载体,其真实性、完整性与可追溯性是保障工程顺利实施与各方权益的关键基础。传统监理数据管理依赖中心化数据库与人工记录,存在数据易篡改、责任难界定、追溯效率低等问题,难以满足现代建筑工程复杂性与透明化管理的需求。区块链技术凭借去中心化、不可篡改、可追溯及智能合约等核心特性,为监理数据的可信存证与高效追溯提供了创新解决方案。本文围绕基于区块链技术的建筑工程监理数据可信存证与追溯机制展开系统研究,从区块链技术原理与监理业务需求适配性出发,探讨了可信存证与追溯机制的构建逻辑,随后,详细阐述了基于区块链的监理数据存证架构与追溯流程,最后,从技术优化、制度保障及实施路径三个层面,提出了推动区块链技术在监理数据管理中落地应用的具体策略。

关键词: 建筑工程; 监理数据; 区块链技术; 可信存证; 追溯机制; 数据管理

DOI: 10. 69979/3029-2727. 25. 12. 090

引言

随着建筑行业数字化转型的推进,监理数据的可信管理需求日益迫切。区块链技术作为一种分布式账本技术,通过去中心化架构、密码学算法及共识机制,天然具备数据不可篡改、全程可追溯及多方信任协同的特性,为解决传统监理数据管理痛点提供了新的技术路径。近年来,区块链在金融、供应链等领域的成功应用为其在建筑工程领域的拓展奠定了基础,但监理数据具有多源异构(涵盖文本、图像、视频等多种格式)、动态更新(伴随施工进度持续产生)、强责任关联(需绑定具体操作者与时间节点)等特殊特性,需针对其业务需求定制化设计存证与追溯机制。因此,研究基于区块链技术的建筑工程监理数据可信存证与追溯方法,对推动工程监管模式创新、保障工程质量安全具有重要工程价值。

1 区块链技术与监理数据管理的适配性及机制构建逻辑

1.1 区块链技术的核心特性与原理

区块链是一种分布式账本技术,其核心通过去中心化架构、密码学算法及共识机制实现数据的可信存储与共享。去中心化架构是指数据不存储于单一中心节点,而是由网络中的多个参与单位共同维护,每个节点保存完整的数据副本,任意节点的数据修改需经过全网共识

验证,避免了单点故障与中心化控制风险。密码学算法是保障数据安全的基础,通过哈希函数将原始数据转换为固定长度的唯一哈希值,任何数据的微小改动都会导致哈希值剧烈变化;通过非对称加密技术(如公私钥对)为数据操作者绑定数字身份,确保数据修改的可追溯性。共识机制是多方节点达成一致的规则,常见的有工作量证明(PoW)、权益证明(PoS)及实用拜占庭容错(PBFT),在建筑工程监理场景中,通常采用许可链(联盟链)与PBFT共识机制,由建设单位、监理单位、施工单位等授权节点共同验证数据上链请求,兼顾效率与安全性。

1.2 监理数据管理的区块链适配性分析

区块链技术与监理数据管理的需求具有高度适配性。在数据真实性保障方面,区块链的不可篡改特性通过哈希值链式关联实现——每份监理数据上链时生成唯一的哈希值,并与前一份数据的哈希值共同打包成区块,后续区块通过引用前一区块的哈希值形成链式结构,任何对历史数据的修改都会破坏后续区块的哈希关联,从而被全网节点识别;在责任界定方面,通过数字签名技术将数据操作者(如监理工程师、施工单位负责人)的身份与操作行为绑定,每个数据记录包含操作者的公钥签名及时间戳,确保“谁操作、何时操作”可被验证;在可追溯性方面,区块链的时间戳标记为每份数据记录

提供了精确的产生时间，结合哈希值的链式关联，可快速定位数据的修改历史与关联记录；在多方协同方面，许可链模式允许建设单位、监理单位、施工单位等核心参与方作为授权节点加入网络，共同维护监理数据账本，避免了传统模式下数据孤岛与信息不对称的问题。

1.3 可信存证与追溯机制的构建逻辑

基于区块链的监理数据可信存证与追溯机制的核心逻辑是通过“数据上链-共识验证-链上存储-智能合约执行-反向追溯”的流程实现数据的可信管理与高效追溯。数据上链是基础环节，需将监理数据（包括文本、图像、视频等多源异构数据）转化为数字格式，并通过操作者的私钥进行数字签名；共识验证由授权节点（如监理单位、建设单位）通过 PBFT 共识机制对上链请求进行投票验证，确保数据的真实性与合法性；链上存储将验证通过的数据及关联的哈希值、时间戳、数字签名等信息打包成区块，永久保存于区块链账本中；智能合约是自动执行的规则引擎，可根据预设条件驱动业务流程，减少人工干预；反向追溯通过区块链的链式结构与哈希关联，从目标数据（如某质量问题记录）出发，逐级回溯其关联的前置数据（如原材料检验报告、施工操作记录）及操作者信息，快速定位问题根源与责任主体^[1]。

2 基于区块链的监理数据存证架构与追溯流程设计

2.1 监理数据存证的整体架构

基于区块链的监理数据存证架构采用分层设计，包括数据采集层、网络传输层、区块链平台层及应用服务层。数据采集层负责整合多源监理数据，通过物联网设备（如智能传感器采集施工环境数据）、电子表单（如监理工程师录入的验收记录）、影像采集工具（如工地摄像头记录的施工过程）获取文本、图像、视频等原始数据，并通过数据清洗（去除冗余信息）与格式标准化处理，确保数据的可用性。网络传输层通过安全通信协议将采集的数据传输至区块链平台，采用加密技术保障数据在传输过程中的保密性与完整性。区块链平台层是核心功能层，由分布式节点网络（包括建设单位、监理单位、施工单位的授权节点）、共识模块（实现 PBFT 共识机制）、账本存储模块（存储所有上链数据的哈希值、时间戳及数字签名）及智能合约模块组成。应用服

务层面向不同用户角色（如监理工程师、建设单位管理人员、监管部门）提供可视化界面，支持数据查询、追溯分析及报表生成等功能。

2.2 监理数据的上链流程与关键技术

监理数据上链是存证机制的首要环节，其流程包括数据生成、签名绑定、共识验证及区块打包。数据生成环节，监理人员通过电子系统（如监理管理平台）录入质量控制数据（如“某批次钢筋力学性能检测合格”）、上传影像资料（如“隐蔽工程验收现场照片”）或关联物联网数据（如“施工现场 PM2.5 浓度实时监测值”），系统自动为每份数据生成唯一标识符（如 UUID）。签名绑定环节，操作者（如监理工程师）通过私钥对数据进行数字签名，确保数据的操作者身份可验证（如只有持有对应公钥的监理工程师才能生成有效签名）；同时，系统调用哈希函数（如 SHA-256）计算数据的哈希值（如将文本记录转换为 256 位字符），作为数据的唯一指纹。共识验证环节，上链请求（包含原始数据、数字签名、哈希值及时间戳）被广播至区块链网络的授权节点，节点通过 PBFT 共识机制进行投票（如超过 2/3 节点同意则验证通过），确保数据的真实性与合法性。区块打包环节，验证通过的数据与关联的哈希值、时间戳、数字签名等信息被打包成新区块，新区块通过引用前一区块的哈希值链接至区块链账本中，形成不可篡改的数据链^[2]。

2.3 监理数据的追溯流程与方法

监理数据的追溯是存证机制的核心应用，其流程包括目标定位、链上查询、关联回溯及责任界定。目标定位环节，用户（如质量监督部门）通过应用服务层输入追溯目标（如“某楼层混凝土强度不达标问题”），系统根据关键词（如“混凝土强度”、时间范围、工程部位）在区块链账本中检索关联的数据记录。链上查询环节，系统从目标数据记录出发，读取其存储的哈希值、时间戳及数字签名信息，验证数据的真实性（如通过公钥验证数字签名是否匹配操作者身份）。关联回溯环节，利用区块链的链式结构，系统自动追踪目标数据的前置关联记录（如“该批次混凝土的原材料检验报告”“混凝土浇筑施工日志”“隐蔽工程验收影像”），通过哈希值的逐级关联还原数据的完整产生过程；同时，结合时间戳信息排序各关联记录的产生顺序，明确事件的先

后逻辑。责任界定环节,通过数字签名绑定操作者身份(如“原材料检验报告”由检测机构负责人签名、“混凝土浇筑记录”由施工单位现场工程师签名、“验收记录”由监理工程师签名),结合各记录的操作时间与内容,精准定位问题环节的责任主体^[3]。

3 区块链技术在监理数据管理中的应用策略与实施路径

3.1 技术优化与系统集成

区块链技术在监理数据管理中的应用需解决技术适配性与系统集成问题。在技术优化方面,需针对监理数据的多源异构特性(如文本、图像、视频的存储与检索效率差异),优化区块链的存储结构(如采用分布式文件系统 IPFS 存储大容量影像资料,仅在区块链账本中保存其哈希值与访问链接),提升数据存取效率;同时,加强隐私保护技术(如零知识证明、同态加密)的应用,在保障数据可追溯性的前提下,防止敏感信息(如施工单位的商业机密)被非授权节点访问。在系统集成方面,需推动区块链平台与现有监理管理系统(如电子监理台账、质量检测软件)、企业资源计划系统(ERP)及行业监管平台(如建筑工程质量监督站信息系统)的对接,实现数据的无缝流转与共享,避免重复录入与信息孤岛。

3.2 制度保障与标准制定

区块链技术的落地应用需配套的制度保障与标准规范。在制度层面,需明确参建各方在区块链监理数据管理中的权责划分(如建设单位负责组织节点接入、监理单位负责数据真实性审核、施工单位负责提供原始数据),制定数据上链的强制性要求(如关键监理数据必须通过区块链存证后方可作为工程验收依据),并将区块链存证数据作为工程纠纷仲裁、质量事故追责的法定证据。在标准层面,需制定监理数据上链的技术标准(如数据格式、哈希算法、时间戳精度)、共识机制的实施规范(如 PBFT 节点的准入条件与投票规则)及智能合约的业务逻辑模板(如验收通过后的自动流程触发条件),确保不同项目、不同参与方的区块链系统具有兼容性与互操作性^[4]。

3.3 实施路径与推广策略

区块链技术在监理数据管理中的推广需分阶段实施。初期阶段,可选择大型重点工程(如超高层建筑、

跨海桥梁)作为试点项目,由建设单位牵头组建区块链联盟(包括核心参建单位),搭建许可链平台并验证技术的可行性与效益;中期阶段,总结试点经验并制定行业标准,逐步推广至中小型工程项目,推动区块链存证成为工程监理的常规管理手段;长期阶段,结合建筑行业数字化转型趋势,将区块链技术与物联网、人工智能等技术融合(如通过物联网自动采集施工数据并上链、利用人工智能分析区块链中的历史数据预测质量风险),构建智能化的工程监管体系。同时,通过政策引导(如政府对采用区块链技术的工程给予补贴)、宣传培训(如组织参建单位学习区块链操作技能)加速技术的普及应用。

4 结论

建筑工程监理数据的可信管理是保障工程质量安全与各方权益的核心基础,传统管理模式的缺陷难以适应现代建筑行业的透明化与数字化需求。区块链技术通过去中心化架构、不可篡改特性及智能合约机制,为监理数据的可信存证与高效追溯提供了创新解决方案。本文从监理数据管理的现状与挑战出发,系统分析了区块链技术的适配性,构建了基于区块链的可信存证与追溯机制,并详细设计了存证架构、上链流程及追溯方法,最后提出了技术优化、制度保障及实施路径等推广策略。研究表明,区块链技术的应用能够显著提升监理数据的真实性、完整性与可追溯性,降低数据篡改风险与责任界定难度,为工程监管模式的创新与行业透明化发展提供有力支撑。未来,随着技术的不断成熟与行业标准的完善,基于区块链的监理数据管理将成为建筑行业数字化转型的关键组成部分,推动工程质量安全水平迈上新台阶。

参考文献

- [1] 张仲华,王静怡,张孙雯,等. 区块链技术在建筑工程领域中的应用研究[J]. 施工技术,2020,49(6):1-5.
- [2] 高鹏举. 5G 时代区块链技术在建筑工程资料管理中的应用研究[J]. 工程质量,2020,38(12):82-85.
- [3] 曹洋,苏振民,李娜. 基于区块链的建筑供应链信息共享管理系统架构研究[J]. 建筑经济,2019,40(5):69-74.
- [4] 许传磊. 基于区块链的建筑工程造价数据管理与溯源技术研究[J]. 山西建筑,2025,51(15):187-190.