

区块链技术在建筑工程项目供应链管理中的应用

罗文俊

鼎欣建设股份有限公司

DOI:10.12238/bd.v9i2.4364

[摘要] 在建筑工程项目中,供应管理是保障建筑工程项目顺利完工的重要支撑。基于此,为了能够促使区块链技术在建筑工程项目供应链管理中有效应用,文章在对区块链技术进行阐述的基础上,探究了区块链技术在建筑工程项目供应链管理中应用的可行性,并提出了包括构建多层级联盟链架构实现分布式信任体系、部署物联网-区块链融合网络实现全流程监控、开发标准化智能合约组件库驱动业务自动化等具体应用策略,旨在为实现建筑工程项目供应链管理质量的提升提供一定借鉴参考。

[关键词] 区块链技术; 建筑工程项目; 供应链管理; 应用策略

中图分类号: TU198 文献标识码: A

Application of Blockchain Technology in Supply Chain Management of Construction Engineering Projects

Wenjun Luo

Dingxin Construction Co., Ltd.

[Abstract] Supply chain management is essential for ensuring the successful completion of construction engineering projects. To promote the effective application of blockchain technology in this domain, this study first provides an overview of blockchain technology and then explores its feasibility in construction project supply chain management. Additionally, specific implementation strategies are proposed, including the establishment of a multi-tier consortium blockchain architecture to enable a decentralized trust system, the deployment of an IoT-blockchain integrated network for end-to-end process monitoring, and the development of a standardized smart contract component library to drive business process automation. This study aims to offer insights and references for improving the quality of supply chain management in construction engineering projects.

[Key words] Blockchain technology; Construction engineering projects; Supply chain management; Implementation strategies

在全球化与数字化浪潮的推动下,建筑工程项目供应链管理正面临着前所未有的挑战与机遇。传统供应链管理模式下,信息不对称、流程不透明、信任成本高以及协作效率低下等问题,不仅制约了项目的顺利推进,还增加了项目风险与成本。随着区块链技术的兴起,其去中心化、不可篡改、透明可追溯等特性为建筑工程项目供应链管理提供了全新的解决方案。区块链技术通过构建分布式账本,实现供应链各环节信息的实时共享与验证,从而有效降低信任成本,增强供应链的韧性与效率。因此,深入探讨区块链技术在建筑工程项目供应链管理中的应用,对于推动建筑行业的数字化转型、提升项目管理水平、促进可持续发展具有重要意义。

1 区块链技术的概述

区块链技术作为分布式账本系统的革命性创新,其核心价

值在于通过密码学原理与共识算法构建去中心化的信任机制,重塑传统中心化机构主导的价值传递模式。从技术架构层面观察,区块链采用链式数据结构将交易信息封装为按时间顺序排列的区块单元,每个区块通过哈希指针与前一区块形成密码学关联,这种设计使得历史记录篡改需要突破整个网络的算力屏障,从而在工程层面实现数据的不可逆性与可追溯性。同时,区块链中的非对称加密技术为参与者提供独特的身份验证体系,公钥作为公开账户标识与私钥构成的价值控制权分离机制,在消除第三方中介的同时确保资产所有权的绝对排他性^[1]。智能合约的引入更将可编程性注入区块链系统,通过图灵完备的脚本语言将复杂商业逻辑编码为自动执行的数字协议,这种创新不仅扩展了区块链的应用边界,更在治理层面开创了代码即法律的自治范式。值得注意的是,零知识证明、同态加密等隐私保

护技术的集成,正在突破透明性与隐私需求存在矛盾这一困境,为金融、医疗等敏感数据领域开辟新的技术路径。

2 建筑工程项目供应链管理应用区块链技术的可行性

区块链技术允许多个节点在去中心化环境中对数据进行存储与确认,并且不可篡改,因此能够在建筑工程项目供应链管理中建立新的数据交互与管理框架(图1),实现有效应用。

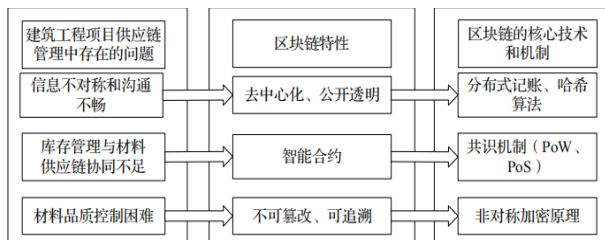


图1 基于区块链技术的管理框架

2.1 去中心化架构重塑供应链信任基础

区块链技术的去中心化特性可为建筑供应链的信任重构提供技术可行性。传统建筑工程项目供应链依赖总承包单位或第三方机构作为信息枢纽,中心化架构存在单点失效风险,且易形成数据垄断。分布式账本技术通过将建材供应商、物流商、监理单位等节点纳入对等网络,赋予每个参与方独立存储、更新和验证数据的权限,可形成多中心协同机制。同时,非对称加密技术的应用可保障数据隐私安全,公钥作为公开账户标识与私钥构成的价值控制权分离机制,在消除第三方中介的同时确保业务记录的绝对排他性。在透明性维度,区块链的链上数据可审计性可显著降低信息不对称风险^[2]。这种透明机制既可满足监管需求,又能保护商业机密,从而形成动态平衡的透明治理体系。从经济可行性角度评估,去中心化架构通过消除中间环节冗余,可降低供应链协同成本。正是由于这种成本结构优化,促使区块链技术在经济层面具备规模化应用潜力。

2.2 智能合约驱动业务流程自动化转型

智能合约是一种自动执行合同条款的计算机协议,其允许在没有第三方的情况下进行信任的交易,因此智能合约技术可驱动实现业务流程自动化转型。例如,通过将合同条款编码为可执行脚本,可实现材料需求预测、库存控制等核心业务的自动化运行。在采购环节,智能合约可关联BIM模型中的工程量清单,当施工进度达到预设节点时,自动触发采购指令并生成电子订单。如在某地铁项目中,该机制使采购订单处理时间从传统模式的48小时压缩至15分钟,降低了紧急采购比例。主要原因在于合约代码中嵌入的供应商评价算法,根据历史交货准时率、质量合格率等指标动态调整采购优先级,促使供应链响应效率实现了提升。再如在库存管理场景中,智能合约与物联网设备的深度融合可构成实时感知网络。RFID标签与区块链ID的绑定,可实现建材从仓储到工位的精准追踪。当某标段钢筋库存量低于安全阈值时,智能合约自动检索周边范围内的可用库存,生成最优调拨方案并触发运输指令,不仅能够提升库存周转率,还能减少呆滞

物料^[3]。更值得关注的是,智能合约的自我执行特性消除了人为干预,从而提升供应链的稳定性,降低支付误差。

2.3 不可逆存证体系保障质量可信溯源

区块链的不可篡改特性可为建筑材料质量追溯提供技术可信度保障。哈希算法与时间戳技术构建的链式存储结构,可使每个质量事件形成带有数字签名的独立交易区块。例如,在钢结构工程中,从钢厂冶炼参数到现场焊接工艺的质量数据实时上链,当发现梁柱节点应力超标时,溯源系统可定位问题批次,较传统方法效率可大幅度提升。在过程监管层面,区块链存证体系可实现质量数据的全生命周期管理。例如,生产端的实时采集原料配比、热处理曲线等工艺参数,物流端的运输轨迹信息,施工端的构件安装精度数据信息等一旦被记录就无法更改。同时,零知识证明技术的引入,允许监理单位在不获取商业机密的前提下验证材料合规性,从而提升质量验收效率。

3 区块链技术在建筑工程项目供应链管理中的应用策略

3.1 构建多层级联盟链架构实现分布式信任体系

建筑工程项目供应链的复杂性要求区块链技术的应用必须适配多方协作场景,所以需要搭建联盟链架构。首先,需根据项目规模与参与主体特征,设计分层节点准入机制。其中,总承包单位、监理单位、甲级供应商等核心节点应配置全量数据访问权限,而次级分包商、物流服务商等边缘节点仅开放有限数据接口^[4]。以特大型基建项目为例,可采用Hyperledger Fabric框架构建三级联盟链网络(表1),主链节点由多家总包企业和监理单位构成,子链节点覆盖多家材料供应商与物流企业,边缘链接入分包商。这种分层设计既保障核心业务数据的安全性,又满足供应链末端节点的轻量化接入需求。

表1 基于区块链技术的三级联盟链网络示例

层级	节点类型	数据权限	共识机制	节点数量
主链	总包/监理	全量数据读写	PBFT	8
子链	供应商/物流商	业务相关数据读写	Raft	38
边缘链	分包商/检测机构	特定数据只读	PoA	78

其次,需建立动态节点管理协议,通过智能合约实现节点信用评级与权限自动调整。具体可引入基于历史履约率、数据贡献度、合规记录等指标的信用评估模型,每季度自动更新节点权限等级。最后需,配置跨链交互协议,采用哈希时间锁定(HTLC)技术实现主链与物资溯源链、资金结算链的数据互通,确保供应链各环节数据可验证且不冗余。

3.2 部署物联网-区块链融合网络实现全流程监控

建筑材料的全生命周期管理需依托物联网设备与区块链的深度集成。第一,在硬件层可为每批次材料赋予唯一数字身份,采用抗金属RFID标签与多模态传感器复合封装技术,确保在极端施工环境下稳定采集数据(表2)。数据采集频率需根据材料特性分级设定:钢结构构件实施秒级震动与温湿度监测,混凝土预制件进行分钟级应力检测,而砂石骨料采用小时级含水

率分析^[5]。同时,边缘计算节点可部署自适应压缩算法,将原始数据体积缩减80%后上链,同时运用零知识证明(ZKP)验证数据有效性。

表2 数据采集示例

材料类型	监测参数	采集频率	传感设备	数据压缩率
钢结构构件	震动/温湿度/倾斜度	30 秒/次	三轴加速度计+LoRa 模块	85%
预制混凝土管桩	养护温度/应力变化	5 分钟/次	光纤光栅传感器+NB-IoT	78%
防水卷材	紫外线暴露量/拉伸形变	1 小时/次	光敏传感器+应变片	65%
砂石骨料	含水率/粒径分布	4 小时/次	微波水分仪+图像识别系统	60%

第二,数据确权机制应通过数字水印技术与访问控制列表(ACL)结合实现。其中,供应商可设置数据开放梯度,基础属性数据全网可见,生产工艺参数仅对审计机构解密。第三,在区块链存储层可采用分片技术,按材料类别划分数据存储区域,使查询响应时间缩短至毫秒级。该方案可使材料溯源效率获得提升,降低仓储损耗率。

3. 3开发标准化智能合约组件库驱动业务自动化

智能合约的规模化应用需建立模块化开发体系,将供应链业务流程解构为不同的标准功能模块。其中,采购执行模块集成需求预测算法与供应商比价引擎,库存调度模块嵌入实时监测与多标段调拨优化逻辑,质量验收模块内置检测标准数据库与异常溯源模型。每个模块封装3-5个可配置参数,例如安全库存阈值、紧急采购触发条件等,通过可视化配置界面降低开发门槛。在合约生命周期管理方面,管理系统需集成形式化验证工具,对代码逻辑进行数学证明,确保与法律条款的精确映射。运维监控仪表盘需实时展示合约执行成功率、异常中断类型等指标(表3),为流程优化提供数据支撑,通过这种模块化合约可使开发周期缩短,并且降低错误率。

表3 智能合约构建示例

合约类型	日均触发量	执行成功率	主要异常类型
自动采购	120-150 次	≥98.5%	供应商接单超时
质量索赔	20-25 次	≥95%	检测报告格式错误
物流调度	80-100 次	≥99%	GPS 信号丢失
进度款支付	15-20 次	100%	无

3. 4建立全域质量数据标准与跨链存证体系

破解质量追溯难题需制定覆盖全供应链的数据标准,将ISO 9001条款转化为区块链可识别的核心元数据,包括材料批号、检测机构代码、试验环境参数等(表4)。同时,生产端部署工业互联网网关自动抓取机床加工参数,物流端配置车载黑匣子记录运输轨迹,施工端安装AI质检仪采集现场验收数据,所有节点数据经加密后同步至质量溯源链^[6]。

表4 区块链可识别的核心元数据示例

数据类别	核心元数据示例	数据格式	加密标准
生产数据	原料配比/热处理曲线/出厂检测值	JSON	SM4
物流数据	温湿度曲线/GPS 轨迹/震动频谱	Protobuf	AES-256
施工数据	安装精度/监理验收结论/复验报告	XML	TLS 1.3

另外,可以运用联邦学习模型通过安全多方计算(MPC)技术,在不泄露商业机密的前提下联合训练质量风险预测模型。其中链,上仲裁机制可自动调取区块数据生成符合司法标准的证据包,支持一键导出含时间戳、哈希值及数字签名的法律文书。该体系可使质量纠纷处理周期缩短,并且提升司法采信率。

4 结语

综上所述,区块链技术在建筑工程项目供应链管理中的应用,不仅是对传统管理模式的一次深刻变革,更是推动建筑行业向智能化、高效化、绿色化方向发展的关键力量。通过区块链技术的引入,建筑工程项目能够实现供应链信息的全面透明化,促进各参与方之间的深度协作与信任建立,有效减少误差与错误,提升项目执行效率与质量。同时,区块链的智能合约功能还能自动化执行合同条款,降低人为干预,进一步保障项目资金流、物流、信息流的顺畅运行。展望未来,随着区块链技术的不断成熟与普及,其在建筑工程项目供应链管理中的应用将更加广泛深入,为构建更加安全、高效、可持续的建筑行业生态体系奠定坚实基础。因此,建筑行业应积极探索区块链技术的应用路径,加强技术创新与人才培养,共同推动建筑业的数字化转型与高质量发展。

【参考文献】

[1]曹庭胜,张亚昆.区块链技术驱动下的供应链物流管理优化路径[J].中国航务周刊,2025,(11):57-59.

[2]马玉刚,范高峰,郑王霖.装配式建筑供应链信息共享管理与风险防控策略研究[J].山西建筑,2025,51(05):183-186.

[3]王鹏远.区块链背景下农产品电商供应链的运营策略研究[J].物流科技,2025,48(03):137-142+165.

[4]杨双幸,王鹏.区块链技术驱动跨境电商供应链协同共生管理探究[J].中国管理信息化,2024,27(24):119-121.

[5]赵庆华,戚诺,孙斌.基于区块链的建筑工程项目供应链管理优化研究[J].工程管理学报,2024,38(05):100-104.

[6]李强年,王雨轩.基于区块链的建筑材料供应链质量管理研究[J].工程管理学报,2024,38(04):135-140.

作者简介:

罗文俊(1993--),男,汉族,江西南昌人,本科,鼎欣建设股份有限公司,研究方向:建筑项目管理。