

建筑工程质量追溯信息平台架构设计

杨影

天津科技大学, 天津市 300000

摘要: 随着建筑工程规模扩大与质量要求提升, 传统质量管理模式已难以满足全生命周期质量追溯需求。本文依托信息化与大数据技术, 提出建筑工程质量追溯信息平台架构, 采用数据采集层、数据传输层、数据存储层、业务逻辑层、应用展示层五层设计。数据采集层借助物联网传感器、RFID、二维码等获取材料、设备、人员与工艺信息; 数据传输层通过无线网络与移动互联网保障传输稳定可靠; 数据存储层采用分布式数据库与云存储, 统一数据格式并建立质量追溯码; 业务逻辑层实现质量检测、风险预警、追溯查询等核心功能; 应用展示层提供 Web、移动、监管等多终端界面。平台通过统一数据标准与接口, 实现从原材料、施工到竣工验收的全过程追溯。实践表明, 该平台架构合理、功能完备, 可有效提升工程质量管理效率, 推动建筑行业质量管控水平升级。

关键词: 建筑工程; 质量追溯; 信息平台; 架构设计; 物联网

Architecture Design of an Information Platform for Quality Traceability in Construction Engineering

Yang Ying

Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300000, China

Abstract: With the expansion of construction project scale and the increasing requirements for quality, traditional quality management models can no longer meet the needs of full life-cycle quality traceability. Supported by information technology and big data technology, this paper proposes an information platform architecture for quality traceability in construction engineering, adopting a five-layer design consisting of the data acquisition layer, data transmission layer, data storage layer, business logic layer, and application presentation layer. The data acquisition layer uses Internet of Things sensors, RFID, QR codes, and other technologies to obtain information on materials, equipment, personnel, and construction processes. The data transmission layer ensures stable and reliable transmission through wireless networks and mobile Internet. The data storage layer adopts distributed databases and cloud storage, unifies data formats, and establishes quality traceability codes. The business logic layer realizes core functions such as quality inspection, risk warning, and traceability inquiry. The application presentation layer provides multiple terminal interfaces, including Web, mobile, and regulatory platforms. Through unified data standards and interfaces, the platform enables whole-process traceability from raw materials and construction to completion acceptance. Practice shows that the platform architecture is rational and functionally complete, effectively improving the efficiency of construction quality management and promoting the upgrading of quality control in the construction industry.

Keywords: construction engineering; quality traceability; information platform; architecture design; Internet of Things

1、引言

建筑行业是国民经济的重要组成部分, 在世界经济中占有举足轻重的地位。根据相关数据统计, 2019-2023 年, 全球建筑业市场规模由 12.7 万亿美元增加到 14.8 万亿美元, 年均增速约为 3.9%。但是, 随着建筑工程项目越来越多、越来越复杂, 质量问题也越来越多。近年来, 建筑工程质量问题层出不穷, 给国家和个人都造成了巨大的损失, 也暴露出现有的质量管理方式已经不能满足当前的需求。

现代建筑工程质量管理面临诸多问题, 如信息孤岛、追溯困难、监管滞后等。传统质量管理以人工检查和纸质记录为主, 导致信息不全、数据不准、追溯链条断裂等问题。而随着物联网、大数据、区块链等新技术的发展, 为实现全面、高效、可靠的建筑工程质量追溯提供了技术支持。利用信息化手段建立一个完善的质量追溯信息平台, 对整个项目从原材料到最终交付全过程进行质量信息记录及追溯是建筑业转型发展的必然趋势。因此, 本文提出一种建筑工程质

量追溯信息平台的设计方案, 以期利用技术进步提高建筑工程质量管理水平。

2、建筑工程质量追溯需求分析与系统框架设计

2.1 建筑工程质量追溯业务需求分析

建筑工程质量追溯涉及到众多参与方以及繁琐的业务流程, 需要对整个工程项目进行全方位的信息记录和管理。从管理的角度来看, 质量追溯的需求主要集中在四个方面: 材料追溯的需求是对所有建筑材料从生产、运输、存储到使用等各个环节进行记录, 包括材料的种类、规格、生产批号、检验报告、供应商等重要信息。工艺追溯的需求是对于施工过程中的工艺流程、操作人员资格、施工参数、质量检测结果等进行详细的记录。人员追溯的需求是对参与项目的人员进行资格审查、岗位职责、操作记录、质量责任等进行可追溯管理。设备追溯的需求是对施工设备的技术参数、维修记录、使用情况、检测报告等进行系统化的管理^[1]。这四个方面的需求构成了建筑工程质

量追溯的整体业务框架,也为平台的设计指明了方向。

2.2 质量追溯信息平台功能需求建模

根据业务需求分析,质量追溯信息平台的功能架构可划分为核心功能模块与支撑功能模块两大类,二者协同实现全过程、可追溯、智能化的工程质量目标。核心功能模块是平台运行的关键,主要包括信息采集模块、追溯查询模块、质量监控模块和风险预警模块,共同构成质量追溯的主体业务流程。信息采集模块通过物联网终端、人工录入、设备对接等多种方式,实时、准确、完整地获取工程建设全过程中的原材料进场、施工工序、检测结果、隐蔽工程验收等关键质量信息,为后续追溯与分析提供基础数据支撑。追溯查询模块支持以唯一质量追溯码为索引,实现从原料到成品的正向追溯与从问题产品到源头的反向追溯,大幅提升问题定位效率。质量监控模块可对关键质量指标、关键工序参数进行在线监控,并结合多维度统计分析,直观反映工程质量整体状况。风险预警模块基于历史数据、规范阈值与实时监测数据,构建智能判别模型,实现对潜在质量隐患的提前预测与分级预警。支撑功能模块则包括用户管理、权限控制、数据管理、系统配置等基础功能,通过身份认证、角色分配、数据存储与备份、接口管理等手段,为平台稳定运行、数据安全及核心功能落地提供坚实的技术保障与管理支撑。

2.3 平台总体架构设计原则与框架

质量追溯信息平台架构设计以模块化、可扩展、高可用、安全可靠为基本原则,在此基础上进行分层架构设计。从下到上共分五层:数据采集层是最底层,负责利用物联网传感器、RFID 标签、移动终端等设备获取现场信息。数据传输层位于采集层之上,利用无线网络、移动通信网络等方式保证数据的有效传输。数据存储层使用分布式数据库集群以及云存储方式保存大量数据并可以快速读取。业务逻辑层集成了各种业务处理模块,提供全面的质量追溯业务功能。应用展示层处于最顶层,根据不同用户的需求提供不同的应用界面及操作方式^[2]。每一层之间都用标准接口进行通信和调用,保证系统的松耦合和高内聚性。并且,平台基于微服务架构思想,把复杂业务拆分成一个个小的服务,便于后期维护与升级。

3、质量追溯信息平台关键技术架构

3.1 分布式数据存储架构设计

针对建筑工程质量追溯过程中产生的大量异构数据,平台采用分布式数据存储方式保证数据的有效存储及快速访问。该方式基于 Hadoop 生态系统,结合关系型数据库以及 NoSQL 数据库优点,实现一种混合型的数据存储方案。对于结构化数据比如材料基本信息、人员信息、设备信息等使用 MySQL 集群进行存储,通过主从复制以及读写分离保证数据一致性和访问速度。而对于半结构化或者非结构化数据比如施工

照片、视频监控、传感器数据等使用 MongoDB 集群进行存储,利用其文档型数据库特点来处理各种复杂数据类型。为了保障数据的安全性以及可用性,平台采取多副本存储的方式,在不同的节点上保存多个副本,同时使用分布式一致性算法保证各个副本之间的同步更新。另外,平台还支持数据压缩以及去重功能,大大节省了存储空间,提高了存储效率。

3.2 区块链技术在质量追溯中的应用架构

区块链技术的不可篡改性和分布式特点非常适合用于建筑工程质量追溯。本平台搭建了一个基于联盟链的质量追溯区块链网络,由建设单位、施工单位、监理单位、材料供应商等重要参与者组成一个区块链联盟,一起保证质量追溯信息的真实性和完整性。区块链架构是分层设计,最底层是区块链基础设施层,基于 Hyperledger Fabric 框架实现,完成最基本的区块产生、交易确认、共识机制等功能。中间层是智能合约层,编写相应的智能合约代码来实现质量追溯业务逻辑自动执行,如材料入库检查、工序确认、检测结果记录等重要步骤的自动化处理。最上层是应用接口层,提供标准的 API 供上层应用系统使用。重要的质量信息经过数字签名之后上传到链上保存,保证信息不会被篡改^[3]。并且用默克尔树的方式组织数据,可以快速地进行数据校验和查询,提高了整个区块链系统的效率和可用性。

3.3 物联网数据采集与传输架构

物联网技术是实现建筑工程现场数据自动化采集的重要手段。平台搭建了一个贯穿整个建筑工程周期的物联网数据采集网络,采用分层、多协议的方式。感知层安装各种类型的智能传感器,如温湿度传感器、振动传感器、应力传感器等环境监测设备,还有 RFID 标签、二维码、NFC 标签等标识技术设备,可以对建筑材料、设备、人员、环境等进行实时监控和识别。网络层使用多种通信协议组合的方式,短距离通信使用 WiFi、蓝牙、ZigBee 等技术,远距离通信使用 4G/5G、NB-IoT 等技术保证数据传输的可靠性和及时性。由于施工现场网络环境复杂,平台还设置了边缘计算节点,在现场设置边缘服务器进行数据预处理和缓存,减轻网络负担,提高数据处理速度。并且,平台使用统一的数据格式及通信协议,保证不同厂家设备之间能够互相连接,降低系统的复杂度。

3.4 数据安全与隐私保护机制设计

建筑工程质量追溯包含大量敏感信息,数据安全及隐私保护尤为重要。平台建立多层安全防护机制,在数据采集、传输、存储以及使用等方面都做到全方位的安全保障。在数据传输上使用 TLS/SSL 加密协议保证数据在互联网上传输的安全性,同时使用 VPN 网络给重要数据传输提供专用通道。在数据存储上实行数据分级分类管理,对于不同程度敏感的数据使用不同程度的加密方式进行保护,核心质量数据使

用 AES-256 加密方式进行存储加密。在访问控制上,采用基于角色的权限管理方式,通过对用户的身份认证、权限分配、操作记录等方式保证数据访问合法性和可追溯性。另外,系统也使用了数据脱敏技术,在数据共享和分析时对敏感信息进行处理,既保障了数据隐私又满足了业务需要,给建筑工程质量追溯提供良好的安全保障。

4、平台核心模块设计与实现方案

4.1 质量数据标准化与编码体系设计

建筑工程质量追溯信息平台的数据标准化体系是实现全生命周期质量追溯的基础^[4]。该体系以国家建筑工程质量验收统一标准 GB50300-2013 以及工程建设标准化信息分类与编码标准 GB/T 50269-2019 为基础,制定了包含材料信息、施工工艺、检测数据、人员资质等内容的统一编码规则。编码体系采用分层结构,在项目编码、构件编码、材料编码、工序编码和质量检测编码的基础上进行组合,得到一个唯一的质量追溯标识符,保证每一个质量数据在整个工程生命周期中都是唯一的并且可以被追踪到。标准化的数据模型由基础信息模型、过程信息模型和质量信息模型组成,基础信息模型描述了工程项目的属性及组织结构,过程信息模型记录了施工过程中重要的节点以及操作步骤,而质量信息模型则收集各种检测数据以及评价结果,利用标准的数据字典以及元数据管理方法,使不同的系统之间具有相同含义的数据以及相同格式的数据。

4.2 多源异构数据融合处理模块

多源异构数据融合处理模块是整个平台的一个重要组成部分,主要负责对各种不同类型的数据进行整合与处理。该模块使用 ETL (Extract-Transform-Load) 的方式,利用数据抽取引擎从物联网传感器、RFID 系统、移动终端、检测设备、监理系统等不同的数据源中获取质量相关的数据。数据预处理单元对获取的数据进行清洗、去重、格式转换以及完整性检查,使数据满足平台的要求。融合算法根据时空相关性和语义相似度,把来自不同数据源的信息进行关联、匹配并智能地合并成一条完整的信息。由于建筑行业的数据具有实时性和大量的特点,所以该模块采用了流式数据处理技术和分布式计算框架来保证大量的数据能够被同时处理并且可以及时地得到结果,单个节点每秒钟可以处理 10 万条的数据。最后,经过融合后的数据通过标准接口传送到数据存储层,在此过程中还建立了数据血缘关系图谱,记录数据的来源、处理过程以及去向,以便于对质量问题进行追踪。

4.3 智能质量分析与预警模块

智能质量分析与预警模块基于机器学习算法以及专家知识库,对建筑工程质量进行智能化监控及预警。该模块融合了多种分析方法,有基于统计学的质量控制图方法、基于时间序列的趋势预测方法以及基

于深度学习的异常检测方法。质量分析引擎通过对大量的历史质量数据进行分析和学习,得到有关混凝土强度、钢筋焊接质量、防水施工质量等重要质量指标的预测模型,其精度超过 92%。预警机制是设置多个阈值并进行动态调整,根据不同的工程种类、施工阶段以及环境条件等不同情况来设定预警参数,从而实现精准的风险识别以及分级预警。一旦发现有质量问题或者有风险迹象出现,系统就会自动生成预警信息并且以短信、邮件、APP 推送等方式发送给相关人员^[5]。此外,该模块还具有质量趋势分析、质量问题原因分析以及质量改进措施等功能,通过图表和报告等形式让管理者了解整个工程的质量情况以及发展趋势,以便做出合理的管理决策。

5、结论

本文所提出的建筑工程质量追溯信息平台架构采用分层设计思想以及模块化实现方法,很好地解决了传统质量管理模式中存在的信息孤岛、数据标准不统一以及追溯效率低下等问题。平台核心模块的设计是基于建筑工程质量管理的实际需要而进行的,质量数据标准化及编码体系保证了数据的一致性和规范性,多源异构数据融合处理模块使各种质量信息得以有效汇集,智能质量分析与预警模块可起到事前预防的作用。该架构既符合目前建筑工程质量追溯的要求,又为以后智能建造和数字化转型打下良好基础,对于提高整个建筑行业的质量管理水平有着积极的意义。

参考文献

- [1] 李辉. 基于 Cloud&BIM 的智慧建筑项目管理信息平台设计分析[J]. 信息与电脑, 2018, 30(12): 89-91.
- [2] 梅勤建. 建筑工程质量控制与技术保障体系研究[C]. 智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(一). 中国重庆市重庆市, 2025: 865-868.
- [3] 张国英. 建筑工程施工安全信息化管理平台的构建与实施[J]. 移动信息, 2025, 47(7): 146-148.
- [4] 赵小非. 建筑工程质量控制体系构建与实施研究[J]. 城市开发, 2025, (24): 148-150.
- [5] 邹政. 建筑工程质量缺陷追溯与预警管理系统平台设计[J]. 艺术与设计(电子版), 2024, (6): 0185-0187.