

# 桥梁结构物混凝土施工质量数字化溯源技术研究

申究龙

山东高速路桥国际工程有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i9.20498

**[摘要]** 桥梁结构物混凝土施工质量直接决定桥梁结构安全与使用寿命,当前传统溯源模式存在数据分散、可追溯性差、管控效率低等问题,难以满足现代化桥梁工程质量管控需求。本文结合大数据、物联网、区块链核心技术,搭建涵盖流程解构、节点立规、人机联核、闭环施策的数字化溯源体系,通过全流程数字管控、标准化节点记载、精准化数据采集及闭环整改,实现桥梁结构物混凝土施工质量全生命周期可追溯、可管控,有效提升施工质量管控水平,保障桥梁工程长期稳定运行。

**[关键词]** 桥梁结构物; 混凝土; 施工质量; 数字化溯源技术

中图分类号: TV331 文献标识码: A

## Research on Digital Traceability Technology for Concrete Construction Quality of Bridge Structures

Xianlong Shen

Shandong High-Speed Road & Bridge International Engineering Co., Ltd

**[Abstract]** The quality of concrete construction in bridges directly determines the structural safety and service life of the bridge. The current traditional traceability model suffers from issues such as data dispersion, poor traceability, and low management efficiency, making it difficult to meet the requirements of modern bridge engineering quality control. This paper integrates big data, the Internet of Things, and blockchain core technologies to establish a digital traceability system covering process decomposition, node regulation, human-machine joint verification, and closed-loop implementation. Through full-process digital control, standardized node documentation, precise data collection, and closed-loop rectification, the system achieves full lifecycle traceability and controllability of concrete construction quality in bridges, effectively enhancing quality management standards and ensuring long-term stable operation of bridge projects.

**[Key words]** bridge structure; concrete; construction quality; digital traceability technology

### 引言

随着桥梁工程向大型化、复杂化方向发展,传统人工记录、纸质溯源的方式已无法适配精细化、高效化的质量管控需求,易出现数据失真、溯源断层等问题,埋下质量安全隐患。推行混凝土施工质量数字化溯源技术,能够实现施工全过程数据的实时采集、精准存储与可追溯,对强化质量管控、防范安全风险、提升工程建设品质具有重要现实意义。

### 1 桥梁结构物混凝土施工质量数字化溯源关键技术解析

#### 1.1 大数据技术

大数据技术可接入混凝土原材料进场检测、配合比搅拌、浇筑振捣、养护温控等各环节数据,单座大型桥梁结构物混凝土施工阶段可实现每日1000条以上有效数据采集,数据存储容量可达100GB以上,通过分布式计算框架对采集到的混凝土坍落

度、水胶比、养护温度、振捣频率等核心参数进行深度分析,精准识别施工过程中出现的异常数据,及时定位质量隐患点,为溯源管控提供科学的数据支撑<sup>[1]</sup>。其中,混凝土水胶比作为核心质量参数,其计算式如下:

$$W/C = \frac{m_w}{m_c}$$

式中:  $W/C$  为水胶比;  $m_w$  为混凝土中拌合水的质量(kg);  $m_c$  为混凝土中胶凝材料(水泥、掺合料)的总质量(kg),该参数数据将实时采集并上传至溯源平台,作为大数据分析的核心指标之一。

#### 1.2 物联网技术

物联网技术作为桥梁结构物混凝土施工质量数字化溯源的

核心感知载体,通过各类智能传感设备与网络传输技术,实现施工全过程数据的实时采集、自动传输与动态监测,构建起“感知-传输-管控”的一体化溯源感知网络。物联网技术可部署温度传感器、湿度传感器、压力传感器、位移传感器等各类设备,传感器测量精度可达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 5\% \text{RH}$ ,采样频率可根据施工需求调节至1次/分钟至1次/小时,各类传感器通过5G或LoRa无线传输技术,将混凝土浇筑温度、养护湿度、模板支撑压力、构件位移等实时数据传输至溯源平台,无需人工干预即可完成数据采集与上传,有效规避人工记录带来的数据偏差与滞后性,如表1所示。

表1 物联网设备类型及参数

物联网设备类型	测量精度	采样频率	核心采集数据
温度传感器	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	1次/分钟-1次/小时	浇筑、养护温度
湿度传感器	$\pm 5\% \text{RH}$	1次/分钟-1次/小时	养护环境湿度
压力传感器	$\pm 0.5 \text{MPa}$	1次/分钟	模板支撑压力
位移传感器	$\pm 0.1 \text{mm}$	1次/30分钟	构件位移量

1.3 区块链技术

区块链技术采用分布式账本存储方式,将混凝土施工各环节采集的核心数据进行加密存储,每个数据区块包含前一区块的哈希值,哈希值长度为256位,可有效防止数据被篡改或伪造,同时每个参与方拥有独立的账本副本,数据修改需经过所有参与方共识确认,确保溯源数据的真实性与完整性。该技术可实现施工各参与方的数据共享与责任追溯,当出现质量问题时,可通过区块链账本快速追溯至具体施工环节、责任人员及设备参数,明确责任主体,为质量事故处理提供精准依据<sup>[2]</sup>。

2 桥梁结构物混凝土施工质量数字化溯源技术体系架构搭建

为清晰呈现该体系的整体逻辑与实施路径,特构建如下技术体系架构框架图:

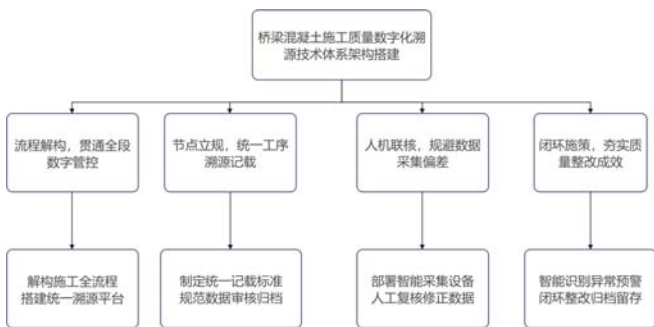


图1 桥梁结构物混凝土施工质量数字化溯源技术体系架构搭建

2.1 流程解构, 贯通全段数字管控

桥梁结构物混凝土施工质量数字化溯源技术体系搭建需先对施工全流程进行系统性解构,打破传统施工各环节割裂管控的壁垒,依托数字化手段实现从原材料进场到工程竣工全过程的无缝衔接与全段数字管控<sup>[3]</sup>。工作人员需拆解混凝土施工全流程为原材料检验、配合比设计、搅拌生产、运输浇筑、振捣成型、养护管控、质量检测7个核心环节,每个环节划分3-5个关

键管控节点,明确各节点数据采集范围、采集标准及传输路径,搭建统一的数字化溯源平台,平台响应时间控制在500毫秒以内,可兼容不同类型施工设备的数据接口,实现各环节数据实时互通。工作人员需对每个环节的施工流程进行数字化建模,将施工工艺参数、操作规范、质量标准录入平台,同步关联大数据、物联网技术,实现原材料进场时的二维码溯源、搅拌过程的实时参数监控、浇筑过程的视频联动记录,确保全流程数据可实时调取、全程可追溯,如表2所示。

表2 核心施工环节及核心管控

核心施工环节	关键管控节点数量	溯源平台响应时间	核心管控方式
原材料检验	4个	$\leq 500$ 毫秒	二维码溯源
搅拌生产	3个	$\leq 500$ 毫秒	实时参数监控
浇筑振捣	5个	$\leq 500$ 毫秒	视频联动记录
养护管控	4个	$\leq 500$ 毫秒	温湿度实时监测

2.2 节点立规, 统一工序溯源记载

节点立规是桥梁结构物混凝土施工质量数字化溯源体系有序运行的核心支撑,工作人员需针对施工全流程各管控节点制定统一的溯源记载标准与规范,明确各节点溯源记载的内容、格式、时限及责任主体,确保工序溯源记载的统一性、规范性与完整性。工作人员需明确每个核心节点的溯源记载清单,原材料进场节点需记载原材料名称、产地、规格、进场数量、检测报告编号、检测结果、进场时间及验收人员信息,检测报告需附第三方检测机构资质编号;搅拌节点需记载搅拌设备编号、配合比参数、搅拌时间、出料温度、操作人员信息,搅拌时间控制在90-120秒,出料温度控制在15-35 $^{\circ}\text{C}$ ;养护节点需记载养护方式、养护温度、养护湿度、养护时长,养护时长不低于14天,每日记载次数不低于4次。所有溯源记载数据需采用统一的数字化格式录入溯源平台,设置专人负责数据审核,审核时长不超过2小时,审核通过后自动同步至区块链节点存储,确保各工序溯源记载可查、可核、可追溯,为质量溯源提供标准化的数据支撑。

2.3 人机联控, 规避数据采集偏差

工作人员需在各施工节点部署适配的智能采集设备,原材料检测节点配备电子天平、压力试验机,精度分别为0.1g、1kN,自动采集原材料检测数据并实时上传至溯源平台;浇筑节点部署高清摄像头、温度传感器,摄像头分辨率不低于1080P,帧率为25帧/秒,可实时拍摄浇筑过程并同步采集浇筑温度数据;养护节点部署温湿度巡检仪,巡检范围覆盖所有养护区域,巡检间隔不超过2小时,自动记录温湿度数据。智能设备采集数据后,人工复核人员需对照现场实际施工情况,对采集的数据进行逐一核对,重点核对数据与现场施工参数的一致性,核对误差控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 1\%$ 以内,发现偏差立即标注并反馈至施工班组,及时修正数据并重新采集,同时将复核记录、修正情况录入溯源平台,形成“采集-复核-修正-归档”的完整流程,从源头规避数据采集偏差。

2.4 闭环施策, 夯实质量整改成效

闭环施策聚焦施工质量溯源过程中发现的问题,构建“问题识别-整改落实-复检验收-归档留存”的全闭环管控机制,切实夯实质量整改成效,确保数字化溯源体系真正发挥质量管控作用。工作人员依托溯源平台对各环节采集的数据进行实时分析,通过大数据算法识别数据异常点,当混凝土坍落度偏离设计值 $\pm 20\text{mm}$ 、养护温度连续3小时低于 $5^{\circ}\text{C}$ 时,平台自动发出预警信号,明确预警节点、异常参数及责任班组,预警响应时间不超过10分钟。责任班组接到预警后,需在2小时内制定针对性整改方案,明确整改措施、整改时限、整改人员,整改时限根据问题严重程度设定为12-48小时,整改过程中需实时上传整改照片、整改记录及相关参数数据。整改完成后,质量检测人员需对整改效果进行复核,采用回弹法检测混凝土强度,检测点数不低于30个,检测数据合格后,将整改方案、整改过程、复核结果一并录入溯源平台,与原始异常数据关联归档,形成完整的闭环整改记录,确保所有质量问题整改到位、有据可查,进一步夯实施工质量管控成效,如表3所示。

表3 异常类型及相关参数

异常类型	预警阈值	预警响应时间	整改时限	复核要求
坍落度异常	偏离设计值 $\pm 20\text{mm}$	$\leq 10$ 分钟	12-48小时	回弹法检测,点数 $\geq 30$ 个
养护温度异常	连续3小时低于 $5^{\circ}\text{C}$	$\leq 10$ 分钟	12-48小时	温湿度复核,误差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

### 3 结束语

桥梁结构物混凝土施工质量数字化溯源技术的应用,有效破解了传统溯源模式的诸多弊端,实现了施工质量管控从传统人工向数字智能的转型,通过核心技术的融合应用与体系架构的完善,构建了全流程、全方位的质量溯源管控模式,切实提升了桥梁结构物混凝土施工质量的可控性与可追溯性。未来,该技术将结合人工智能、数字孪生等新兴技术进一步优化升级,推动溯源体系向智能化、精细化、一体化方向发展,持续完善数据共享机制,为桥梁工程质量管控提供更高效、更可靠的技术支撑,助力交通基础设施高质量发展。

#### [参考文献]

- [1]谢晋德,李思李,张盼盼,等.桥梁结构物混凝土施工质量数字化溯源技术研究[J].公路交通科技,2022,39(S1):34-40.
- [2]张德文.桥梁结构物混凝土外观质量提升关键技术研究与应用[J].公路,2022,67(02):99-104.
- [3]党彦,祁清宝,董鹏达.桥梁下部结构混凝土钢筋保护层控制措施研究[J].内蒙古公路与运输,2021,(05):37-39.

#### 作者简介:

申宪龙(1997--),男,汉族,山东省临沂市人,大学本科,交通工程助理工程师,工作方向:公路道桥。