

浅谈建筑工程施工中的管理与质量

沈璐瑶

杭州市萧山区建设工程质量安全监督站, 浙江 杭州 311000

DOI:10.61369/ETQM.2026070013

摘 要 : 随着我国建筑业向智能建造与新型工业化深度转型,传统经验式、事后型施工管理与质量管控模式,已无法适配现代工程高精度、高可靠性的建设需求,技术驱动成为重构施工管理逻辑、突破质量管控瓶颈的核心引擎。本文立足行业数字化转型背景,摒弃传统要素管控的固化框架,系统阐述数字孪生、AI 机器视觉、区块链 + 物联网、智能建造装备、多源数据融合风险预判五大前沿技术在施工管理与质量管控中的创新应用逻辑,解析技术带来的管控范式革新,并提出技术体系落地路径,为建筑工程施工管理数字化升级与工程质量本质提升提供实践参考。

关 键 词 : 建筑工程; 智能建造; 施工管理; 质量管控; 数字孪生; AI 智能质检

Brief Discussion on Management and Quality in Construction Engineering

Shen Luyao

Hangzhou Xiaoshan District Construction Engineering Quality and Safety Supervision Station of , Hangzhou, Zhejiang 311000

Abstract : With the in-depth transformation of China's construction industry towards intelligent construction and new industrialization, traditional experience-based and post-event construction management and quality control models can no longer meet the high-precision and high-reliability construction requirements of modern projects. Technology-driven approaches have become the core engine for reconstructing construction management logic and breaking through quality control bottlenecks. Based on the background of digital transformation in the industry, this paper abandons the rigid framework of traditional element control and systematically elaborates on the innovative application logic of five cutting-edge technologies in construction management and quality control: digital twins, AI machine vision, blockchain + Internet of Things, intelligent construction equipment, and multi-source data fusion risk prediction. It analyzes the paradigm shift in management and control brought about by these technologies and proposes implementation paths for the technology system, providing practical references for the digital upgrading of construction engineering management and the essential improvement of project quality.

Keywords : construction engineering; intelligent construction; construction management; quality control; digital twin; AI-powered intelligent quality inspection

引言

《“十四五” 建筑业发展规划》明确提出,要以数字化转型驱动建筑业生产方式变革,加快智能建造与新型建筑工业化协同发展。当前我国建筑工程正朝着超高层、大跨度、装配式、绿色低碳方向快速发展,项目技术复杂度、工艺精度要求与全生命周期管控需求大幅提升,传统施工管理模式的固有短板日益凸显^[1]。

一、技术驱动下施工管理与质量管控的范式迭代

技术驱动下的新型管理范式,彻底打破了传统框架的束缚,实现了多维度的迭代升级,核心特征可概括为“数据驱动、虚实融合、智能闭环、全链可溯”。管控逻辑的迭代是技术驱动带来的最核心变革,实现了从事后验收向事前预控、事中实时管控的根本性转变,通过数字技术提前模拟施工全流程,预判质量风险点,在施工过程中实时采集数据、动态调整管控措施,将质量

隐患消除在萌芽状态^[2]。管控主体的迭代实现了从人工主导向智能主导、人机协同的跨越,通过智能技术替代人工完成重复性、高精度、高风险的质检、施工、测量工作,消除人为因素的主观性、随机性干扰,实现质量管控的标准化、刚性化。管控范围的迭代则将管控边界从单一的施工环节,延伸至全生命周期全要素管控,将管控范围从施工现场延伸至材料生产、构件加工、运输进场、施工安装、竣工验收、运维维保的全流程,实现工程质量全要素的闭环管控与责任溯源。

二、施工管理与质量管控的核心前沿技术创新应用

（一）全场景数字孪生：施工全过程虚实融合的闭环管控体系

全场景数字孪生体系的落地，始于全要素数字孪生基底的构建，整合项目地质勘察数据、设计 BIM 模型、周边环境数据、施工装备、构件参数、气象数据等全要素信息，搭建 1:1 的高精度数字孪生模型，不仅包含建筑的几何信息，更融入材料性能、工艺参数、质量标准、责任主体等全维度业务数据，为全流程管控提供数字底座。在数字底座的基础上，施工过程的实时虚实同步是实现数字孪生管控价值的核心支撑，通过施工现场的物联网传感器、三维激光扫描仪、高清视频采集设备、无人机航测系统，将现场施工进度、结构变形、基坑沉降、混凝土强度增长、环境参数等物理数据实时传输至数字孪生模型，实现物理现场与数字空间的毫秒级同步，管理人员无需到现场，即可在数字空间中实时掌握施工现场的真实状态^[3]。

基于实时同步的虚实镜像体系，可实现施工全流程的虚拟预演与风险前置化解，在分项工程施工前，在数字孪生空间中进行 1:1 的施工工序虚拟预演，模拟不同施工方案下的工序衔接、空间碰撞、质量风险点，提前发现设计图纸中的错漏碰缺、工序冲突、工艺不合理等问题，优化施工方案与技术交底，将质量风险在施工前全部化解。在此基础上，数字孪生体系可实现质量状态的动态可视化管控，针对深基坑、高支模、大体积混凝土等危大工程与关键工序，通过数字孪生模型实时可视化展示结构应力、变形、温差等关键参数，一旦参数超出规范阈值，系统自动触发预警，推送至对应责任人，并同步展示最优整改方案，实现质量风险的实时发现、实时处置，彻底改变传统“事后验收、被动整改”的管控模式。

（二）AI 机器视觉 + 边缘计算：全工序质量智能质检的范式革新

AI 机器视觉与边缘计算技术的融合应用，彻底重构了工程质检的底层逻辑，实现了“施工即质检、全程无死角、结果可追溯、整改全闭环”的智能质检体系，从根本上解决了人工质检的固有痛点。这套体系的核心支撑，是基于深度学习的质量缺陷智能识别算法体系，针对建筑工程全工序的质量管控需求，基于海量工程质量缺陷样本，训练专项深度学习算法模型，覆盖钢筋、模板、混凝土、钢结构、防水、装配式安装等全工序场景，可自动识别上百种常见质量缺陷，识别准确率可达 96% 以上，远超人工质检水平。

算法能力的落地，需要全场景感知网络与边缘计算实时管控体系的配套支撑，在施工现场搭建“固定高清球机 + 无人机航拍 + 移动巡检终端 + 穿戴式 AI 眼镜”的全场景感知网络，覆盖从隐蔽工程到竣工验收的全工序全区域，固定摄像头覆盖钢筋加工场、混凝土浇筑作业面等固定区域，无人机实现基坑、屋面等大范围区域的全覆盖巡检，移动巡检终端与 AI 眼镜实现隐蔽工程、细部节点的近距离质检。通过边缘计算技术，所有视频、图像数据在现场端实时处理，无需上传云端，实现缺陷的实时识别、实

时告警，系统自动生成包含缺陷位置、类型、严重程度、规范依据的整改通知单，推送至对应施工班组，整改完成后 AI 自动复核，形成全闭环管控。在此基础上，这套体系还实现了实测实量的全自动化升级，通过 AI 机器视觉与三维激光扫描技术结合，自动完成构件尺寸、平整度、垂直度等实测实量指标的全自动测量，数据自动与国家规范、设计要求比对，自动生成报告，无需人工拉尺记录，测量效率提升 10 倍以上。

（三）区块链 + 物联网：工程质量全要素不可篡改的溯源与责任体系

区块链技术具有不可篡改、去中心化、全程可溯、集体维护的核心特性，与物联网感知技术融合，可构建工程质量全要素、全生命周期的不可篡改溯源体系，从源头保障工程质量。这套体系的构建，始于关键质量要素的唯一数字身份赋码，针对钢筋、水泥、防水材料、预制构件、钢结构构件等直接影响工程结构安全与使用功能的关键材料与构件，采用 RFID 电子标签、NFC 芯片、二维码等方式，赋予唯一的数字身份 ID，该 ID 与材料 / 构件的生产厂家、规格型号、性能参数、出厂检测报告、生产日期等基础信息绑定，成为其全生命周期的“数字身份证”。

在数字身份体系的基础上，搭建由建设、设计、施工、监理、检测机构、材料供应商、监管部门共同组成的联盟链，各主体作为链上节点，拥有对应的操作权限，材料 / 构件从生产、运输、进场验收、第三方检测、施工使用、部位定位到竣工验收的全流程，所有数据通过物联网设备自动采集、实时上链，包括运输过程的温湿度、定位数据，进场验收的验收人、验收时间、检测结果，施工使用的工序、部位、作业人员等信息，所有数据上链后不可篡改、不可删除，彻底杜绝资料造假、数据不实的问题。依托这套不可篡改的链上数据体系，可实现全生命周期一键溯源，通过材料 / 构件的唯一数字身份 ID，可一键查询其全生命周期的所有信息，一旦发现材料质量不合格，可立即锁定同批次材料的使用范围，及时处置，避免不合格材料流入施工环节。更重要的是，这套体系实现了质量终身责任制的数字化落地，每个工序、每个环节的操作行为、验收数据全部上链留存，与工程实体永久绑定，即使项目交付使用后出现质量问题，也可通过链上数据一键溯源，锁定对应的责任主体与责任人，倒逼各岗位人员严格落实质量管控责任。

（四）智能建造装备与工业化施工：毫米级精度的质量刚性管控

智能建造装备与新型建筑工业化技术的融合应用，实现了施工过程的“机器代人”，以标准化、高精度的机械操作替代人工操作，彻底消除人为因素对工程质量的影响，实现毫米级精度的质量刚性管控。建筑施工机器人的规模化场景应用，是这套体系最核心的落地载体，当前建筑施工机器人已从实验室研发走向工程落地应用，形成了覆盖全工序的机器人产品矩阵，从根本上解决人工施工的质量痛点。钢筋绑扎机器人可自动完成钢筋的定位、绑扎，绑扎间距偏差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内，绑扎合格率 100%，远高于人工绑扎水平；混凝土整平抹平机器人可实现混凝土浇筑后的高精度整平、抹平，平整度偏差控制在 $\pm 2\text{mm}/2\text{m}$ 以

内，彻底解决了人工抹平导致的地面起砂、不平、开裂等质量通病；测量机器人可全自动完成建筑轴线放样、标高测量、构件安装定位，测量精度可达 $\pm 0.5\text{mm}$ ，24 小时不间断作业，彻底消除人工测量的误差与失误，钢结构焊接机器人、防水喷涂机器人等，均实现了标准化、高精度施工，从根本上消除了人工操作导致的质量缺陷。

在施工机器人之外，装配式建筑的数字化全流程精度管控，实现了工业化建造全链条的质量升级。装配式建筑的质量核心在于构件生产精度与现场安装精度，传统模式下，构件生产依赖人工操作，安装依赖人工定位，极易出现尺寸偏差、安装错位等问题。通过数字化技术与工业化生产的融合，实现了装配式构件从生产到安装的全流程精度管控，在工厂端，设计 BIM 模型直接对接构件生产的数控设备，实现构件的数字化生产，钢筋定位、模具尺寸、混凝土浇筑全流程自动化控制，构件生产精度控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，彻底解决了人工生产的尺寸偏差问题；在现场安装端，通过激光定位、BIM 导向安装、三维扫描实时校核技术，实现预制构件的毫米级精准安装，安装完成后 AI 自动校核安装精度，偏差超标实时告警，确保装配式建筑的安装质量与结构安全。

（五）多源数据融合的 AI 风险预判：从被动整改到主动防控的质量管控升级

体系的构建，始于多源质量大数据库的搭建，整合行业内海量工程项目的历史数据，包括地质勘察数据、设计参数、施工工艺数据、材料性能数据、气象数据、质量通病案例、质量事故记录、检测验收数据等，构建覆盖全场景、全工序的工程质量大数据库，为 AI 模型训练提供数据支撑。基于完整的行业数据库，可完成专项质量风险预测模型的训练，针对大体积混凝土温度裂缝、高支模变形坍塌、基坑渗漏与沉降、屋面防水渗漏、主体结构开裂等高频、高危质量风险，基于机器学习算法，挖掘质量风险与各影响因素之间的内在关联，训练专项风险预测模型，模型预判准确率可达 90% 以上。

依托成熟的预测模型，可实现项目施工过程中的动态风险预判与智能防控闭环，在项目施工过程中，实时采集现场地质数据、施工参数、环境数据、材料性能数据，输入 AI 预测模型，提前预判质量风险发生的概率、位置与严重程度，自动推送针对性的防控措施，实现风险的提前化解。以大体积混凝土施工为例，

传统模式下，只能通过预埋传感器监测混凝土内外温差，一旦温差超标再采取措施，此时往往已经出现了内部微裂缝，而通过 AI 风险预测模型，可根据混凝土配比、环境温度、浇筑厚度、水泥水化热参数，提前 72 小时预判混凝土内外温差的变化趋势，若预判温差将超出规范阈值，系统自动优化冷却水流量、养护方案、保温措施，提前调整管控参数，将混凝土内外温差始终控制在规范范围内，从根本上避免温度裂缝的产生，实现了质量风险的源头治理。

三、技术驱动型管理体系的落地实施路径

数据互通是技术体系落地的基础，需要先构建统一的数据标准与协同管控平台，打破设计、施工、监理、检测各环节的数据孤岛，制定统一的 BIM 数据标准、物联网数据接口标准、质量管控数据规范，搭建一体化的智慧建造协同平台，将数字孪生、AI 质检、区块链溯源等系统整合到同一平台，实现数据的互联互通与业务的协同联动。在此基础上，需要完成适配技术体系的组织架构调整，打破传统项目部条块分割的组织架构，设立项目数字化管控中心，统筹负责全项目的数字技术应用、数据采集分析、智能管控落地，将质量管控责任与数字化管控流程深度绑定，避免技术与管理“两张皮”。

技术体系的落地核心在于人才，需要搭建复合型人才队伍的系统培养体系，构建分层分类的人才培养机制，针对不同岗位人员开展针对性的数字化能力培训，打造既懂施工管理、又懂数字技术的复合型人才队伍。

四、结论

建筑工程施工管理与质量管控的核心，是消除不确定性、实现全过程的可控可溯。传统经验式的管理模式，始终无法突破人为因素、滞后管控、数据割裂的固有局限，而前沿数字技术、智能建造技术的应用，从底层重构了施工管理与质量管控的逻辑链条，实现了从“经验驱动”到“数据驱动”、从“事后整改”到“事前预控”、从“人工主导”到“智能闭环”的全面升级，为工程质量的本质提升提供了全新的解决方案。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部.“十四五”建筑业发展规划 [Z]. 2022.
- [2] 建筑工程施工质量验收统一标准：GB 50300—2013 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2013.
- [3] 丁烈云.智能建造：数字驱动的工程建造创新与发展 [J]. 土木工程学报，2021，54（01）：1-8.