

基于BIM的工程质量动态监控模型构建

朱 峰 谢燕伟

华电郑州机械设计研究院有限公司 河南郑州 450007

摘要: 针对传统工程质量管理模式信息滞后、协同困难、过程失控等问题, 本文提出一种基于建筑信息模型(BIM)技术的工程质量动态监控模型。该模型以BIM平台为核心, 融合物联网(IoT)、实时数据采集与可视化技术, 构建“数据感知—模型驱动—智能预警—闭环反馈”的全流程监控体系。通过建立多源数据集成机制与质量偏差量化评估算法, 实现施工过程关键质量参数的实时追踪与异常预警。案例应用表明, 该模型显著提升了质量管控的及时性与精准度, 为智慧工地建设提供了可复制的技术路径。

关键词: BIM; 工程质量; 动态监控; 数据集成

引言

随着建筑行业向数字化、智能化转型, 传统依赖人工巡检与纸质记录的质量管理方式已难以满足复杂工程对精细化管控的需求。现有模式普遍存在信息孤岛、响应滞后、追溯困难等弊端, 导致质量问题发现不及时, 整改成本高。建筑信息模型(BIM)技术以其三维可视化、信息集成与协同管理优势, 为质量管理革新提供了新思路。然而, 当前多数BIM应用仍停留在设计与施工模拟阶段, 缺乏与现场实时数据的有效联动, 未能实现真正的“动态”监控。因此, 构建一个深度融合BIM与现场感知数据的动态监控模型, 实现从“静态审查”到“动态预警”的转变, 具有重要的理论价值与实践意义。本文旨在探索BIM在工程质量全过程动态监管中的创新应用模式, 填补现有研究在实时性与系统性方面的不足。

一、现状分析与问题诊断

当前工程质量管控面临多重挑战。传统管理模式中, 设计图纸、施工方案与验收标准分散于各职能部门, 信息传递链条长且效率低下, 形成严重的信息割裂。质量检查依赖人工定期巡检, 问题发现往往滞后, 难以在施工过程中及时纠正, 导致整改成本增加。纸质化记录方式不仅易丢失损坏, 更使质量问题的责任追溯缺乏可靠依据。同时, 检查结果受个人经验影响显著, 评判标准执行存在主观偏差, 影响整体管控公正性与一致性。尽管BIM技术已在建筑行业广泛应用, 但多数项目仍局限于设计阶段的碰撞检测与可视化展示, 未能有效延伸至

施工质量控制环节。BIM模型更新滞后于现场实际进展, 数字模型与物理实体脱节, 出现“两张皮”现象。模型与现场物联网传感器、移动终端采集的实时数据缺乏有效融合路径, 数据孤岛问题依然存在。系统功能普遍单一, 缺少对关键质量参数的自动比对、偏差识别与智能预警能力, 无法实现真正的动态监管。核心矛盾集中体现为BIM模型与现场数据的动态同步困难、科学化评估体系缺失以及问题响应闭环机制不健全, 制约了工程质量管理水平的实质性提升。

二、模型构建的理论基础与技术框架

1. 核心理念: 模型即中心, 数据即驱动

模型构建以“模型即中心, 数据即驱动”为核心理念, 确立BIM作为项目全过程质量信息的唯一真实来源(Single Source of Truth), 所有质量数据均精准锚定于对应BIM构件, 实现信息的集中化与结构化管理。强调“动态数字孪生”概念, 通过实时数据流驱动BIM模型状态更新, 确保虚拟模型与施工现场物理实体在几何形态、材料属性及施工进度上保持高度同步, 为质量监控提供真实可靠的数字映射基础。

2. 关键技术支撑

技术实现依托五大支柱: 高性能BIM平台作为核心载体, 选用具备开放API能力的系统(如Revit结合Forge平台), 承担模型集成与数据交互枢纽功能; 物联网技术部署于施工现场, 通过温湿度传感器、沉降监测设备、RFID构件标签及智能视频终端, 自动采集环境参数与结构状态信息; 移动互联技术支撑现场人员通过定制化APP完成质量巡检、问题上报与多媒体记录, 实现

无纸化作业流程；云计算与大数据技术提供弹性计算资源，支持海量异构数据的存储、清洗、融合与高性能分析，保障系统稳定运行；可视化技术基于WebGL或三维引擎，将质量数据叠加于4D/5D BIM模型，实现施工进度、质量状态与成本信息的动态融合展示。

3. 总体架构设计

系统采用分层化架构设计，构建了覆盖数据采集到应用服务的完整技术链条。感知层由部署于施工现场的多类型传感器、移动巡检终端及无人机组成，负责采集环境参数、结构状态与人工检查等原始数据。传输层综合利用5G高速网络、现场WiFi局域网及低功耗LoRa技术，实现不同场景下数据的稳定、可靠回传，保障信息流畅通。数据层设立统一的数据中台，对来自BIM模型、物联网设备、移动终端及项目管理系统的异构数据进行集中汇聚，执行清洗、融合、格式转换与标准化处理，形成高质量的结构化数据集并持久化存储。平台层作为核心中枢，集成BIM引擎、规则计算模块、预警触发逻辑与开放API接口，支撑模型解析、实时比对、智能分析与服务调度功能。应用层面向不同角色提供PC端、移动端及指挥大屏等多种交互界面，支持质量监控、任务处理、可视化展示与报表输出，满足管理层决策、工程师分析及班组执行的多样化需求，形成贯通全业务流程的技术支撑体系。

三、动态监控模型的核心机制设计

1. 多源数据集成与模型关联机制

为实现BIM模型与施工现场数据的深度融合，必须建立高效的数据集成与关联机制。每个BIM构件在建模阶段即被赋予全球唯一标识码（GUID），作为其全生命周期的数据“身份证”，确保所有质量信息可精确追溯至具体构件。通过空间定位技术，将部署在工地的各类传感器（如位移、温湿度、应力传感器）的物理坐标与BIM模型中的构件几何位置进行拓扑匹配，构建空间映射关系表，使采集到的实时数据能自动归集到对应模型元素。对于来自移动终端、无人机巡检或第三方系统的异构数据，采用统一的数据接口标准（如IFC、COBie）进行格式转换与语义对齐。系统内置数据清洗引擎，对原始数据执行去噪、异常值识别、缺失值插补和时间序列对齐等处理，消除因设备误差或通信中断导致的数据失真。经过标准化处理的数据通过中间件实时写入BIM平台数据库，确保模型承载的信息始终反映现场真实状态，为后续质量分析提供高可信度的数据基础。

2. 质量指标体系与量化评估模型

构建科学、量化的质量评估体系是实现动态监控的核心支撑。该体系采用三级递进结构，一级指标涵盖结构安全、使用功能、观感质量和资料完整性四大维度，构成质量评价的顶层框架。二级指标对一级指标进行分解，如结构安全下设混凝土强度、钢筋保护层厚度、轴线偏移量、构件垂直度等具体技术参数，确保评价内容覆盖关键质量控制点。三级指标细化至每个检测点的实际测量值，例如某框架柱第2测区的回弹强度或某楼板第5个测点的平整度数值，实现最小单元的精准管控。系统依据国家规范、设计文件及企业标准，为每项指标设定初始允许偏差阈值，并支持根据施工阶段、环境条件或专家经验进行动态调整。采用加权综合评分法，结合各指标的重要性系数，对构件、区域或整体工程进行量化打分，形成可横向比较的质量指数，为管理决策提供客观、统一的评判依据。

3. “模型驱动”的动态监控流程

监控流程以BIM模型为核心实现全链条自动化运行。施工前，将进度计划（4D模型）与预设的质量控制点（QC Point）同步导入BIM平台，明确各阶段的检查任务与责任主体。施工过程中，物联网设备持续采集环境与结构数据，现场人员通过移动端APP执行检查并上传图文记录，所有信息自动关联至对应BIM构件。系统后台实时比对实测数据与设计模型或规范限值，一旦发现偏差超出阈值，立即触发预警机制。预警按严重程度分为三级：红色预警对应重大质量缺陷，需立即停工整改；黄色预警针对一般性问题，要求限期处理；蓝色提示用于潜在风险，提醒加强监控。预警信息通过APP推送、短信通知或指挥中心大屏实时送达责任人。问题处理纳入闭环管理，责任人接收任务后可在移动端查看BIM定位、问题详情及整改要求，完成整改后上传验证材料，经质量工程师在线复核后关闭工单，全过程留痕，确保问题可追溯、责任可落实。

4. 可视化交互与决策支持

系统提供多维度的可视化交互界面，提升管理效率与决策能力。在三维BIM模型上叠加质量数据，采用热力图形式直观展示各区域的质量评分分布，颜色越深表示问题越集中，管理人员可迅速锁定质量薄弱区域。针对关键指标如混凝土养护温度、沉降速率等，生成时间序列趋势图，分析其变化规律，结合预测算法识别异常走势，提前发出风险提示。系统支持自定义报表模板，

一键生成质量周报、月报或专项报告，内容涵盖问题数量统计、分类分布、整改完成率、趋势分析及典型案例，减少人工整理工作量。指挥中心大屏集成项目全景视图，实时显示进度、质量、安全等核心指标，辅助管理层全面掌握项目态势。所有可视化结果均可下钻查看明细数据，实现从宏观掌控到微观追溯的无缝切换，为项目优化提供强有力的数据支持。

四、创新观点阐述

本研究提出的动态监控模型实现了工程质量管控模式的实质性创新。通过融合BIM与实时数据，推动管理范式从传统的“问题发生—事后检查—被动整改”转向“风险感知—智能预警—主动干预”，显著前移质量控制关口。系统构建了“数据驱动模型、模型触发行为、行为反馈数据”的闭环控制机制，预警信息自动生成整改工单，处理过程数据反哺模型更新，形成持续优化的PDCA管理循环，增强执行刚性。依托BIM的构件级建模能力，质量管控粒度精确至每一个梁、板、柱及节点，实现全生命周期的精细化追踪。所有检查记录、影像资料、整改流程及材料证明均与对应构件永久关联，沉淀为结构化、可追溯的“质量数字档案”。该档案不仅服务于施工阶段的决策支持，更为后期运维管理、改扩建工程及质量责任认定提供权威数据依据，真正实现质量成果的数据资产化转型。

五、案例应用与效果验证

以某建筑面积约20万平方米的大型公共医院项目为应用实例，该工程结构形式复杂，涵盖深基坑、超厚底板、高位转换层及单元式幕墙等关键施工内容，质量管控难度大。项目实施过程中，系统部署了覆盖地下室、核心筒、转换层及幕墙骨架的物联网传感器网络，实时监测混凝土温变、结构沉降与关键构件应力。同步开发了集成于项目BIM协同平台的质量监控模块，实现与进度、安全系统的数据互通。通过组织多轮培训，推动管理人员与班组使用移动端APP执行质量巡检与问题处置。应用后成效显著，现场质量问题的平均发现周期由传统模式的3天大幅压缩至2小时以内，问题整改闭环效率提升40%。主体结构实测实量综合合格率由应用前的85%

提高至96%，施工全过程未发生重大质量事故。通过提前预警与精准干预，有效减少返工与材料浪费，直接节约成本约120万元。管理层依托BIM可视化大屏实现质量态势“一图总览”，决策过程更加科学高效，项目整体质量管理水平得到质的提升。

结束语

本文构建的基于BIM的工程质量动态监控模型，突破了传统管理模式的瓶颈，实现了质量管理的数字化、实时化与智能化。该模型以BIM为核心载体，通过深度融合物联网、移动互联与大数据技术，建立了“感知—分析—预警—处置—反馈”的完整闭环，真正做到了让质量数据“活起来、动起来、用起来”。其创新性体现在推动质量管理从被动响应向主动预防转变，从粗放管理向构件级精细管控升级，并将质量数据沉淀为宝贵的数字资产。实践案例证明，该模型能显著提升工程质量水平，降低管理成本，增强项目管控能力。未来，随着人工智能算法的引入（如基于图像识别的自动缺陷检测），该模型将进一步向“自学习、自优化”的智慧化方向演进。本研究成果为建筑企业实现高质量发展提供了切实可行的技术路径，对推动建筑业数字化转型具有重要参考价值。建议行业加快相关标准制定，推广成熟解决方案，让BIM动态监控成为智慧工地的标配。

参考文献

- [1] 郭军, 陈铭, 王祎晨, 丰景春, 张可. 基于BIM的工程监管信息传递效率度量模型[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(5): 5.
- [2] 罗文浪. 基于BIM云平台的工程项目质量管理应用研究[D]. 福州大学, 2021.
- [3] 杨大田, 范良宜, 杨道欣, 等. 一种基于BIM的工程造价动态控制系统及方法: CN202010247593.7[P]. CN11476537B[2025-10-23].
- [4] 徐佩. 基于BIM与数字孪生的建筑结构施工质量动态监控方法[J]. 电脑采购, 2024(47).