

装配式房建数字化施工的质量管控体系构建

李泽勇

湖北交投耀栋建筑有限公司

DOI : 10.32629/jpm.v7i7.8977

[摘 要] 随着我国建筑工业化进程的不断推进,装配式房建由于节能环保、施工速度快、产业协同性好等特点,已经成为城乡建设领域的主要发展方向。但是传统的质量控制方式存在着信息传递滞后、过程追溯困难、协同效率低下的问题,不能满足装配式施工精度、协同性高的需求。本文以装配式房建施工全生命周期为研究对象,联系湖北武汉区域装配式项目实际情况,创建起以 BIM、物联网、大数据技术为依托的数字化质量把控体系,明晰出该体系的层级结构、主要流程和技术支撑模块。借助创建两个对比分析表格,系统表现了数字化管控和传统管控模式效果的不同之处,得出该体系对于改善质量缺陷率、缩减问题处理时延、加强参建方协作等所起的重要作用的结论。通过研究得出结论,数字化质量控制体系可以做到装配式施工前的预控、全过程追踪以及数据闭环,可以给同类型项目的质量管控升级提供复制性的实践方案,有利于推动建筑行业高质量发展。

[关键词] 装配式房建; 数字化施工; 质量管控体系; BIM 技术; 全生命周期管理

Construction of a Digital Quality Control System for Prefabricated Housing Construction

Li Zeyong

Hubei Communications Investment Yaodong Construction Co., Ltd.

[Abstract] With the continuous advancement of construction industrialization in China, prefabricated housing construction has emerged as a primary development direction in the urban and rural construction sector due to its advantages in energy efficiency, environmental protection, rapid construction speed, and strong industry synergy. However, traditional quality control methods face challenges such as delayed information transmission, difficulties in process traceability, and low collaborative efficiency, which fail to meet the stringent requirements for precision and high-level collaboration in prefabricated construction. This paper takes the entire life cycle of prefabricated housing construction as its research object, draws upon the actual conditions of prefabricated projects in the Wuhan region of Hubei Province, and proposes a digital quality control system based on BIM, the Internet of Things (IoT), and big data technologies. The paper clarifies the hierarchical structure, key workflows, and technical support modules of this system. By utilizing two comparative analysis tables, the study systematically demonstrates the differences in effectiveness between the digital control model and the traditional control model, concluding that this system plays a pivotal role in reducing the quality defect rate, shortening problem resolution delays, and enhancing collaboration among all parties involved in the project. The research concludes that a digital quality control system can achieve pre-control prior to prefabricated construction, full-process tracking, and a data closed-loop mechanism; it provides replicable practical solutions for upgrading quality control in projects of similar types and contributes to the high-quality development of the construction industry.

[Key words] Prefabricated housing construction; Digital construction; Quality control system; BIM technology; Whole life cycle management

引言

在“双碳”目标和建筑产业转型升级的双重驱动之下,我国装配式建筑行业近几年来取得了飞速的发展。按照“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划的要求,到 2025 年全国装配式建筑在新建建筑中所占比例要达到 30%以上,湖北武汉作为中部地区建筑产业核心城市,先后出台过《武汉市装配式建筑发展实施方案》等政策,明确提出政府投资建设的项目要全部使

用装配式建造方式,2024 年武汉新建装配式建筑比例已经超过 42%,累计建成装配式产业基地 27 个,已经形成了一条从预制构件生产到现场装配完整的产业链^[1]。数字化技术给装配式房建质量管控赋予了新的解决途径。近几年来,BIM、物联网、5G、大数据等技术在建筑领域逐渐发展起来,但是很多头部企业还没有把数字化工具引入到质量管控中去,大部分应用还是停留在一个技术工具的零星使用上,并没有形成贯穿全流程的

系统化的质量管控体系。

1 装配式房建传统质量管控的痛点与数字化转型需求

1.1 传统质量管控模式的核心痛点

装配式房建质量控制的核心目标就是保证预制构件生产精度、现场装配接缝质量、结构整体稳定性，传统控制方式在满足这些要求上存在明显的不足。首先就是构件生产阶段的管控缺失，在传统的模式之下，监理单位只能通过不定期的驻厂巡检来控制构件的质量，不能对钢筋绑扎精度、混凝土养护温度、预埋件定位等重要的工序进行实时的监管，从武汉某装配式产业基地 2022 年的统计数据中可知，在传统的管控模式下，预制叠合板的尺寸偏差超标率达到了 8.7%，构件出厂时的隐蔽质量问题所占比例是总质量缺陷的 31%^[2]。

其次就是现场装配环节精度控制难度大。装配式施工对于构件吊装定位的精度要求是毫米级，传统的用人工卷尺测量、肉眼观测的检查方式，测量误差大，检查效率低，在武汉某 30 层装配式住宅项目中，传统管控模式下的外墙板接缝错位问题发生率为 12.3%，灌浆饱满度的人工抽检合格率为 82%，部分

隐蔽工程质量问题不能被及时发现，给结构安全埋下了隐患。

1.2 数字化质量管控的转型需求

以上提到的痛点为装配式房建质量管控升级提出的三个主要需求。第一是全链条信息贯通的需求，打破设计、生产、施工各个环节之间存在的信息壁垒，使每一个预制构件都有一个完整的数字身份，从而达到从生产源头到运维阶段的全生命周期的信息可查询的目的；第二是质量管控前置化的需求，把质量检查节点从“事后验收”转变为“过程预警”，依靠实时的数据采集，在质量偏差超过阈值的时候立即发出警报，防止问题进一步发展；第三是数据驱动的质量迭代需求，依靠大量的全项目质量数据，创建质量缺陷大数据库，探究各类缺陷出现的规律，提早制定预控措施，持续减少同样的问题发生^[3]。

2 装配式房建数字化质量管控体系的构建框架

2.1 体系的层级架构设计

本文所构建出的数字化质量控制体系是以端、边、云为三层结构，在整个装配式房建施工过程中起着覆盖的作用。



图1 装配式房建数字化质量管控体系层级架构设计图

第一层是终端感知层。由布置在构件生产车间的物联网传感器、现场施工的智能测量设备、移动端质量管控APP共同组成，用来实时采集各种质量数据，即混凝土养护温度、构件钢筋定位数据、现场吊装空间坐标、灌浆作业压力数据等等，所有的数据都是经过 5G 网络及时上传到中央节点，从而避免人工输入造成的误差。

第二层是边缘计算层。在构件工厂和项目现场部署了边缘计算节点，对获取的实时数据做初步分析，当检测出构件尺寸偏差、灌浆压力不够等问题时，可以在本地发出预警，不需要等云的指令，大大减小了响应的时间差，使质量问题能够在第一时间被现场作业人员发现并予以解决。

第三层为云端管控平台层。它是整个体系的中枢，整合了 BIM 模型、质量数据库、协同管理模块、数据分析模块这四个主要功能，所有的质量数据最后汇总到云端平台，实现了整个项目质量信息的集中统一管理和跨参建方的协同工作以及深层次的数据挖掘。

2.2 体系的核心业务流程

数字化质量管控体系重新创建了装配式施工的质量把控流程，出现“事前预控-事中把控-事后追溯”这样的闭环运作思路。事前预控阶段，把深化设计好的 BIM 模型导入管控平台，先对构件的碰撞、装配情况做模拟检验，再把各种质量检查标准变成平台里的数字化阈值，构件尺寸偏差设 $\pm 3\text{mm}$ ，灌浆压力阈值 $0.5\text{MPa}\sim 0.8\text{MPa}$ ，所有的质量检查标准都被数字化并可

以自动判断。

在事中控管阶段，每一个预制构件在生产时都会获得一个独一无二的 RFID 数字身份码，从钢筋绑扎、混凝土浇筑、养护脱模等各个环节的数据都会被绑定到该构件的数字档案里，构件出厂前平台会自动比对所有检测数据，不符合标准的构件不会产生出厂合格证明，从源头上杜绝不合格构件进入现场。构件运到现场后扫描进场验收，吊装过程中利用 BIM 模型和全站仪的实时定位数据，平台自动对比构件实际安装坐标和设计坐标，偏差超限时会立即提示作业人员。灌浆过程中用到智能压力传感器进行连续测量，当出现压力不足时立刻停止工作，保证灌浆饱满度达标^[4]。

在事后溯源阶段，所有的质量验收记录、整改过程资料都会被自动上传至云端平台，并且形成完整的项目质量数字档案，任何构件的全流程质量信息都可以通过扫码的方式一键调取，所有的质量缺陷数据也会被自动录入企业质量大数据库之中，为以后项目的质量预控工作给予数据支持。

2.3 体系的核心技术支撑模块

为了保证体系的落实，创建出四个核心技术模块。第一是 BIM+构件数字孪生模块，将每一个预制构件的 BIM 模型与实体构件的实时数据绑定，在平台上创建一个与实体构件完全相同的数字孪生体，管理人员可以方便地查看构件所有的质量信息，不需要去翻阅很多纸质材料。第二为物联网实时数据采集模块，对构件生产、现场施工的各个重要工序进行不间断的采

集，实现质量数据的自动采集，采集频率最高达到 1 次/秒，取代了传统的手工记录方式。第三为移动端协同管控模块，所有的现场质量巡检、问题整改、验收签字都通过手机 APP 来完成，发现质量问题可以立即上传照片和定位位置，自动分派到相应的责任人员身上，整改完毕之后线上闭环管理。第四部分为大数据质量分析模块，平台对所有的质量缺陷做分类统计，绘制出质量缺陷分布热力图，分析各个工序问题发生的几率，给管理决策提供数据支持。

3 数字化质量管控体系的工程实践与效果验证

为了检验本文所建立的系统实际效果，以武汉某 32 层装配式住宅项目为试验对象，项目总面积为 78000 m²，预制率约

为 45%，使用了预制外墙板、叠合板、楼梯等各类预制构件共 3200 多件。项目全部使用数字化质量控制体系，选取武汉同区域、同规模、同预制率的使用传统质量控制模式的项目作为对照组，从多个方面开展效果对比研究。

3.1 核心质量指标对比分析

两个项目的核心质量管控指标对比如表 1 所示，通过量化数据可以直观体现数字化体系的应用价值。

3.2 参建方协同效率对比分析

除了核心质量指标，数字化管控体系对参建各方的协同效率提升也十分显著，两个项目的协同管理相关指标对比如表 2 所示。

表 1 传统管控模式与数字化管控模式核心质量指标对比

质量管控指标	传统管控模式项目	数字化管控模式项目	指标优化幅度
预制构件尺寸偏差超标率	8.7%	2.1%	75.9%
现场装配接缝错位发生率	12.3%	3.4%	72.4%
灌浆饱满度抽检合格率	82%	98.7%	20.4%
隐蔽工程质量问题漏检率	15.6%	1.2%	92.3%
质量问题平均整改周期	72h	12h	83.3%

表 2 传统管控模式与数字化管控模式协同效率指标对比

协同管理指标	传统管控模式项目	数字化管控模式项目	指标优化幅度
质量相关跨方沟通会议频次	47 次	13 次	72.3%
质量资料查阅平均耗时	28 分钟/次	1.5 分钟/次	94.6%
质量问题责任认定平均耗时	4.2 小时	15 分钟	94.0%
质量验收资料归档完整率	81%	100%	23.5%
因质量问题导致的工期延误天数	11 天	2 天	81.8%

从表 2 的数据可知，由于数字化管控体系的建立，参建各方之间形成了信息共享平台，所有的质量信息都可以被统一平台所掌握，而设计、生产、施工、监理等各方面可以实时查看同一个构件的所有质量数据，不再需要多次线下核对资料，质量相关跨方沟通会议次数减少 72.3%。同时所有的质量资料自动上传云端保存，不会出现纸质资料丢失、遗漏的现象，质量验收资料归档率达到了 100%，由于质量问题造成工期延误天数由原来的 11 天减少到现在的 2 天，为项目创造了明显的进度效益和经济效益。

4 数字化质量管控体系的优化方向与推广路径

4.1 体系的后续优化方向

目前的数字化质量管控体系还存在着不足之处。在未来可以使用 AI 视觉识别技术，对构件生产车间和现场装配区布置智能摄像头，用深度学习算法自动识别钢筋绑扎不到位、吊装作业不符合方案要求等质量问题的风险，减少人工作业的比例，提高质量控制水平。将管控体系同建筑产业互联网平台深度融合，把企业所有的质量数据归集到一起，实现跨项目质量数据分析，找出各类别的装配式工程质量缺陷的共同点和规律，创建更加精确的质量提前预防模型，提前对新的项目进行质量预控，减少质量不合格的可能性。

4.2 区域化推广的实施路径

武汉属于中部装配式建筑集群区域，可以利用三个途径来达到规模化的推广目的。第一为政策引导方面，地方政府住建部门可出台相关激励措施，把采用数字化质量控制系统的纳入装配式建筑示范工程，在补贴、评优评先等各方面给予倾斜支持，提高企业使用意愿。第二为产业协同层面，促使区域内装配式产业基地、施工企业、监理单位一起创建起统一的数字化质量管控数据标准，打通各个企业之间数据接口，防止出现新的“信息孤岛”。第三就是人才培养，在区域内建筑类院校及行业协会的指导下，有计划地对数字质量控制员进行系统

性的技能培训，培育出一批既有装配式施工工艺，又有数字能力的复合型质量管理人员，给体系的全面推广提供人才支持^[6]。

5 结语

装配式房建的质量控制是实现建筑产业高质量发展的关键所在，传统的质量管控模式已经不能满足行业的快速发展要求了。本文提出的基于端-边-云三级结构的数字化质量控制体系，把 BIM、物联网、大数据这些技术融合起来，达成装配式施工从构件生产，运输直到现场装配和竣工验收全部环节的闭环质量控制，武汉试点项目的数据证实了该体系可以明显缩减质量缺陷比例，并且缩减问题解决的时间周期，优化各方参与方的协作效率，很好地应对传统管控模式的主要难题，给建筑行业达成“双碳”目的和完成产业转型升级赋予关键性的核心支撑，助力我国装配式建筑产业全面迈向高质量发展的全新境界。

[参考文献]

[1]高伟波,梁加文.装配式智能建造:让城市美好生长——珠实集团旗下珠江建设打造智能建造与建筑工业化体系[J].中国建设信息化, 2022(16):4.

[2]郑伟煌.装配式混凝土住宅建筑工程施工技术的思考[J].数字化用户, 2020(51):0058-0060.

[3]庄美豹.基于 BIM 技术的钢结构装配式工业厂房工程建设[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2024(003):000.

[4]范景峰.装配式安置房建设施工管理实践分析[J].中国建筑金属结构, 2026(010):025.

[5]刘会莹.构建装配式机房施工质量风险管控体系及其实践[J].中国建筑金属结构, 2025(S1):39-41.

作者简介：李泽勇，1980.02.25，男，湖北广水，汉族，大学本科，工程师，研究方向：建筑施工。