

装配式建筑施工质量控制研究

文 / 边雪虎 阜阳兴达盛发展有限公司

摘要：在建筑工业化转型背景下，装配式建筑施工质量控制呈现系统性、协同性、技术性的多维要求。本文基于全面质量管理理论，构建“要素-过程-目标”三位一体的质量控制框架，剖析设计协同、构件生产、现场装配等核心环节的质量形成机理。研究揭示传统质量控制模式在标准化衔接、工序协同、技术适配方面的内在矛盾，提出以流程再造为基础、技术融合为支撑、责任体系为保障的质量管控策略。通过建立分级控制标准与动态反馈机制，为装配式建筑质量提升提供理论指导与实施路径，推动建造方式向精细化、集约化转型。

关键词：装配式建筑；施工质量控制；全面质量管理；流程再造；协同管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.17.037

引言

随着新型城镇化与绿色建造理念的深化，装配式建筑以其工业化生产优势成为建筑业转型升级的重要方向。这种建造模式通过将传统现浇作业转移至工厂预制，实现了构件生产的标准化、流程化，理论上可显著提升建造效率并减少质量波动。然而，不同于传统现浇建造模式，装配式建筑的质量控制贯穿设计深化、构件预制、运输安装、系统集成等多环节，呈现“前端决策影响大、中间环节衔接紧、末端质量验证难”的特征。当前行业实践中，质量问题频发暴露出各参与方协同不足、技术标准执行偏差、过程管控失效等深层矛盾。例如，设计阶段的构件拆分不合理可能导致生产模具反复修改，运输过程中的防护不当可能引发构件损伤，现场装配的工序混乱可能造成节点连接失效。这些问题不仅影响建筑性能，更制约着装配式建筑的推广应用。本文立足系统工程视角，构建适用于装配式建筑的质量控制理论框架，探索符合其建造规律的管理范式，为解决质量控制难题提供新思路。

一、装配式建筑施工质量控制的本质特征与核心矛盾

（一）质量形成的多维度特征

装配式建筑质量控制具有显著的系统特征，其质量形成过程可视为多要素耦合、多过程联动的复杂系统：

要素复合性：质量控制涵盖设计参数精准度、构件物理性能、节点连接可靠性、装配工艺合理性等多重要素。设计环节需兼顾建筑功能与构件生产可行性，构件生产需控制材料配比、模具精度及养护工艺，现场装配需确保吊装定位、节点连接与工序衔接，任一要素的偏差都可能引发系统性质量风险。

过程依赖性：各环节质量具有强关联性，前序环节质量直接决定后续工序可行性。例如，构件尺寸偏差可能导致安装时无法准确对位，进而影响结构整体受力性能；节点设计不合理可能造成现场连接操作困难，增加质量隐患。

技术交叉性：涉及建筑、结构、机电、装修等多专业协同，需解决预制构件与现浇部分、不同材料界面、新旧工艺衔接等技术问题。如预制墙板与现浇梁柱的节点处理，既要满足结构强度要求，又需考虑防水、保温

等功能整合。

（二）传统控制模式的内在矛盾

1. 标准化设计与差异化需求的适配矛盾

通用构件库建设滞后导致异形构件比例偏高，增加模具定制成本与质量控制难度。当前多数项目依赖传统设计思维，未建立完善的参数化构件库，遇个性化需求时需频繁调整设计，导致模具重复开发，生产环节质量波动加剧。

2. 工厂预制与现场装配的工序协同矛盾

预制厂质量检验标准与施工现场验收标准存在差异，导致质量责任界定模糊。工厂侧重构件本身性能检测，现场更关注安装后的整体效果，两者检验指标与方法的不统一，造成质量问题在工序交接时难以追溯。

运输存储过程中的防护措施不到位，可能引发构件损伤。长途运输中的振动颠簸、存放场地的不平整，易导致墙板开裂、边角破损等问题，这些隐性损伤在安装后可能影响结构整体性与使用功能。

3. 技术创新与管理能力的发展失衡矛盾

BIM模型的施工可行性验证不足，导致“模型与现场两张皮”现象。尽管BIM技术已广泛应用于设计阶段，但部分项目仅将其作为可视化工具，未充分利用模型进行施工模拟与质量预控，模型中的质量要求未能有效传递至生产与装配环节。

二、三位一体控制框架设计

基于全面质量管理（TQM）理论与PDCA循环方法，构建包含要素层、过程层、目标层的控制体系，实现质量控制的系统化、规范化。

（一）要素层：夯实质量控制基础

要素层作为质量控制的底层支撑，通过对人、机、料、法、环的系统化管理，构建质量形成的基础保障体系：

1. 人员资质管理：构建专业化人才梯队

实施装配式建筑专业技能认证制度，建立“初级操作-中级技术-高级管理”三级能力标准体系。在设计环节，要求设计人员掌握预制构件拆分原则与连接节点力学原理，定期参与工业化建筑技术培训；生产环节推行“双证上岗”制度，操作人员需同时具备构件制作技能证书与质量检验初级认证；安装环节建立特种作业人员动态管理库，针对吊装、灌浆等关键岗位实施年度能

力复核。例如，某龙头企业与高校共建装配式建筑产业学院，开发“设计-生产-装配”一体化实训课程，累计培养专业技术人员逾 5000 人，使关键岗位人员质量意识达标率提升至 92%。

2. 设备精度管控：构建智能运维体系

建立生产设备全生命周期数字档案，运用物联网技术实时采集模具温度、振动频率、机械臂定位精度等参

数，通过设备健康管理系统（PHM）进行状态评估。对于模具管理，采用三维扫描仪定期检测型腔尺寸，当偏差超过 $\pm 0.5\text{mm}$ 时触发自动校准程序；吊装设备配置智能荷载传感器，实时监控吊装过程中构件受力状态，避免因设备性能衰减导致的安装偏差。某预制厂通过设备智能化改造，使模具精度超标预警响应时间缩短至 15 分钟，吊装设备故障停机率降低 60%。



图 1 设备健康管理系统（PHM）

3. 材料可追溯体系：建立区块链溯源平台

从钢材热轧、水泥配比到构件出厂，构建全链条区块链追溯系统。原材料进场时，通过 RFID 芯片记录品种规格、炉批号、检验报告等 32 项信息；生产过程中，混凝土搅拌时间、养护温湿度等 28 项工艺参数实时上链；构件出厂前，将尺寸偏差、力学性能检测数据与 BIM 模型绑定。当现场发现质量问题时，可通过扫码在 2 分钟内定位至具体原材料批次、生产班组及检验人员，实现“问题可溯源、责任可界定、改进可追踪”。

4. 工艺标准化建设：构建动态标准体系

制定覆盖 12 大工序的《装配式建筑施工工艺标准手册》，采用“基础标准+专项技术”架构。基础标准明确混凝土搅拌时长（ ≥ 180 秒）、构件蒸养升温速率（ $\leq 15^\circ\text{C}/\text{h}$ ）等通用工艺参数；专项技术针对叠合板安装、套筒灌浆等关键工序，绘制三维操作流程并配套 AR 教学视频。某示范项目通过工艺标准化建设，使灌浆饱满度一次验收合格率从 78% 提升至 94%，构件安装效率提高 30%。

5. 环境条件控制：建立自适应调控机制

预制厂配置智能环境调控系统，通过温湿度传感器与 AI 算法联动，自动调节养护窑温湿度（温度偏差 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，湿度保持 $90\% \pm 5\%$ ）；施工现场建立气象预警响应机制，遇暴雨天气时自动启动构件堆场防水苫盖系统，高温时段调整吊装作业时间并增加构件表面保湿措施。某北方项目通过环境精准控制，使冬季施工构件强度达标时间缩短 48 小时，露天存放构件破损率降低 55%。

(二) 过程层：把控质量形成关键环节

过程层以质量形成逻辑为主线，通过四阶段动态监控实现质量风险的前置管理与过程控制：

1. 设计预控阶段：构建协同设计生态

建立“1+N”多专业协同平台（1 个主设计单位牵头，N 个生产、施工、部品厂商参与），在方案阶段即开展可建造性评审。运用参数化设计工具，将构件尺寸公差、连接节点施工空间等建造需求嵌入设计模型，通过 BIM 碰撞检查提前发现 85% 以上的接口冲突。例如，某保障房项目在设计阶段发现预制楼梯与现浇平台标高冲突问题 12 处，避免了后期现场剔凿整改，节约工期 15 天。

专项节点评审引入“力学性能-施工便利-耐久性”三维评价体系，邀请结构工程师、施工技术专家、运维单位代表组成评审组。针对外挂墙板连接节点，除验算承载力外，重点评估灌浆套筒安装空间是否满足扳手操作要求，以及节点防水构造是否便于后期检修，从源头避免“设计合理但施工困难”的质量隐患。

2. 生产管控阶段：构建智能生产单元

模具管理采用“使用-维护-报废”闭环流程，建立模具寿命预测模型，根据开合模次数、表面磨损程度等参数智能判断报废时机。某 PC 构件厂通过模具全生命周期管理，使模具平均使用寿命延长 20%，构件尺寸合格率从 89% 提升至 96%。

混凝土配比控制集成原材料数据库与实时环境数据，当砂含水率波动超过 $\pm 0.5\%$ 时，自动触发配合比调整程序，确保水胶比偏差控制在 $\pm 1\%$ 以内。生产过

程中，通过机器视觉系统对构件表面裂缝、蜂窝麻面等缺陷进行实时检测，缺陷识别率达98%，实现质量问题的在线剔除。

3. 装配精控阶段：构建智能安装系统

测量定位采用“北斗+全站仪”复合定位技术，建立精度达 $\pm 2\text{mm}$ 的建筑坐标系，通过BIM模型自动生成各构件安装坐标参数。吊装过程中，无人机实时监测构件空间姿态，智能引导调整吊装角度，使墙板垂直度偏差控制在1/1000以内。

装配工序推行“标准化工序包”管理，每个工序包包含操作视频、质量检验表、安全须知三要素。例如，套筒灌浆工序包明确“注浆压力 $0.3\text{--}0.5\text{MPa}$ ”“保压时间 ≥ 30 秒”等操作参数，配套开发灌浆饱满度内窥镜检测技术，实现隐蔽工程质量的可视化验收。

4. 运维反馈阶段：构建持续改进机制

建立“用户反馈-问题诊断-流程优化”闭环系统，通过物业管理平台收集渗漏、异响等使用阶段质量问题，运用故障树分析法追溯至设计选型、生产工艺或安装操作环节。某项目通过运维反馈发现外挂墙板密封胶开裂问题，追溯发现为设计阶段未考虑地区温差变形，通过调整胶缝宽度设计并优化打胶工艺，使同类问题发生率下降70%。

(三) 目标层：建立分级质量目标体系

目标层以用户需求为导向，构建逐层递进的质量目标矩阵，实现从技术达标到用户满意的价值提升：

1. 基础性能目标：筑牢结构安全底线

制定严于国家标准的企业内控指标，如预制构件混凝土强度标准差 $\leq 3\text{MPa}$ ，钢筋保护层厚度偏差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内。建立第三方检测制度，对构件抗弯承载力、节点抗震性能等进行实体检测，检测覆盖率达100%。某超高层建筑项目通过严格的基础性能控制，使主体结构刚度实测值与设计值吻合度达98%，地震模拟振动台试验中结构响应参数偏差 $< 5\%$ 。

2. 功能保障目标：实现建筑性能集成

在防水设计中采用“材料防水+构造防水+节点防水”三重保障体系，预制外墙板接缝设置两道密封胶条，配合排水槽构造设计，使雨水渗漏试验通过率达100%。保温系统采用预制夹心保温墙板，通过优化保温层锚固节点设计，使热桥效应降低40%，建筑能耗指标优于国家标准25%。管线安装推行“预制预埋+模块化集成”技术，在构件生产阶段完成80%以上的管线预埋，现场安装误差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。

3. 用户体验目标：打造精细化品质工程

针对墙体开裂问题，建立“材料收缩-构造措施-施工工艺”综合防控体系，通过选用低收缩混凝土、设置变形缝、控制安装应力等措施，使墙体裂缝投诉率下降65%。门窗工程采用企口式连接设计，配合高精度安装工艺，使气密性等级达8级（GB/T7107-2019），隔音性能提升至40dB以上。室内空间推行“毫米级精度”控制标准，楼板平整度偏差 $\leq 3\text{mm}$ ，墙面垂直度偏差 $\leq 2\text{mm}$ ，营造高舒适度的居住环境。

三、质量控制管理范式创新与实施路径

(一) 流程再造：构建全产业链协同机制

针对装配式建筑多参与方、多环节的特点，通过流程再造打破组织壁垒，实现质量管控的无缝衔接。建立跨参与方协同平台：开发基于云计算的质量管控平台，集成设计图纸、生产进度、施工日志等信息，实现各单位实时共享与问题协同解决。例如，设计单位可实时查看构件生产反馈，施工单位能提前获取构件到货信息，避免因信息滞后导致的质量问题。

推行一体化承包模式：鼓励采用“设计-生产-装配”总承包模式，明确总承包单位对全流程质量负责，统筹协调各分包单位的质量责任。通过统一的质量管理制度与奖惩机制，促使各环节主动关注上下游质量需求，减少推诿扯皮现象。

制定全流程质量控制图：梳理从设计到运维的所有质量控制节点，标注各环节输入输出标准、质量风险点及管控措施，形成可视化的质量控制指南，便于现场人员理解与执行。

(二) 技术融合：打造智能化管控体系

借助数字化技术提升质量控制的精准度与效率，实现从经验驱动向数据驱动的转变。BIM技术深度应用：在设计阶段建立包含几何信息、材料属性、质量要求的全信息模型，通过模型自动生成构件加工图与安装指引；施工阶段利用模型进行质量验收，实时比对实测数据与设计参数，快速定位偏差问题。

物联网技术实时监控：在构件运输过程中部署传感器，实时追踪振动、温湿度等环境参数，发现异常立即预警并采取防护措施；在施工现场设置智能监测终端，实时采集吊装荷载、节点位移等数据，动态评估安装质量。

质量验收数字化转型：开发移动端质量验收系统，现场人员通过手机或平板录入实测数据，系统自动与模型参数比对并生成质量报告，实现验收过程的无纸化与标准化，提高数据处理效率与准确性。

结语

装配式建筑施工质量控制本质上是对建造全产业链的系统优化，需要突破传统单环节管控思维，建立覆盖全要素、全过程的协同控制体系。本文构建的“要素-过程-目标”理论框架，通过要素层夯实基础、过程层把控关键、目标层引领方向，为质量控制提供了清晰的逻辑路径；提出的流程再造、技术融合、制度保障三大实施路径，针对性解决了当前存在的协同不足、技术滞后、责任模糊等问题。

参考文献

- [1] 邢立军. 装配式钢结构模块化设计与快速施工技术[J]. 铁道建筑技术, 1-5 [2025-05-08].
- [2] 刘国, 魏楠, 侯亚明. 基于EPC工程总承包模式的装配式建筑施工安全管理策略分析[J]. 中华建设, 2025, (05): 63-65.
- [3] 杨成. 装配式建筑施工阶段质量风险评估指标体系研究[C]//《中国招标》期刊有限公司. 新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(一). 合肥高新技术产业开发区建设发展局; 2025: 103-104.