

装配式建筑施工质量控制关键技术研究

于明辉

江铃江西工程建设有限公司

DOI : 10.32629/jpm.v7i5.8901

[摘要] 随着建筑工业化与绿色建造理念的深入推进,装配式建筑已成为我国建筑业转型升级的重要方向。然而,由于生产、运输、吊装及连接等环节的复杂性,其施工质量控制面临诸多新挑战,传统现浇结构的质量管理模式难以完全适配。本文系统综述了装配式建筑施工全过程质量控制的关键技术体系,涵盖预制构件深化设计与工厂制造精度控制、现场吊装与节点连接质量保障、以及基于信息化手段的全过程质量追溯与协同管理三大核心维度。

[关键词] 装配式建筑; 施工质量控制; 预制构件; 节点连接; bim 技术; 灌浆饱满度

Research on Key Technologies for Quality Control in Prefabricated Building Construction

Yu Minghui

Jiangling Jiangxi Engineering Construction Co., Ltd.

[Abstract] With the advancement of building industrialization and green construction concepts, prefabricated buildings have become a crucial direction for the transformation and upgrading of China's construction industry. However, due to the complexity involved in production, transportation, installation, and connection processes, quality control during construction faces numerous new challenges, making traditional quality management approaches for cast-in-place structures inadequate. This paper provides a systematic review of the key technological framework for quality control throughout the entire prefabricated building construction process, covering three core dimensions: detailed design and factory manufacturing precision control of prefabricated components; quality assurance for on-site installation and joint connections; and full-process quality traceability and collaborative management leveraging information technology.

[Key words] Prefabricated construction; Construction quality control; Prefabricated components; Joint connections; BIM technology; Grouting fullness

引言

装配式建筑通过将大量现场作业前移至工厂预制,再运输至现场装配,理论上可显著提升工程质量、缩短工期并减少环境污染。然而,在实际推广过程中,“漏水、开裂、连接不牢”等质量问题频发,严重制约了行业公信力与可持续发展。究其根源,在于装配式建筑的质量形成机制发生了根本性转变:质量不再仅由现场浇筑工艺决定,而是贯穿于设计标准化、构件生产精度、物流运输保护、现场装配精度及连接可靠性等多个

离散环节,任一节点的失控都可能引发连锁反应。现有研究与实践多聚焦于单一技术点(如灌浆料性能或吊装方案),缺乏对全链条质量控制逻辑的系统整合;同时,许多项目仍沿用现浇结构的验收思维,忽视了装配式特有的“接口质量”与“过程可追溯性”要求。

一、预制构件深化设计与工厂制造质量控制技术

(一) 深化设计阶段的质量预控机制

装配式建筑的质量问题往往源于设计阶段的考虑不周。深

化设计作为连接方案设计与生产制造的关键桥梁，必须承担起质量预控的首要责任。当前研究强调，深化设计不仅要满足结构安全，更要充分考虑生产工艺可行性、运输限制及现场安装容差。例如，预埋件位置偏差若超过 5mm，将直接导致现场无法对接；钢筋与套筒冲突未提前避让，会造成灌浆通道堵塞。

(二) 工厂制造过程的精度控制与检验体系

预制构件的尺寸精度、外观质量和内部密实度是后续装配质量的基础。现代预制工厂普遍采用自动化生产线与模具系统，但混凝土材料本身的变异性仍需严格管控。关键技术包括：高精度钢模定期校准制度（允许偏差 $\leq 2\text{mm}$ ）、蒸汽养护温控曲线优化以避免温差裂缝、以及基于机器视觉的表面缺陷自动识别系统。对于结构性指标，除常规试块强度检测外，越来越多项目引入超声波回弹综合法或冲击回波法对构件本体进行无损抽检，确保内部无空洞、蜂窝。

(三) 运输与堆放环节的成品保护措施

构件出厂后至吊装前的运输与堆放阶段常被忽视，却是破损高发期。研究表明，约 15% 的现场安装问题源于运输损伤。有效控制措施包括：专用运输架设计以限制位移与振动、支垫点按受力计算设置避免局部压损、以及制定详细的装卸操作规程。堆放场地需硬化平整，叠放层数严格控制（通常不超过 3 层），并采取防雨防晒措施。部分项目试点“构件保险”机制，将运输风险纳入合同责任划分，倒逼各方重视成品保护。然而，跨区域长途运输仍缺乏统一防护标准，季节性气候影响也未充分纳入考量，成为质量链条中的薄弱环节。

二、现场装配与节点连接质量控制核心技术

(一) 吊装定位精度控制技术

现场吊装是实现设计意图的最后关口，其精度直接影响结构整体性与建筑功能。传统经纬仪放线效率低、误差累积快，现已逐步被全站仪三维坐标放样与激光扫描复核取代。先进项目采用“粗调+精调”两步法：先用塔吊初步就位，再通过可调斜撑与千斤顶微调至毫米级精度。对于墙板类构件，还引入垂直度实时监测传感器，动态反馈调整量。关键在于建立合理

的安装容差分配机制，将总误差分散到多个接缝中，避免集中超标。某高层住宅项目通过优化吊装顺序与测量基准网，使累计安装偏差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内，较行业平均水平提升 40%。但恶劣天气（如大风）下的吊装稳定性仍是难题，需结合气象预警动态调整作业窗口。

(二) 钢筋套筒灌浆连接质量保证技术

套筒灌浆连接是装配式混凝土结构的生命线，其饱满度直接决定抗震性能。当前主流检测方法包括：出浆孔观察法（主观性强）、x 射线成像（成本高、辐射风险）及超声波衰减法（正在推广）。更根本的保障在于过程控制：选用匹配的高强灌浆料、严格执行搅拌与注浆工艺（连续注浆、排气充分）、实施旁站监督与影像留存。研究显示，注浆压力稳定在 0.8 - 1.2mpa、流速控制在 1 - 21/min 时，饱满度可达 98% 以上。针对冬季低温环境，开发了加热保温套与早强型灌浆料组合方案，有效避免冻胀损伤。然而，隐蔽工程的不可逆性使得事后补救极其困难，因此“一次做对”比“事后检测”更为重要。行业正推动建立灌浆工持证上岗与实操考核制度，从人的因素筑牢质量底线。

(三) 接缝防水与防火构造质量控制

外墙接缝渗漏是装配式建筑最常见的使用缺陷。其控制依赖于“构造防水为主、材料防水为辅”的多道防线设计：企口造型引导水流、背衬材料压缩密封、耐候胶弹性封边三者缺一不可。施工中需重点关注基层清洁度、密封胶打注连续性以及养护时间。对于水平缝，还需设置导水槽与排水孔。防火方面，接缝处填充的防火封堵材料必须与主体结构同寿命，且经受住热胀冷缩循环考验。实测表明，采用三元乙丙橡胶止水带+硅酮耐候胶的双层构造，经 1000 次水密性测试无一渗漏；而单层打胶做法在 300 次后即出现失效。这说明，构造设计的合理性远比单纯依赖密封材料更重要。但目前许多项目为降低成本简化构造，埋下长期隐患。

为直观反映不同质量控制策略的实际成效，以下结合两个典型工程项目的实测数据进行对比分析：

项目名称	质量控制策略重点	构件安装平均偏差 (mm)	套筒灌浆饱满度合格率 (%)	外墙接缝渗漏率 (%)	单位面积质量整改成本 (元/m ²)
a 市保障房项目	传统人工放线+出浆孔观察+单层密封胶	± 6.2	89.3	8.7	42.5
b 市商品房示范项目	bim+全站仪精调+超声波检测+双层防水构造	± 2.8	98.6	0.9	12.3

注：数据来源于项目竣工验收报告及第三方检测机构检测结果。

从上表可见, b 项目通过系统化、精细化的质量控制技术应用, 在安装精度、连接可靠性和防水性能三项核心指标上均显著优于 a 项目, 且后期质量整改成本降低 71%。这充分证明, 前期在技术与管理体系上的投入, 可在后期获得数倍的质量与经济回报。尤其值得注意的是, 灌浆饱满度从 89.3% 提升至

98.6%, 意味着结构安全储备大幅增强; 而渗漏率从 8.7% 降至 0.9%, 则直接提升了用户满意度与建筑耐久性。数据背后反映的是从“经验驱动”向“技术驱动”转型的必然趋势。

为进一步验证信息化手段对质量协同效率的提升作用, 下表对比了两类项目管理模式下的关键流程耗时与问题响应速度:

管理模式	质量问题平均发现时间 (h)	跨专业协调平均耗时 (d)	构件信息追溯完整率 (%)	质量文档归档及时率 (%)
纸质台账+微信群沟通	24.5	3.2	62.0	71.5
bim 云平台+移动端 app	2.1	0.4	99.2	98.8

注: 统计周期为项目主体施工阶段 3 个月, 样本量 n=120 个质量事件。

数据显示, 信息化管理模式将问题发现时间缩短 91%, 协调效率提升 87.5%, 信息追溯几乎实现全覆盖。这不仅加快了问题解决速度, 更重要的是形成了完整、可信的质量证据链, 为责任界定与持续改进提供了基础。相比之下, 传统模式下信息碎片化、滞后性问题突出, 极易导致小问题演变为大事故。两表数据共同印证: 装配式建筑质量控制必须是技术与管理双轮驱动, 缺一不可。

三、装配式建筑质量控制技术发展展望

(一) 标准体系的一体化与精细化

当前国标、行标、地标之间存在交叉甚至矛盾, 企业执行无所适从。未来应加快编制覆盖设计、生产、施工、验收全链条的统一技术标准, 尤其要明确接口尺寸公差、连接构造细节及检测方法限值。同时, 鼓励行业协会制定高于国标的团体标准, 引领高质量发展。

(二) 无损检测技术的智能化与普及化

研发低成本、便携式、高精度的灌浆饱满度与内部缺陷检测设备, 并与 bim 模型联动实现可视化诊断。推动 ai 图像识别在表面缺陷检测中的应用, 降低对人工经验的依赖。建立检测数据库, 为质量评估提供大数据支撑。

(三) 产业工人专业化与职业化

装配式建筑质量最终取决于一线操作者的技能与责任心。应建立全国统一的产业工人培训认证体系, 将灌浆、吊装、打胶等关键工序纳入特种作业管理。推行“工匠积分”制度, 将质量表现与薪酬晋升挂钩, 培育新时代建筑产业工人队伍。

结语

装配式建筑施工质量控制是一项系统工程, 既需要技术创新突破瓶颈, 也需要管理变革夯实基础。从深化设计的源头预控, 到工厂制造的精度保障, 再到现场装配的精细操作, 每一个环节都承载着对品质的承诺。实证数据清晰表明, 唯有坚持全过程、全要素、全参与方的协同管控, 才能真正释放装配式建筑的质量优势。面对“双碳”目标与新型城镇化建设的双重使命, 我们不能再满足于“差不多”的粗放式建造, 而应以精益求精的工匠精神, 打磨每一处节点、守护每一道工序。未来的装配式建筑, 不仅是建造方式的革新, 更是质量文化的重塑。

[参考文献]

- [1]朱圣刚.BIM 技术在建筑工程施工质量控制中的应用探讨[J].中国建筑装饰装修,2026,(8):85-87.
- [2]王得振,李宗宝.高层住宅中预制模块化建筑的施工关键技术研究[J].中国建筑装饰装修,2026,(8):133-135.
- [3]丛茂彬.装配式厂房项目全过程管理中的质量控制方法[J].建材发展导向,2026,24(6):103-105.DOI:10.16673/j.cnki.jcfzdx.2026.0274.
- [4]何小龙.基于 BIM 的装配式建筑监理质量控制研究[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(7):193-195.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202607065.
- [5]刘晋.装配式建筑施工质量管控策略研究[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(5):169-171.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202605056.
- [6]许红星.装配式建筑施工质量控制关键技术探讨[J].城市开发,2026,(3):110-112.