

装配式建筑工程施工质量控制的关键环节与策略

吕永彬

中益诚达建设集团有限公司 河北 唐山 063000

摘要：装配式建筑作为推动建筑业转型升级、实现绿色低碳发展的重要路径，其“工厂预制、现场装配”的核心模式对施工质量控制提出了全新的、系统性的挑战。与传统现浇模式不同，装配式建筑的质量控制贯穿于设计、生产、运输、吊装、连接及验收的全生命周期，任何一个环节的疏漏都可能引发连锁反应，导致构件错位、节点失效、渗漏开裂等严重质量问题。本文旨在深入剖析装配式建筑工程施工质量控制的核心关键环节，并针对性地提出一套涵盖技术、管理与协同的综合优化策略。研究表明，通过强化以BIM为核心的协同设计、严控基于RFID追溯的构件生产源头、保障物流与现场毫米级精准安装、攻克以无损检测为保障的节点连接难题，并构建全过程数字化管理体系，能够有效破解当前面临的质量管控瓶颈，为我国装配式建筑的高质量、规模化发展提供坚实的理论支撑与实践指导。

关键词：装配式建筑；施工质量；关键环节；灌浆套筒；RFID追溯

引言

在全球倡导可持续发展的大背景下，建筑业正经历一场深刻的绿色革命。装配式建筑以其标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修和信息化管理的显著优势，成为这场革命的先锋。它不仅大幅缩短了工期、减少了现场湿作业和建筑垃圾，更因其在受控环境下生产而具备了更高的质量一致性潜力。然而，理想与现实之间仍存在鸿沟。在实际工程应用中，由于产业链条长、参与方众多、接口复杂，装配式建筑时常暴露出诸如外墙板拼缝渗漏、叠合板接缝开裂、预制柱垂直度偏差过大、灌浆套筒连接不饱满等质量问题，严重影响了其市场口碑和推广进程。究其根源，在于传统的、以现场为中心的质量管理模式已无法适应装配式建筑“制造+建造”深度融合的新业态。质量控制的重点必须从现场向工厂前移，从单一工序向全链条协同转变。因此，系统性地识别并掌控施工过程中的关键质量控制环节，并制定科学有效的应对策略，已成为行业亟待解决的核心课题。本文将以此为出发点，结合最新技术进展与工程实践，展开深入探讨。

1 装配式建筑工程施工质量控制的关键环节深度解析

装配式建筑的施工流程可概括为“设计-生产-运输-安装-连接-验收”，每个阶段都蕴含着独特的质量风险点。

1.1 设计深化与协同环节：质量控制的源头

设计是所有后续活动的蓝图，其质量直接决定了项目的成败。装配式建筑的设计不仅仅是建筑、结构、水电等专业的简单叠加，更要求进行精细化的深化设计，明确每一个构件的尺寸、预留预埋位置（如线盒、套

管、吊点）、临时支撑点以及复杂的连接节点构造（如梁柱节点、墙板竖向接缝）。常见的设计问题包括：各专业图纸冲突（如管线穿梁位置与钢筋冲突）、构件拆分不合理导致吊装困难或现场大量后浇、连接节点设计过于复杂或缺乏标准化，这些都将给生产和施工带来巨大麻烦，甚至造成返工或质量隐患。例如，若未在深化设计阶段精确考虑外挂墙板与主体结构间的变形协调，极易在后期使用中因温差或沉降产生裂缝。

1.2 预制构件生产环节：质量控制的基石

构件在工厂的生产质量是整个建筑质量的基石。此环节的质量控制要点在于原材料（水泥、骨料、钢筋、外加剂）的严格检验、混凝土配合比的精准控制、模具的精度与维护、钢筋骨架的绑扎与定位（特别是保护层垫块的设置）、混凝土的浇筑振捣与养护制度，以及成品的出厂检验^[1]。任何一道工序的偏差，如混凝土强度不足、保护层厚度超差、预埋件位置偏移超过 $\pm 5\text{mm}$ ，都会被带到施工现场，且难以修正。对于带有保温层和饰面层的一体化外墙板，其复合工艺的质量更是直接关系到建筑的节能性能和外观耐久性。

1.3 构件运输与现场堆放环节：质量控制的脆弱带

预制构件体积大、重量重、且多为薄壁结构，在运输和现场二次搬运过程中极易因碰撞、支垫不当（如未使用柔性垫木）或超限堆载而产生裂缝、掉角等损伤。特别是对于带有装饰面层的外墙板，表面划伤或破损会直接影响建筑外观。此外，现场堆放场地若未硬化或排水不畅，可能导致构件底部受潮、污染，影响后续安装精度和粘结性能。运输过程中的动态荷载也可能导致内部微裂缝的产生，虽肉眼不可见，但会削弱构件的长期

性能。

1.4 现场吊装与定位环节：质量控制的精度核心

现场装配是将“积木”搭建成“大厦”的关键一步，其核心要求是“毫米级”的精度。此环节的质量控制难点在于：测量放线的准确性（需采用高精度全站仪进行三维坐标放样）、起重设备的选型与操作稳定性（需考虑风荷载影响）、专用吊具的合理性（确保构件受力均匀），以及安装工人的技能水平。一旦出现构件就位偏差，轻则影响外观和后续工序，重则导致受力不均，危及结构安全。例如，预制柱的垂直度偏差若超出规范允许的 $H/1000$ 且不大于15mm的要求，将直接影响上部结构的承载能力。叠合板的搁置长度偏差也必须严格控制，否则会影响楼板的整体受力。

1.5 节点连接与后浇筑环节：质量控制的生命线

装配式建筑并非简单的“搭积木”，其整体性和安全性依赖于可靠的节点连接。目前主流的连接方式包括套筒灌浆连接、浆锚搭接、后浇混凝土核心区等。其中，套筒灌浆连接的质量控制尤为关键和困难。灌浆料的流动性（初始流动度 $\geq 300\text{mm}$ ）、30分钟流动度保留值、竖向膨胀率（3h应为0.02%-0.50%）及28天抗压强度（ $\geq 85\text{MPa}$ ）必须符合JG/T 408标准。灌浆操作必须饱满、密实，确保钢筋与套筒之间无空洞^[2]。这一过程隐蔽性强，质量难以直观检验，是公认的高风险环节。此外，叠合板、叠合梁的后浇层混凝土浇筑质量，也直接影响楼盖的整体刚度和防水性能，新旧混凝土结合面的凿毛处理（粗糙度C级以上）和界面剂涂刷至关重要。

2 装配式建筑施工质量优化的核心策略体系

针对上述关键环节，必须构建一个多层次、立体化的质量优化策略体系。

2.1 强化设计引领，推行基于BIM的一体化协同设计

2.1.1 全面应用BIM技术构建标准化构件库

在项目初期即建立全专业的BIM模型，并依托企业级或项目级的标准化预制构件族库（Family Library）。该族库应包含参数化驱动的各类常用构件（如不同模数的内墙板、外墙板、叠合板、楼梯等），其几何信息、材质信息、生产信息（如脱模方向、吊点位置）和安装信息均已内置。这不仅能大幅提升设计效率，更能从根本上保证设计的标准化和模数化，减少非标构件。

2.1.2 实施多专业协同与虚拟建造

利用BIM平台的碰撞检查功能，提前发现并解决建筑、结构、机电、精装等各专业间的硬碰撞（实体冲突）和软碰撞（空间不足）。通过4D（时间）/5D（成本）模拟，对复杂的吊装顺序、大型机械站位、临时支

撑方案进行可视化推演和优化，并生成直观的施工动画用于对一线工人的交底，确保设计意图被准确执行。

2.2 严控构件生产源头，打造基于RFID的透明化工厂

2.2.1 实施驻厂监造与智能化生产

业主或监理单位派遣专业人员常驻构件厂，对关键工序进行监督。同时，工厂自身应引入自动化钢筋加工生产线、智能布料机、自动振捣台和智能蒸汽养护窑等设备，减少人为误差，提升构件尺寸精度（如长度、宽度、对角线偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内）和混凝土密实度。

2.2.2 构建“云-边-端”RFID全生命周期追溯系统

（1）终端层（端）：在构件浇筑前，将耐高温、抗压的超高频（UHF）RFID芯片植入构件内部特定位置（如远离主筋的角落），或牢固粘贴于构件表面。该芯片即为构件的“数字身份证”。（2）边缘层（边）：在工厂的各个关键工位（如钢筋绑扎区、浇筑区、养护区、质检区、出货区）部署固定式RFID读写器。当带有标签的构件经过时，系统自动采集并关联该工序的操作人员、设备参数、质检数据（如回弹强度、尺寸复核结果）等信息。（3）云端层（云）：所有数据实时上传至云端管理平台，形成完整的电子履历。在施工现场，管理人员只需用RFID手持终端扫描构件，即可瞬间调取其全部生产信息、质检报告、三维模型及安装指导视频。这套系统彻底打通了“人、机、料、法、环”的数据孤岛，实现了从原材料到运维的全过程可追溯。

2.3 保障物流与现场管理，呵护构件“最后一公里”

2.3.1 制定专项运输与吊装方案

根据构件的形状、重量和重心，利用有限元分析软件模拟运输过程中的应力分布，据此设计专用的运输架和柔性吊具（如平衡梁、专用夹具），确保运输途中的稳定性和安全性。现场规划合理的堆放区域，采用橡胶或木质柔性垫块，并严格控制堆高层数（通常不超过6层）^[3]。

2.3.2 应用高精度测量与智能引导技术

采用高精度全站仪或激光跟踪仪进行精准放线。在构件上预设高精度的定位标识（如嵌入式金属靶标）。结合AR（增强现实）技术，工人通过佩戴AR眼镜，可直接在视野中看到构件应放置的虚拟轮廓和偏差提示，辅助其快速、准确地完成毫米级就位，将安装效率和精度提升一个数量级。

2.4 攻克节点连接难题，确保结构整体安全

2.4.1 严格管控灌浆套筒施工全过程

对灌浆料进行严格的进场复检。灌浆前，彻底清理套筒和连接腔，并进行密封性检查（可采用气密性测试）。灌浆过程应由经过专门培训并持证上岗的熟练工

人操作,采用压力灌浆法,并通过出浆孔观察,确保浆料饱满。灌浆完成后,应及时封堵灌浆孔和出浆孔,并做好养护。

2.4.2 综合运用多种无损检测技术进行质量验证

(1) 预埋传感器法:在灌浆前,在套筒内预埋微型振动传感器。灌浆后,通过激发振动并分析其衰减特性,可以判断灌浆的饱满度。固化后的灌浆料与空气的振动衰减规律截然不同。(2) X射线数字成像法(DR):对于关键受力部位或抽检怀疑区域,可采用便携式X射线机进行数字成像。该方法能直观显示套筒内部灌浆的密实情况及钢筋插入深度,但受限于墙体厚度(通常 $<200\text{mm}$)和辐射安全防护^[4]。(3) 气测容积法:如中建一局科研院研发的新技术,通过向套筒内注入定量气体并测量其压力变化,间接推算灌浆饱满度,具有无损、快速、精度高的优点。这些技术的综合应用,为这一隐蔽工程的质量提供了多重保险。

2.5 构建全过程数字化质量管理体系

2.5.1 搭建统一的智慧工地平台

整合BIM、物联网(IoT)、移动互联网等技术,将设计模型、构件RFID信息、施工进度、质量验评、安全监控等数据集成于一个平台。管理人员可随时随地通过手机或电脑查看项目状态,发现问题及时预警和处置。该平台应具备强大的数据中台能力,能够对来自不同系统的异构数据进行清洗、融合与标准化处理,为上层应用提供高质量的数据服务。

2.5.2 实施关键工序举牌验收与AI识别

对测量放线、构件吊装、灌浆作业、后浇混凝土浇筑等关键工序,实行“举牌验收”制度,留存带有时间、地点、人员、工序信息的影像资料。同时,在关键区域部署AI视频监控,自动识别未按规程操作(如灌浆时未全程录像)、安全违章等行为,实现全天候、无死角的智能监管,形成不可篡改的电子质量档案,实现质量责任终身可追溯。

2.5.3 深化大数据分析驱动的PDCA循环

平台不仅用于记录和监控,更应成为管理决策的智能引擎。通过对累积的海量质量数据(如构件偏差分布、灌浆饱满度合格率、常见缺陷类型)进行深度挖掘和趋势分析,系统可自动生成质量周报/月报,精准定位薄弱环节和高频问题。项目管理层可据此动态调整资源配置、优化工艺流程或开展针对性培训,真正将质量管理从“事后纠偏”转变为“事前预防”,驱动项目质量水平在“计划(Plan)-执行(Do)-检查(Check)-改进(Act)”的闭环中持续螺旋式上升。

3 结语

装配式建筑的施工质量控制是一项牵一发而动全身的系统工程。其成功与否,不在于某个孤立环节的完美,而在于全链条、各参与方的无缝协同与精益管理。本文通过对设计、生产、运输、安装、连接等关键环节的深度剖析,揭示了质量风险的根源所在,并据此提出了一套以“BIM协同设计为引领、RFID透明工厂为基石、毫米级精准安装为核心、无损检测可靠连接为保障、全过程数字平台为中枢”的综合优化策略。未来,随着人工智能、大数据分析等技术的进一步融入,例如利用机器学习算法分析历史质量数据以预测潜在风险,或通过数字孪生技术对建筑进行全生命周期的健康监测,装配式建筑的质量控制将变得更加智能、主动和高效。这不仅能有效解决当前的痛点,更能真正释放其在提升建筑品质、推动行业变革方面的巨大潜能,为我国新型建筑工业化的发展奠定坚实的质量基础。

参考文献

- [1]曹园杰.基于关键环节把控的装配式建筑工程施工质量控制[J].中国建筑金属结构,2025,24(17):114-116.
- [2]杨东辉,孔令洋,董玉峰.装配式建筑施工技术要点与质量控制措施探讨[J].中华建设,2026,(04):117-119.
- [3]朱晓娜.装配式建筑施工关键技术及质量控制措施探讨[J].中国建筑装饰装修,2026,(05):148-150.
- [4]宋大杰.预制装配式建筑施工质量控制技术的应用与优化研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(01):296-298.