

# 装配式建筑施工质量控制关键因素分析

张 力 邵 峰

潮峰钢构集团有限公司 浙江 杭州 310000

**摘要：**随着我国建筑业转型升级和“双碳”战略目标的推进，装配式建筑因其高效、节能、环保等优势，已成为建筑工业化发展的核心方向。然而，在推广过程中，施工质量问题频发，制约了其高质量发展。本文基于装配式建筑“设计—生产—运输—安装—验收”全生命周期视角，系统梳理影响施工质量的关键因素，构建“人、机、料、法、环、测”六维质量控制模型。研究表明：构件精度偏差、节点连接可靠性、施工组织协调性及信息化管理水平是当前质量控制的核心瓶颈。据此，提出强化全过程协同设计、完善构件标准化体系、提升现场装配精度、推动BIM与物联网技术融合等对策建议，以期为提升装配式建筑整体施工质量提供理论支撑与实践路径。

**关键词：**装配式建筑；施工质量；关键因素；全过程控制；BIM技术；节点连接

## 引言

近年来，国家大力推动新型建筑工业化，《“十四五”建筑业发展规划》明确提出“大力发展装配式建筑，2025年装配式建筑占新建建筑比例达到30%以上”。装配式建筑通过工厂预制、现场装配的方式，显著缩短工期、减少现场湿作业、降低资源消耗与环境污染，契合绿色低碳发展理念。然而，相较于传统现浇结构，装配式建筑对设计精度、构件制造、运输吊装及现场安装等环节提出了更高要求。实践中，因构件尺寸偏差、灌浆套筒连接失效、接缝渗漏等问题引发的质量事故屡见不鲜，严重制约行业健康发展。深入剖析装配式建筑施工质量控制的关键因素，不仅有助于识别质量风险源，优化施工流程，更能为政府监管、企业管理和标准制定提供科学依据。同时，构建系统化的质量控制体系，对推动建筑产业现代化、实现高质量发展目标具有重要现实意义。

### 1 装配式建筑施工质量控制关键因素模型构建

装配式建筑施工质量受多重因素交织影响，单一环节的疏漏可能引发连锁反应。借鉴全面质量管理（TQM）理论，本文从“人、机、料、法、环、测”六个维度出发，构建覆盖全生命周期的质量控制模型，以系统识别并管控各阶段的质量风险。

#### 1.1 “人”——人员素质与管理能力

人员是质量控制的主体，其专业素养与协同能力直接决定工程质量水平。在设计阶段，部分设计人员仍沿用传统现浇思维，未能充分考虑构件的可制造性与可装配性，导致拆分方案不合理，现场连接节点复杂化，为后续施工埋下隐患。在构件生产环节，一线工人若缺乏系统培训，对预埋件精确定位、混凝土振捣密实度控制等关键工序操

作不规范，极易造成构件内在或外观缺陷<sup>[1]</sup>。进入现场安装阶段，施工人员对新型连接工艺（如套筒灌浆、螺栓机械连接）的理解与掌握程度参差不齐，操作不当会严重影响结构的整体性和安全性。此外，项目管理人员若缺乏跨专业协同经验，难以有效统筹设计、生产与施工三方，无法及时解决接口冲突与变更问题，最终导致质量失控。因此，提升全链条从业人员的专业技能与协同意识，是保障装配式建筑施工质量的基础。

#### 1.2 “机”——设备与工具精度

机械设备与专用工具的精度与适用性是实现高质量装配的硬件保障。在预制构件厂，模具作为构件成型的“母体”，其自身的刚度、平整度及定期校准情况直接决定了构件的几何尺寸精度。一旦模具发生变形或磨损而未及时修复，将导致批量构件超差。在现场施工环节，吊装设备（如塔吊）及其配套的专用吊具选型不当或缺乏定期维护，不仅会影响吊装效率，更可能因晃动或碰撞造成构件边角破损甚至结构性损伤。对于依赖压力灌浆的连接节点，灌浆设备的压力稳定性至关重要，压力波动会直接影响浆料的流动性和最终密实度。此外，测量放线所用的全站仪、激光扫平仪等仪器若精度不足或未定期校验，将导致构件安装定位出现系统性偏差，这种偏差在高层建筑中会逐层累积，最终超出规范允许范围。

#### 1.3 “料”——原材料与构件质量

材料是构成建筑实体的根本，其质量优劣直接关系到工程的耐久性与安全性。在原材料层面，混凝土配合比设计若未充分考虑早期收缩特性，易在构件内部产生微裂缝，削弱其承载与抗渗能力；钢筋保护层厚度控制不严，则会加速钢筋锈蚀，影响结构使用寿命。在构

件成品层面,出厂检验环节若流于形式,未能有效剔除存在蜂窝、麻面、预埋件偏位等缺陷的不合格品,这些“带病”构件一旦进入施工现场,将极大增加质量风险。更为隐蔽的是运输环节,构件在长途运输过程中若支垫位置不当或车辆减震性能差,即便外观无明显破损,也可能因振动产生内部微裂纹或使既有缺陷扩展,而这类损伤往往在安装后才暴露出来,返修成本高昂。

#### 1.4 “法”——工艺方法与标准体系

科学合理的工艺方法与统一完善的标准体系是指导施工、评判质量的准则。当前,部分项目的装配式设计拆分方案过于追求预制率指标,忽视了结构受力合理性与现场施工便利性,导致连接节点数量过多、构造复杂,不仅增加了施工难度,也放大了质量失控的概率。在施工过程中,若未制定清晰、可操作的工艺流程,例如未严格执行“测量放线→支撑架设→构件吊装→三维校正→临时固定→灌浆封堵→接缝处理”的标准顺序,极易因工序颠倒或遗漏而引发质量问题<sup>[2]</sup>。更深层次的问题在于行业标准体系的不健全,不同厂家生产的构件在接口尺寸、连接方式上缺乏统一标准,兼容性差,迫使现场进行大量非标调整,严重损害了工业化生产的效率与精度优势。同时,现行的质量验收标准对一些关键但难以检测的指标(如灌浆饱满度、接缝防水层的连续性)缺乏明确、高效的检测方法规定,给质量评定带来主观性和不确定性。

#### 1.5 “环”——环境与外部条件

施工环境与外部条件虽为客观因素,但其对装配式建筑施工质量的影响不容忽视。温湿度是影响材料性能的关键变量,特别是在进行套筒灌浆作业时,低温环境会显著延缓灌浆料的水化反应,导致早期强度发展不足,无法有效传递荷载;而高温干燥环境则会加速水分蒸发,引起塑性收缩开裂。恶劣天气如雨雪、大风不仅会中断吊装等高空作业,迫使构件长时间露天堆放,还可能使堆放场地积水,导致构件底部受潮,影响后续与现浇层的粘结性能。此外,城市中心区域的施工现场往往场地狭小,若构件堆放规划不合理,不仅会增加二次搬运的次数和距离,提高构件损伤风险,还会加剧现场交通拥堵,干扰正常施工秩序。周边交通管制等外部政策限制也可能打乱精密的物流计划,造成构件供应不及时,迫使施工方仓促作业或改变工序,间接影响质量。

#### 1.6 “测”——检测与监控手段

有效的检测与监控是质量控制的最后一道防线,也是实现持续改进的数据基础。目前,许多项目在构件出厂前仅进行简单的尺寸抽查,缺乏利用三维激光扫描等先进

技术对每一块关键构件进行全面复核,导致微小但累积性的尺寸偏差未被发现。在现场安装完成后,对构件的垂直度、平整度等关键指标也多依赖人工测量,效率低且覆盖面有限,难以实现全过程、全方位的实时监控。对于至关重要的灌浆饱满度检测,主流方法仍是钻孔取芯,这种方法不仅具有破坏性,影响结构完整性,而且只能做到点状抽检,无法全面反映整个连接区域的质量状况。更根本的问题在于,设计、生产、运输、施工各环节的质量数据处于“孤岛”状态,未能通过统一的信息平台进行有效贯通与共享,使得质量问题难以追溯根源,也无法为后续项目提供有价值的反馈与优化依据。

## 2 装配式建筑施工质量控制优化对策

### 2.1 强化全过程协同设计(Design for Manufacturing and Assembly, DfMA)

为从根本上规避设计源头的质量隐患,必须大力推行面向制造与装配的设计(DfMA)理念。具体而言,应积极推广EPC(设计—采购—施工)工程总承包模式,由一家具备全产业链整合能力的单位主导项目,确保设计意图能够贯穿至生产与施工的每一个细节。在此基础上,应深度应用BIM技术,在设计阶段即开展虚拟建造模拟,对构件的拆分、运输、吊装及连接全过程进行数字化预演,提前暴露并解决潜在的碰撞、干涉与安装困难等问题。同时,行业主管部门应加快编制并推广《装配式建筑标准化设计指南》,从国家或区域层面统一建筑模数、构件接口形式及连接构造做法,最大限度地实现“少规格、多组合”,为高质量、高效率的工业化生产与装配奠定坚实基础。

### 2.2 完善构件生产质量保障体系

预制构件作为装配式建筑的“细胞”,其质量是整体工程品质的基石。为此,亟需建立严格的构件生产厂质量认证与准入制度,将ISO 9001质量管理体系与针对预制构件(PC)的专项技术标准相结合,作为市场准入的基本门槛。在生产过程中,应大力引进高精度的数控模具和自动化生产线,通过智能化控制将构件的尺寸公差严格控制在 $\pm 1.5$ 毫米以内,确保其互换性与安装精度<sup>[3]</sup>。同时,可引入基于人工智能(AI)的视觉检测系统,在构件脱模后自动对其表面质量、预埋件位置及几何尺寸进行全方位扫描与分析,实现缺陷的自动识别与分类,大幅提升出厂检验的客观性与可靠性。

### 2.3 提升现场装配精度与工艺水平

现场装配是将“工业产品”转化为“完整建筑”的关键环节,其精度与工艺水平直接决定了最终质量。应鼓励研发和应用智能调平支撑系统,该系统可通过传感

器实时反馈构件的空间姿态,并驱动执行机构进行毫米级的微调,从而彻底解决传统人工校正效率低、精度差的问题。针对灌浆饱满度这一核心质量痛点,应大力推广超声波、X射线等非破坏性检测技术,实现对连接节点内部质量的无损、快速、全覆盖评估。此外,行业协会和大型企业应牵头编制权威的《装配式建筑施工工艺标准手册》,对各类连接、防水、吊装等关键工序的操作流程、技术参数和验收标准进行详细规定,并配套开展系统化的工人技能培训与认证,全面提升一线作业人员的专业素养。

#### 2.4 推动数字化与智能化技术融合

数字化与智能化是破解装配式建筑信息割裂、实现精益管理的核心驱动力。应着力构建一个集“BIM+物联网(IoT)+区块链”于一体的全过程质量追溯平台。在该平台上,BIM模型作为信息载体,完整记录每个构件的唯一身份标识(ID)、详细生产参数、物流轨迹及精确安装位置;通过在构件上粘贴RFID标签或二维码,可实现从工厂到现场的全程物流追踪;而利用区块链技术不可篡改的特性,可将关键工序(如灌浆、校正、验收)的影像、数据及责任人信息实时上链存证,确保质量责任可追溯、过程透明可信<sup>[4]</sup>。更进一步,可应用数字孪生(Digital Twin)技术,将物理施工现场的状态实时映射到虚拟模型中,通过大数据分析 with 人工智能算法,对潜在的质量风险进行动态预警,变被动应对为主动预防。

#### 2.5 健全标准规范与监管机制

完善的法规标准与强有力的监管是保障行业健康发展的外部环境。当前,应尽快启动对《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T 51231)等核心规范的修订工作,

重点细化对节点连接可靠性、接缝防水耐久性、构件尺寸公差等关键性能指标的技术要求与检测方法。在监管层面,可引入第三方“飞行检查”(Fly-in Inspection)制度,由独立机构不定期对构件生产厂和施工现场进行突击抽查,以其客观公正的结果作为评价企业质量信用的重要依据。最终,应将企业的质量表现与其市场准入、招投标资格及资质等级动态挂钩,对屡次出现重大质量问题的企业实施“黑名单”惩戒,形成“守信激励、失信惩戒”的市场导向,倒逼全行业提升质量意识与管控水平。

### 3 结语

本文系统分析了装配式建筑施工质量控制的关键因素,构建了涵盖“人、机、料、法、环、测”六个维度的全生命周期质量控制模型。研究表明,装配式建筑的质量问题本质上是系统性协同失效的结果,而非单一环节缺陷。未来,应着力推动设计标准化、生产智能化、施工精益化与管理数字化深度融合,构建以BIM为核心的全过程质量管控生态。唯有如此,方能真正释放装配式建筑的效率与品质优势,助力建筑业高质量发展。

#### 参考文献

- [1]冯奇.装配式建筑项目施工质量控制影响因素分析[J].居业,2025,(08):186-188.
- [2]王学斌.装配式建筑工程质量控制的关键因素分析与优化策略研究[J].中国品牌与防伪,2025,(04):119-121.
- [3]孙一辰.Z公司装配式建筑项目的施工质量控制影响因素分析[D].南京工业大学,2024.
- [4]徐冬梅.装配式建筑工程项目施工质量控制影响因素分析[J].建筑与预算,2024,(03):67-69.