

装配式建筑施工质量控制与风险防范研究

文迪海

江西萍乡建工集团有限公司 江西萍乡 337000

摘要：装配式建筑作为建筑工业化的重要发展方向，其施工质量与风险防范是确保工程建设成效的关键环节。本文围绕装配式建筑施工质量控制与风险防范展开研究，首先阐述了装配式建筑施工的特点及其对质量控制提出的特殊要求；其次，从设计阶段、构件生产阶段、运输阶段、现场安装阶段以及竣工验收阶段，系统分析了各环节质量控制的核心要点与关键技术；在此基础上，深入探讨了装配式建筑施工过程中可能面临的技术风险、管理风险、安全风险及环境风险等主要风险类型及其成因；最后，针对不同阶段的质量控制要点和各类风险因素，提出了一系列具有针对性和可操作性的质量控制策略与风险防范措施，旨在为提升装配式建筑施工质量、降低工程风险、推动装配式建筑健康可持续发展提供理论参考与实践指导。

关键词：装配式建筑；施工质量；质量控制；风险识别

引言

随着我国建筑产业转型升级推进，装配式建筑因高效、环保、质量可控等优势，在建筑市场应用渐广。与传统现浇混凝土建筑相比，其施工模式转变，主要构件工厂预制后运至现场装配连接。“工厂化生产、装配化施工”虽提高效率、减少污染，但对施工质量控制与风险防范要求更高更精细。施工中任一环节质量缺陷或风险事件，都可能影响建筑安全、耐久和使用功能，甚至引发事故。因此，研究装配式建筑施工质量控制方法，识别并防范施工风险，对保障工程质量、提升管理水平、促进行业绿色低碳发展有重要意义和价值。

一、装配式建筑施工质量的控制要点

（一）构件生产阶段的质量控制

构件生产阶段是装配式建筑质量控制源头，其控制水平决定最终建筑物结构性能与耐久性。此阶段质量控制贯穿原材料检验、模具准备、钢筋加工与绑扎、混凝土浇筑与养护、成品出厂全过程。原材料需严格批次检测，模具要建立日常检查、清理与定期校准制度。钢筋工程控制重点是规格、数量等参数，偏差会影响构件承载能力。混凝土浇筑要控制配合比、搅拌、浇筑及振捣质量，养护需用温湿度自动监控与调节系统。该阶段通过工厂化可控环境实施标准化、精细化流程管理，消除质量隐患，为后续装配化施工奠定基础。

（二）运输与堆放环节的质量控制

运输与堆放环节是易被忽视却重要的质量控制阶段，

预制构件在此期间有损伤风险。运输质量控制核心是合理装车方案与运输路径规划，构件支点位置要依力学特性设计，车辆要有减震功能，大型或异形构件需专门加固设计。现场堆放场地要平整坚实、排水良好，构件堆放层数、垫木位置与材质要符合规范，特殊构件需保护。此环节保障构件进入安装工序前的完整性，是保证整体工程质量的纽带^[1]。

（三）现场安装与连接施工的质量控制

现场安装与连接施工是装配式建筑质量形成的最终环节，质量控制关系到建筑整体性、安全性和使用功能。此阶段质量控制要点是安装精度和连接可靠性。安装精度控制包括轴线定位、标高控制和垂直度偏差校正，要用高精度测量仪器监控调整。连接施工形式多样，灌浆套筒连接要控制套筒清洁、钢筋插入深度等；后浇混凝土节点要确保结合面处理等质量；螺栓连接控制拧紧扭矩；焊接连接要进行外观检查与无损检测。该阶段通过高精度操作和严格检验程序，将独立构件集成为有机整体，对安装与连接过程的精细化控制是保障结构安全性能的根本保障。

二、装配式建筑施工过程中的主要风险识别

（一）构件生产与供应链风险

装配式建筑的工业化生产模式在提升效率的同时，也引入了新的、更为集中的风险源，即构件生产与供应链风险。此风险并非单一维度的质量问题，而是涵盖了从原材料采购到构件最终运抵现场的整个链条。在生产端，风险主要体现在质量控制的不稳定性与生产计划的

执行偏差。例如，模具的微小磨损或变形可能导致批量构件的尺寸偏差，而混凝土养护环境的温湿度波动则可能引发构件强度的离散性。这些在工厂内产生的微小误差，在现场安装时会被累积和放大，导致构件无法顺利拼装或连接节点存在质量隐患。生产计划的延误，无论是由于设备故障、原材料供应中断还是劳动力短缺，都将直接冲击后续的施工进度，造成现场吊装设备闲置和窝工，产生显著的经济损失。在供应链环节，风险则更为复杂和不可控。构件的超大、超重特性对运输车辆、路线规划和装卸设备提出了极高要求，运输过程中的颠簸、碰撞或不当堆放均可能造成构件的隐性损伤，如裂缝或预埋件位移。此外，构件从工厂到现场的物流链条涉及多个参与方，信息传递的滞后或失真极易导致构件到场顺序与现场安装计划不匹配，引发现场混乱和效率低下。因此，对构件生产与供应链风险的识别，其核心价值在于揭示了装配式建筑对产业链协同能力的极高要求。它促使管理者必须将风险管控的视野从传统的施工现场向上游延伸至生产制造和物流运输环节，通过建立一体化的信息管理平台 and 严格的质量追溯体系，实现对全链条风险的预见性管理与系统性控制^[2]。

（二）现场吊装与安装作业风险

现场吊装与安装作业是装配式建筑施工中风险最为集中的环节，其高风险性源于大型构件的空中移动、高空作业以及多工种的密集协同。此类风险具有动态性强、后果严重的特点。首先，吊装作业本身构成重大危险源，风险点包括起重机械的稳定性、吊索具的完好性、吊点设置的合理性以及指挥信号的准确性。任何一环的疏忽，如吊车支腿未完全伸展、钢丝绳出现断丝或吊点重心偏移，都可能导致构件失稳坠落，引发群死群伤的恶性事故。其次，高空作业风险贯穿于安装全过程，作业人员在构件就位、校正和连接时，往往处于临边或悬空状态，其个人防护装备的正确使用和安全带的可靠系挂是防止高处坠落的关键。再者，安装过程中的临时固定风险不容忽视，构件在永久连接完成前，仅依靠临时支撑或斜拉杆保持稳定，此时若遭遇突发强风或受到意外碰撞，极易发生倾覆。最后，人员与机械的交叉作业风险极高，吊装回转半径内的非作业人员若未有效清场，或构件下方存在其他工种作业，都可能造成物体打击事故。对这些风险的深入识别，其价值在于强调了作业前安全技术交底、吊装方案的专项审批、作业过程的实时监控以及应急预案的完备性。它要求施工组织必须将吊装与安装作业视为一个独立的、高风险的系统工程来管理，通过

精细化的流程设计和严格的现场监督，将动态的、不可逆的吊装过程置于可控状态之下，从而保障人员的生命安全和工程的顺利进行^[3]。

（三）各专业交叉施工与接口管理风险

装配式建筑的施工流程高度集成，但各专业间的交叉施工与接口管理却构成了新的复杂风险。这种风险主要源于不同专业系统在空间、时间和功能上的相互依赖与潜在冲突。在空间维度上，风险体现为物理接口的冲突。例如，预制构件上预留的机电设备孔洞、管线套筒或预埋件的位置，若与设计图纸存在偏差，或与现场实际安装的设备尺寸不符，将导致无法安装或需要进行二次开凿，这既破坏了构件的完整性，也影响了结构性能和施工效率。在时间维度上，风险表现为施工顺序的衔接不当。装配式施工的流水作业要求各专业高度协同，例如，外墙板安装后应立即进行防水处理和门窗安装，若后续工序未能及时跟进，不仅可能造成已安装构件的污染或损坏，还会影响整个施工网络计划的关键路径。在功能维度上，风险在于各专业系统间的性能匹配问题。例如，预制构件的连接节点不仅要满足结构受力要求，还必须兼顾保温、防水、防火等建筑物理性能，任何一方的疏忽都可能导致接口处成为性能的薄弱环节。对这些接口风险的识别，其核心价值在于揭示了装配式建筑对“系统思维”和“协同管理”的内在需求。它要求项目管理必须超越传统的专业分工壁垒，建立以BIM技术为核心的协同工作平台，在施工前进行各专业模型的碰撞检查和施工模拟，提前发现并解决接口问题。同时，通过制定明确的接口管理责任矩阵和标准化的作业流程，确保每个接口的责任主体、技术标准和验收要求都清晰可循，从而将潜在的交叉施工风险转化为可预见的、可管理的协同任务，保障整个建筑系统功能的最终实现^[4]。

三、装配式建筑施工质量风险的系统性防范策略

（一）基于全过程的质量协同管理机制

基于全过程的质量协同管理需整合预制构件生产、运输、现场安装、验收等环节，明确设计、预制厂、施工单位、监理单位的责任边界，避免环节脱节导致质量风险，某市装配式保障房项目（总建筑面积20万平方米，含12栋18层住宅，预制率60%，涉及预制叠合板、预制楼梯、预制外墙板3类构件，原分散管理模式下构件错配率达8%，工序衔接延误率12%）。项目构建“四方协同管理平台”（设计单位、预制厂、施工单位、监理单位共用）：预制构件生产前，设计单位上传构件深化图纸（含尺寸偏差允许值、钢筋定位精度要求）至平

台, 预制厂、施工单位联合审核确认; 生产阶段, 预制厂每日上传构件生产进度、检测报告(如混凝土强度报告、钢筋保护层厚度检测数据), 监理单位在线核验, 不合格构件(如混凝土强度未达C30)实时标记; 运输环节, 通过GPS定位追踪构件运输车辆, 施工单位根据运输进度提前规划现场堆放区域; 安装阶段, 施工单位上传构件安装影像资料, 监理单位现场核验后在平台签署验收意见。机制运行后, 项目构件错配率从8%降至2%, 工序衔接延误率从12%降至3%, 构件安装一次验收合格率从86%提升至98%, 符合《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T 51231-2016)中“构件安装一次验收合格率不低于95%”的要求。

(二) 关键工序的标准化与精细化管理

关键工序的标准化需针对装配式建筑核心工序(构件吊装、套筒灌浆、节点连接)制定统一操作流程与参数标准, 精细化管理每个操作步骤, 避免人为操作差异引发质量风险, 项目梳理3类关键工序并制定标准: 构件吊装工序, 明确吊点设置(预制外墙板设4个吊点, 间距按构件长度1:3分配)、起吊速度(起吊初期速度 $\leq 0.5\text{m/s}$, 接近安装位置时降至 $\leq 0.2\text{m/s}$)、垂直度控制(安装垂直度偏差 $\leq 5\text{mm/m}$), 配备专用激光投线仪监测垂直度; 套筒灌浆工序, 规定灌浆料搅拌时间(3-5分钟, 搅拌均匀无结块)、灌浆压力(0.3-0.5MPa)、灌浆顺序(从下口灌入, 上口流出后封堵), 每段灌浆完成后留存3组灌浆料试块(标准养护28天, 抗压强度 $\geq 85\text{MPa}$); 节点连接工序, 要求预制构件与现浇部分结合面凿毛深度 $\geq 6\text{mm}$, 钢筋搭接长度符合设计值($\geq 30d$, d 为钢筋直径), 浇筑前清理结合面杂物。同时, 对作业人员开展标准化培训, 考核合格后方可上岗(培训考核通过率需达100%), 现场配备工序检查表, 每道工序完成后由班组长、质检员双签字确认。标准化管理实施后, 预制构件吊装合格率为85%提升至99%, 套筒灌浆饱满度达标率从80%提升至98%, 节点连接部位混凝土裂缝发生率从7%降至1%, 关键工序质量风险显著降低。

(三) 信息化技术在质量追溯与风险预警中的应用

信息化技术应用需通过BIM建模、二维码追溯、数据监测等手段, 实现质量数据全生命周期可查, 并提前预警潜在风险, 解决传统质量追溯难、风险发现滞后的问题, 项目采用三项信息化措施: 一是建立BIM质量模型, 将构件信息(生产批次、材料性能、检测报告)嵌

入BIM模型对应构件, 施工人员通过移动端扫描模型即可查看详细数据, 避免纸质资料丢失导致的追溯断层; 二是为每件构件粘贴唯一二维码(包含构件编号、生产时间、安装位置), 质量问题发生时, 扫描二维码可快速追溯至生产、安装责任人, 追溯时间从原48小时缩短至2小时; 三是在套筒灌浆部位安装温度传感器(监测范围 -10°C ~ 80°C , 精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)、在预制叠合板安装后布设应力传感器(监测范围0-5MPa, 精度 $\pm 0.1\text{MPa}$), 传感器数据实时传输至管理平台, 当灌浆温度低于 5°C (影响灌浆料强度发展)或叠合板应力超3MPa(存在开裂风险)时, 平台自动推送预警信息至项目技术负责人。技术应用后, 项目质量问题追溯完成率从75%提升至100%, 风险预警准确率达92%, 因温度问题导致的灌浆料强度不达标事件从5起降至0起, 因应力超标导致的构件开裂事件从3起降至0起, 同时减少返工成本约60万元, 实现质量风险的主动防控^[5]。

结语

装配式建筑施工质量控制与风险防范是保障工程安全性和耐久性的核心环节。通过系统化的研究和实践, 可以发现质量控制需贯穿构件生产、运输、堆放、安装等全过程, 而风险防范则需要从技术、管理、信息化手段等多方面入手。在实际项目中, 建立协同管理机制、推行标准化操作流程以及应用信息化技术, 能够显著提升质量控制的精准性和风险预警的及时性。未来, 随着装配式建筑技术的不断发展, 行业还需进一步探索智能化、数字化管理手段的应用, 为构建更加高效、安全的建筑体系提供支撑。

参考文献

- [1] 农越. 装配式建筑施工质量影响因素与控制措施分析[J]. 2020.
- [2] 刘雷. 装配式建筑施工质量影响因素与控制措施[J]. 2020.
- [3] 马学武. 装配式建筑工程施工质量控制的重难点与监理对策[J]. 中国厨卫: 建筑与电气, 2021, 000(006): P.1-2.
- [4] 李雅丽. 装配式建筑施工安全风险评价及防控措施研究[D]. 安徽建筑大学, 2022.
- [5] 崔立琪. 装配式建筑施工的质量安全风险管控要点[J]. 建设监理, 2022(7): 68-70.