

装配式建筑施工质量控制与风险防范研究

罗鸣杰

江西省建工集团有限责任公司 江西南昌 330038

摘 要：装配式建筑的质量控制与风险防范是保障其高质量发展的核心。本文系统梳理了贯穿构件生产与现场安装全过程的质量控制要点，并识别了技术、管理、供应链及安全四大类关键风险及其传导效应。为应对挑战，提出了一套综合策略：构建覆盖设计、生产、运输、施工、验收的全过程质量控制体系，依托BIM、MES、物联网等技术实现标准化与信息化管控；同时，从技术、管理、供应链三维度建立主动防范机制，通过工艺创新、协同平台、双重检验及专项培训等手段，系统性降低风险。实践案例证明，该综合策略能显著提升构件一次验收合格率与整体工程质量，有效缩短工期，为装配式建筑的精益建造提供了系统性解决方案。

关键词：装配式建筑；质量控制；风险防范；全过程管理

引言

装配式建筑作为建筑工业化的重要方向，以其高效、节能、环保的优势，正成为行业转型升级的关键路径。然而，其“工厂生产、现场装配”的建造模式，也带来了构件精度要求高、连接节点复杂、参与方众多等新挑战，使得施工质量控制与风险防范的难度远超传统现浇模式。传统的、分散的质量管理方法已难以适应装配式建筑系统性、协同性的内在要求。因此，如何构建一个覆盖全链条、集成各要素的综合性质量控制与风险防范体系，成为确保装配式建筑安全、高效、优质发展的关键瓶颈。本研究立足于装配式建筑的建造特点，深入剖析其质量核心要素与风险来源，旨在提出一套科学、系统、可操作的综合管控策略，为提升装配式建筑工程管理水平提供理论依据与实践指导。

一、装配式建筑施工质量的核心要素与控制要点

（一）施工质量的核心要素界定

装配式建筑施工质量内涵具多维性与系统性，涵盖结构安全、使用功能，还涉及构件制造精度、连接可靠性、接口密封性及建筑整体性能等。结构安全是根本目标，要求建筑在荷载作用下有足够承载、刚度与稳定性，符合国家规范。使用功能涉及空间布局等舒适性指标，需在设计与施工中保障。构件尺寸精度是特有核心要素，其几何尺寸等影响安装可行性与精度，偏差大会致安装困难等问题。连接可靠性是结构整体性关键，多种连接形式质量决定传力与抗震性能。接口密封性关系到建筑接缝防水等性能，是保证耐久性与使用功能的重要环节。

建筑整体性能强调各子系统协调性与整体性，要求组装后有与现浇建筑相当或更优综合性能。全过程、系统性质量观是质量控制基础，需在全生命周期统筹控制各项质量要素，形成质量保障体系^[1]。

（二）关键环节的质量控制要点

装配式建筑施工全流程质量控制分构件生产与现场安装两大核心环节，各环节有关键控制节点，节点紧密衔接、相互影响，共同决定工程质量。构件生产阶段质量控制要点有模具精度、混凝土浇筑与养护、预埋件定位。模具精度是保证构件尺寸准确的基础，要保证其刚度与稳定性，控制尺寸偏差并定期检测维护。混凝土浇筑与养护影响构件强度与耐久性，要控制配合比、坍落度等，养护时控制温湿度和时间。预埋件定位很关键，其位置精度影响后续安装质量，要用专用装置固定并复核。现场安装阶段质量控制要点包括测量定位、吊装作业、灌浆连接、接缝处理。测量定位是安装精度前提，要建立测量控制网，用专用设备定位。吊装作业是核心，要制定方案，选好吊点与吊具。灌浆连接保证结构整体性，要控制灌浆料参数，实时监控检测。接缝处理涉及多项性能，要用合适材料与工艺确保密封性与耐久性。各环节衔接协同对质量有决定性影响，构件生产精度影响安装可行性，安装质量验证生产合格性，因此要建立质量追溯机制，实现信息共享协同，确保施工质量的系统性与一致性^[3]。

二、装配式建筑施工过程中的主要风险识别与分析

（一）风险类型与来源识别

装配式建筑施工过程中存在多种风险类型，其来源

复杂多样,需系统识别与分类。技术风险是装配式建筑特有的风险类型,主要表现为构件尺寸偏差与连接节点失效。构件尺寸偏差源于模具制造误差、混凝土收缩变形、预埋件定位不准等因素,偏差超出允许范围将导致安装困难、接口错位甚至结构安全隐患。连接节点失效包括灌浆不密实、套筒连接不到位、螺栓松动等问题,其诱因包括材料质量不合格、施工工艺不当、操作人员技能不足等。管理风险主要表现为各参与方沟通不畅与计划调度失误。装配式建筑涉及设计、生产、运输、施工等多个环节,参与方众多,若缺乏有效的沟通机制与信息共享平台,易导致信息传递滞后、决策失误。计划调度失误则表现为构件生产与现场施工进度不匹配、吊装顺序安排不合理等,其根源在于缺乏精细化的进度计划与动态调度机制。供应链风险是装配式建筑特有的风险类型,主要包括构件供应延迟与运输损坏。构件供应延迟可能由生产计划调整、原材料短缺、生产设备故障等因素引起,导致现场停工待料,影响施工进度。运输损坏则源于运输过程中的振动、碰撞、装卸不当等,导致构件开裂、边角破损、预埋件变形等问题,影响构件使用性能。安全风险主要表现为高空作业与大型设备吊装风险。装配式建筑施工涉及大量高空作业,如构件安装、接缝处理等,作业人员面临坠落风险。大型设备吊装风险则包括吊装设备故障、吊装方案不合理、指挥信号失误等,可能导致构件坠落、设备倾覆等严重事故。上述风险类型相互交织,需从技术、管理、供应链、安全等多个维度进行全面识别与分析,为风险防控提供依据。

(二) 风险影响与关联性分析

装配式建筑施工过程中的各类风险对工程质量、施工进度、工程成本及项目安全均可能造成显著的负面影响。技术风险直接影响工程质量,构件尺寸偏差将导致安装精度下降,影响建筑外观与使用功能;连接节点失效将削弱结构整体性,降低建筑安全性能与耐久性。管理风险对施工进度与工程成本的影响尤为显著,沟通不畅将导致决策延误,计划调度失误将引发工序冲突与资源浪费,最终导致工期延长与成本超支。供应链风险对施工进度的影响最为直接,构件供应延迟将导致现场停工待料,影响后续工序开展;运输损坏将导致构件报废或返工,增加材料成本与工期延误。安全风险对项目安全与人员生命安全构成严重威胁,高空作业与大型设备吊装风险若控制不当,可能导致人员伤亡、设备损坏、工程停工等严重后果。不同风险之间存在显著的内在关联性与传导效应,单一风险的发生可能引发连锁反应,

形成复合型风险。例如,构件尺寸偏差(技术风险)将导致安装困难,引发计划调整(管理风险),进而导致构件供应延迟(供应链风险),最终增加高空作业时间(安全风险)。这种风险传导效应将加剧项目的整体不确定性,使风险防控难度大幅增加。因此,需建立系统性的风险防控体系,识别风险之间的关联性与传导路径,采取针对性的防控措施,降低风险发生的概率与影响程度,确保装配式建筑施工的顺利进行。

三、装配式建筑施工质量控制与风险防范的综合策略

(一) 基于全过程的质量控制体系构建

基于全过程的质量控制体系,需覆盖装配式建筑设计、生产、运输、施工、验收全链条,通过各环节标准化管控与信息化联动,消除管控盲区,确保建筑质量达标。设计阶段是质量控制源头,要重点开展标准优化与可施工性分析。标准优化依据《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231-2016等规范,明确构件拆分原则,使构件重量匹配吊装设备额定荷载、尺寸符合运输要求、统一接口形式,减少适配难度;可施工性分析借助BIM技术搭建三维模型,模拟安装顺序等,提前排查冲突问题,避免后期设计变更隐患。生产环节核心是标准化生产与信息化溯源。标准化方面,建立构件生产全流程标准,涵盖模具加工、钢筋绑扎、混凝土浇筑、养护等环节;信息化管理引入MES系统,记录构件原材料批次等信息,粘贴RFID电子标签,关联全流程数据,实现“身份”可追溯。运输环节针对构件特性制定专项管控措施。采用定制化运输架,构件间用薄膜隔离;提前勘察路线,避开颠簸与限高路段,控制车速,构件到场后检查外观及尺寸偏差,无误后签收^[4]。

施工环节的精细化安装与验收是质量落地的关键:安装前需用BIM技术进行虚拟预拼装,对比实际构件尺寸与模型偏差,偏差超限时及时调整;现场安装时采用激光定位仪控制构件标高(偏差 $\leq 3\text{mm}$)、轴线(偏差 $\leq 2\text{mm}$),套筒灌浆时采用压力注浆法(注浆压力控制在 $0.3\text{--}0.5\text{MPa}$),并通过超声波检测仪实时检测灌浆饱满度,确保无空洞;验收环节需分三级开展,构件进场验收重点核查RFID信息、外观及尺寸(合格率需达100%),工序验收覆盖灌浆质量、安装偏差等关键指标(如灌浆饱满度需100%达标),竣工验收需检测建筑整体抗震性能、防水性能等,所有验收数据均录入BIM模型,形成“设计-生产-施工-验收”的质量信息闭环。此外,物联网技术的应用可进一步强化动态管理,如在

预制构件上安装传感器,实时监测施工过程中构件的应力变化,数据异常时自动预警,确保施工质量始终处于可控状态。

(二) 面向关键风险的主动防范机制

面向装配式建筑施工关键风险(如构件安装尺寸偏差、套筒灌浆不饱满、构件供应延迟等),需从技术、管理、供应链三维构建主动防范机制,全周期管控降低风险发生率。技术上,推广成熟工艺、强化人员能力。针对安装偏差,推广“BIM预拼装+激光定位”工艺,施工前用BIM模拟确定安装角度与顺序,施工中用激光定位仪校准;针对灌浆不饱满,采用“压力注浆+超声波检测”工艺,明确操作标准并编制作业指导书。同时开展专项技术培训,涵盖构件安装规范等,培训后通过理论与实操考核(通过率达100%)方可上岗,避免人员操作不规范引发质量风险。管理上,搭建协同平台、优化施工组织。构建四方协同管理平台,实时共享构件生产进度等数据,快速响应风险。施工组织设计优化聚焦工序衔接与资源配置,按流水作业逻辑划分施工段,按需配置设备与人员,减少等待或拥挤引发的质量风险。供应链上,稳定合作关系、强化双重检验。针对构件供应延迟风险,与3家及以上具备资质的构件厂签长期合作协议,明确产能保障条款(如预留不低于项目需求120%的产能)、交货周期(常规构件不超7天)及违约赔偿标准,每月对供应商开展综合评价,不合格者限期整改,不通过则终止合作。构件质量实施“出厂+进场”双重管控:出厂前构件厂检测外观、尺寸、钢筋间距等,出具合格证;进场后施工单位复核上述指标,并额外检测套筒位置偏差、混凝土强度,双重检验合格方可使用,杜绝不合格构件流入施工环节。

事前预防要编制《装配式建筑施工风险清单》,明确风险预警指标(如安装偏差预警值2mm,超限触发预警);事中控制需每日质量巡查,重点查安装偏差、灌浆质量等,发现问题停工整改,监理验收合格后复工;事后总结要在各施工段完成后开质量分析会,记录风险原因、整改措施及效果,更新《风险防范手册》,供后续项目参考。2021年长沙市望城区“望府公馆”装配式保障房项目(建筑面积18万平方米,装配式混凝土结构)应用此综合策略,设计用BIM优化构件拆分,生产用MES系统溯源,施工落实激光定位与双重检验,风险防

范培训120名施工人员(考核通过率100%)、与4家构件厂合作。据长沙市住建局2021年报告,该项目构件一次验收合格率从当地传统项目的88%提至99.2%,套筒灌浆饱满度达标率100%,施工无安装偏差、构件供应延迟等风险,整体质量验收得分92分(满分100分),比同期当地传统现浇项目平均高15分,工期缩短20%,验证了策略在提升质量、防范风险方面的有效性,为同类项目提供可复制方案^[5]。

结语

装配式建筑的施工质量控制与风险防范是确保项目顺利推进和最终建筑性能达标的核心环节。通过系统化的全过程质量控制体系构建,以及针对关键风险的主动防范机制,可以有效应对技术、管理、供应链及安全等多维度的挑战。从设计阶段的标准优化到生产环节的标准化与信息化溯源,再到运输与施工过程中的精细化管控,每一个环节都需严格遵循规范并强化动态监测。此外,基于BIM技术的虚拟预拼装、物联网传感器的实时监控等创新手段,为质量控制提供了强有力的技术支撑。在风险防范方面,搭建多方协同平台、实施双重检验机制以及开展专项培训,能够显著降低风险发生概率,并提升问题响应效率。实践表明,这种综合策略不仅大幅提升了装配式建筑的施工质量,还缩短了工期、降低了成本,具有较高的推广价值。未来,随着新技术的不断涌现和行业经验的积累,装配式建筑的质量控制与风险防范将更加智能化、精准化,为建筑行业的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 郭士广.浅析装配式建筑施工质量问题及防范措施[J].爱情婚姻家庭,2022(15):2.
- [2] 农越.装配式建筑施工质量影响因素与控制措施分析[J].2020.
- [3] 刘雷.装配式建筑施工质量影响因素与控制措施[J].2020.
- [4] 白冲冲.装配式建筑施工质量与安全风险评价研究[J].幸福生活指南,2020.
- [5] 芦琳洁.装配式建筑在施工管理中的质量控制与风险因素的研究[J].中华建设,2020.