

装配式建筑施工关键技术应用与优化

周 明

安徽建工建设投资集团有限公司 安徽 合肥 230000

摘 要：装配式建筑作为建筑产业现代化的重要方向，其施工关键技术的应用与优化对行业发展至关重要。本文围绕装配式建筑施工，系统分析了智能设计、预制构件、钢结构连接、精密定位等关键技术的应用场景，指出当前施工中存在设计与施工衔接不畅、构件标准化率低、现场管理难度大等问题。基于此，从优化设计制造流程、提升运输储存管理、强化现场安装工艺、创新连接节点技术、推行信息化管理等方面提出优化策略，旨在为提升装配式建筑施工效率、质量及安全性提供理论与实践参考。

关键词：装配式；建筑施工；关键技术；应用；优化

引言：随着建筑产业现代化进程加快，装配式建筑因具备缩短工期、节能环保、提升质量稳定性等优势，成为我国建筑业转型的重要突破口。近年来，国家及地方政策持续推动装配式建筑发展，但其施工环节仍面临技术瓶颈：设计与施工协同不足、构件生产运输标准化程度低、现场安装精度与连接质量控制难度大等问题，制约了装配式建筑的推广应用。因此，深入研究装配式建筑施工关键技术的应用现状，剖析技术痛点并提出优化策略，对推动建筑产业升级、实现绿色建造目标具有重要的现实意义。

1 装配式建筑概述

1.1 装配式建筑的概念与特点

装配式建筑是将建筑的部分或全部构件在工厂预制完成，再运输至施工现场，通过可靠连接方式组装而成的现代化建筑形式。其核心在于将传统现场湿作业转化为工厂化生产与现场装配，涵盖混凝土结构、钢结构、木结构等多种体系。相较于传统建筑，装配式建筑具备显著优势：一方面，工厂化生产可严格控制构件质量，减少施工误差；另一方面，现场装配大幅缩短工期，降低环境污染与安全风险，同时通过标准化设计与生产，实现资源高效利用^[1]。

1.2 装配式建筑的发展现状

近年来，装配式建筑在全球范围内迎来快速发展期。我国积极响应“双碳”目标，出台多项政策推动装配式建筑发展，如《“十四五”建筑业发展规划》明确提出提升装配式建筑占比。目前，装配式建筑已在住宅、公共建筑等领域广泛应用，部分城市预制装配率超过60%。然而，行业发展仍面临挑战：区域发展不均衡，东部沿海地区技术与市场成熟度高于中西部；构件标准化程度不足，导致生产成本偏高；产业链协同效率

低，设计、生产、施工环节衔接不畅。

2 装配式建筑施工关键技术应用

2.1 智能设计与造型技术

智能设计与造型技术依托BIM（建筑信息模型）、参数化设计软件及人工智能算法，构建建筑全生命周期数字化模型。在装配式建筑设计阶段，BIM技术可整合建筑、结构、机电等多专业信息，实现构件尺寸、连接节点的精准设计与碰撞检测，避免因设计疏漏导致的现场返工。同时，参数化设计能根据不同项目需求快速生成多样化造型方案，结合虚拟现实（VR）与增强现实（AR）技术，可直观模拟施工流程与建筑效果，优化设计方案。此外，人工智能算法可分析海量历史数据，自动推荐最优构件组合与装配工艺，大幅提升设计效率与创新能力。

2.2 高强混凝土及预制构件技术

高强混凝土及预制构件技术是装配式建筑的核心支撑。高强混凝土凭借高强度、高耐久性的特性，可有效减小构件截面尺寸，降低建筑自重，提升空间利用率。在预制构件生产中，工厂通过自动化生产线实现钢筋绑扎、混凝土浇筑、蒸汽养护等工序的精准控制，保障构件质量稳定性。例如，叠合楼板、预制剪力墙等构件在工厂完成大部分施工，运至现场后仅需简单拼接，显著缩短工期。同时，通过预埋连接件、预留孔洞等技术，预制构件可与现浇部分形成可靠连接，确保结构整体性。

2.3 钢结构与钢配平台技术

钢结构与钢配平台技术为装配式建筑提供了高效、灵活的施工解决方案。钢结构具有强度高、自重轻、抗震性能好等优势，适用于大跨度、超高层等复杂建筑结构。在装配式施工中，钢梁、钢柱等构件通过工厂预制、现场螺栓连接，可实现快速安装，缩短工期。钢配

平台技术则通过模块化设计的钢平台，为高空作业提供安全稳定的施工环境。该平台可根据施工进度灵活调整位置与尺寸，集成物料运输、人员通行、设备操作等功能，显著提升施工效率与安全性。

2.4 精密定位与快速连接技术

精密定位与快速连接技术是保障装配式建筑施工精度与效率的关键。在构件安装过程中，激光扫描、GPS定位、全站仪等设备可实现毫米级精度的空间定位，确保构件准确安装到位。例如，通过在预制构件表面设置定位标识，结合自动化测量系统，可实时反馈安装偏差并进行调整。快速连接技术则采用套筒灌浆连接、螺栓连接、焊接等方式，实现构件间的可靠连接。

2.5 环保节能技术

环保节能技术贯穿装配式建筑施工全过程，助力实现绿色建筑目标。在工厂预制阶段，采用循环水处理系统、粉尘收集装置等设备，减少生产环节的废水、废气排放；利用工业废料（如粉煤灰、矿渣）替代部分水泥原料，降低碳排放。施工现场通过采用装配式围挡、噪声监测设备，减少扬尘与噪声污染。在节能方面，预制外墙保温一体化技术将保温材料与围护结构集成，提升建筑保温隔热性能；太阳能光伏板与预制构件的结合，实现建筑能源自给。

2.6 安全监控与质量控制技术

安全监控与质量控制技术为装配式建筑施工提供全方位保障。借助物联网、大数据与人工智能技术，施工现场部署智能监控设备，实时采集人员位置、设备运行状态、环境参数等数据，通过算法分析预测安全隐患，如通过安全帽内置传感器监测工人坠落风险，利用塔吊监控系统预防超载事故。在质量控制方面，BIM模型与现场施工数据的联动，可实现构件安装质量的实时追踪与偏差预警；混凝土强度检测、连接节点探伤等无损检测技术，确保隐蔽工程质量。

3 装配式建筑施工存在的问题

3.1 设计与施工衔接不畅

装配式建筑设计阶段常未充分考虑施工可行性与现场实际需求，导致设计图纸与施工工艺脱节。例如，部分设计方案忽视构件运输尺寸限制、现场吊装设备承载能力，造成构件无法安装或需临时修改设计。同时，设计、生产、施工单位间缺乏有效沟通机制，信息传递存在滞后与误差，导致施工中频繁出现设计变更，不仅延误工期，还增加了成本与质量风险^[2]。

3.2 构件标准化率低

当前装配式建筑构件规格繁杂，缺乏统一的标准化

设计与生产规范。不同项目间构件尺寸、接口形式差异大，难以实现批量生产，导致模具重复开发，生产成本居高不下。此外，构件生产企业技术水平参差不齐，部分企业为满足个性化需求，过度定制构件，进一步加剧了标准化不足的问题，阻碍了产业规模化发展与资源优化配置。

3.3 现场管理难度大

装配式建筑现场施工涉及构件运输、吊装、连接等多环节协同，管理复杂度高。构件运输途中易受路况、天气影响，导致到货时间与施工进度不匹配；现场吊装作业需精确控制，对人员操作技术要求高，一旦出现失误易引发安全事故。同时，多工种交叉作业频繁，传统管理模式难以实现高效调度，易出现施工混乱、效率低下等问题。

3.4 连接节点质量不稳定

连接节点是保障装配式建筑结构整体性的关键，但实际施工中质量问题频发。套筒灌浆连接存在漏灌、空洞等缺陷，影响钢筋锚固效果；焊接节点受现场环境、操作人员技术水平影响，易出现焊缝不饱满、焊接变形等问题。此外，连接节点检测技术尚不完善，部分隐蔽缺陷难以被及时发现，为建筑结构安全埋下隐患。

4 装配式建筑施工关键技术优化策略

4.1 优化设计与制造流程

设计与制造流程的优化需以BIM技术为核心，构建多方协同的数字化平台。在设计阶段，通过参数化建模将施工工艺、运输车辆限界、现场吊装设备参数等纳入考量，利用BIM模拟构件生产、运输、安装全流程，提前规避设计与施工的冲突。例如，某高层装配式住宅项目通过BIM模拟，将构件尺寸误差从传统设计的 $\pm 15\text{mm}$ 缩小至 $\pm 3\text{mm}$ ，显著提升安装效率。同时，建立标准化构件库，统一构件接口尺寸、连接方式等关键参数，实现构件的规模化生产与复用。在制造环节，引入工业机器人与自动化生产线，配合MES（制造执行系统）实时监控生产进度、质量数据，确保构件生产与设计方案精准匹配。

4.2 提升运输与储存管理水平

科学的运输与储存管理是保障构件质量与施工进度的关键。运输前，依据构件类型（如大型预制墙板、异形梁柱）定制专用运输架，并通过ANSYS等软件模拟运输颠簸对构件的影响，优化固定方式。运输途中，利用GPS与物联网传感器实时监控车辆位置、温湿度、震动数据，当出现异常时自动预警并调整路线。在储存环节，标准化堆场需配备自动化立体货架，结合RFID技

术实现构件的智能存取。某装配式产业园通过 AGV 小车与 WMS（仓储管理系统）联动，将构件存取效率提升 60%。同时，依据施工进度制定动态库存计划，如采用 JIT（准时制）管理模式，减少构件现场积压时间，降低仓储成本与二次搬运损耗。

4.3 强化现场安装技术与工艺控制

现场安装技术升级需结合智能设备与标准化管理。在定位技术上，采用北斗卫星定位与三维激光扫描融合系统，对预制构件进行毫米级精度校准。例如，某体育场馆项目通过该技术实现 12000 余块幕墙构件的零误差安装。吊装工艺方面，引入智能吊装机器人与 AI 辅助决策系统，实时分析风速、构件重心等数据，自动调整吊装参数，避免碰撞风险。同时，制定《装配式建筑安装工艺标准化手册》，明确套筒灌浆、螺栓连接等关键工序的操作规范，并通过 VR 虚拟培训系统提升工人实操技能。现场设立质量监控点，利用高清摄像头与 AI 图像识别技术，对灌浆饱满度、焊缝质量等进行实时监测，异常情况自动触发停工整改指令，确保一次验收合格率达到 98% 以上。

4.4 创新连接节点技术

连接节点的技术创新聚焦于材料、工艺与检测三方面。材料层面，研发高强度自密实灌浆料，其早期强度可达 30MPa/12h，显著缩短养护周期；探索纳米增强混凝土用于节点部位，提升结构耐久性。工艺创新上，推广“预应力 + 机械咬合”复合连接技术，某超高层项目采用该技术使连接节点施工效率提升 40%，且抗震性能优于传统方式。检测技术方面，引入相控阵超声波检测仪，可穿透 200mm 厚混凝土检测内部缺陷；利用分布式光纤传感技术，实时监测节点应力变化。同时，建立区块链质量追溯平台，将构件生产批次、连接施工视频、检测报告等数据上链存证，确保质量问题可追溯至具体责任人，从技术与管理双维度保障节点连接质量。

4.5 加强施工机械设备配置与维护

施工机械设备的优化需兼顾智能化升级与全生命周期管理。在设备选型上，优先配置 5G 远程操控塔吊、全自动灌浆机等智能设备，某项目通过无人塔吊作业使吊装效率提升 35%，且事故率降低至 0。建立设备健康管理系统，通过振动传感器、油液监测仪实时采集设备运行数据，利用机器学习算法预测故障风险。例如，预测

到某台泵车液压系统异常后，提前更换密封件，避免停工损失超 20 万元。同时，开展“设备操作 + 基础维修”双技能培训，使一线工人掌握设备日常点检与简易故障排除方法。

4.6 推行信息化施工管理体系

信息化管理需构建“数据采集 - 智能分析 - 动态决策”的闭环系统。基于 BIM+GIS 技术搭建施工管理平台，整合设计图纸、进度计划、资源消耗等数据，实现施工进度的三维可视化监控。例如，通过平台实时展示各楼栋施工进度，偏差超过 5% 时自动生成预警报告。利用物联网传感器采集现场数据，在某大型公建项目中，通过温湿度传感器联动养护设备，使混凝土养护合格率提升至 99%。引入数字孪生技术，模拟不同施工方案的效果，优化资源配置与工序衔接。

4.7 强化施工安全措施

施工安全保障需构建“预防 - 监控 - 应急”的立体化体系。制度层面，制定《装配式建筑高危作业安全规程》，明确吊装、高空焊接等作业的安全操作规范，并建立安全积分考核制度，将安全表现与绩效挂钩。在硬件设施上，推广智能安全防护平台，该平台集成防坠落监测、风速报警、人员定位功能，某项目应用后高空坠落事故率下降 100%。利用 AI 视频监控系统自动识别未佩戴安全帽、违规操作等行为，实时推送预警信息至管理人员手机。同时，编制多场景应急预案，并通过 VR 模拟演练提升人员应急能力^[3]。

结束语

装配式建筑施工关键技术的应用与优化是推动建筑产业转型升级的核心动力。从智能设计到安全监控，各项技术的创新与协同发展，有效解决了当前施工中的痛点与难题。随着技术的持续迭代和管理体系的完善，装配式建筑将在提升建造效率、保障工程质量、践行绿色低碳理念等方面发挥更大价值。

参考文献

- [1]甘洋.预制装配式建筑施工关键技术及质量控制研究[J].住宅与房地产,2021(15):160-161.
- [2]阳丹.装配式建筑施工质量问题及对策[J].中国高新科技,2020(17):75-76.
- [3]冯兴凤.预制装配式建筑施工关键技术及质量控制研究[J].建筑技术开发,2020,47(06):35-36.