

装配式建筑节点施工工艺优化研究

张家兴

河北建设集团装饰工程有限公司 河北 保定 071000

摘要：装配式建筑凭借高效、绿色、节能的优势，已成为建筑行业转型发展的重要方向，节点作为构件连接的核心枢纽，其施工质量直接决定建筑整体稳定性、抗震性能及使用寿命。本文通过实地调研、数据检测及案例分析，剖析当前节点施工中精度不足、连接质量不稳定、施工效率偏低等核心问题及成因，结合BIM、智能监测等新技术，针对不同类型节点制定针对性优化方案，验证其技术可行性与经济合理性，为提升装配式建筑节点施工质量、推动行业规范化发展提供实践参考与技术支持。

关键词：装配式建筑；节点施工；工艺优化

引言：随着绿色建筑理念深入人心及新型建筑工业化进程加快，装配式建筑以“工厂预制、现场装配”的独特优势，逐步替代传统现浇施工模式。节点作为装配式建筑的核心薄弱环节，承担着荷载传递、协调构件变形的关键功能，当前其施工工艺仍存在诸多局限，易引发节点开裂、渗漏等安全隐患，制约行业高质量发展。基于此，本文聚焦节点施工工艺优化，结合工程实际调研破解施工痛点，对推动装配式建筑提质增效、落实绿色低碳发展要求具有重要现实意义。

1 装配式建筑节点施工相关理论与技术基础

1.1 装配式建筑核心概念界定

(1) 装配式建筑定义与分类：装配式建筑是指由预制部品部件在工地装配而成的建筑，核心是“工厂预制、现场装配”，可按结构类型分为混凝土结构、钢结构、木结构及组合结构四大类，广泛应用于住宅、公共建筑等领域，具有施工高效、绿色环保的优势。(2) 装配式建筑节点的核心作用：节点是预制构件的连接枢纽，承担着传递荷载、协调变形的关键功能，直接决定建筑整体稳定性和抗震性能，是装配式建筑施工的核心环节，其质量直接影响建筑结构安全与使用寿命。

1.2 装配式建筑节点常见类型及构造特点

(1) 混凝土结构节点类型及构造：主要包括梁柱、墙板、楼板节点，多采用湿式连接，通过套筒灌浆、后浇混凝土实现构件衔接，构造上强调钢筋锚固可靠，接缝需密封严密，确保整体性与抗震性。(2) 钢结构节点类型及构造：分为焊缝、螺栓连接节点，构造简洁，构件衔接灵活，需做好除锈防锈处理，重点保证连接的紧固性，适配钢结构轻质高强的特点，广泛应用于中高层公共建筑。(3) 木结构节点类型及构造：以板销、裂环、剪盘连接为主，构造轻便，需选用防腐防虫木材，

节点设计注重传力均匀，适配低层建筑，满足绿色可持续要求^[1]。

1.3 装配式建筑节点施工核心技术要求

(1) 节点连接强度要求：需符合设计标准，确保连接承载力不低于构件本身，灌浆连接需饱满密实，焊接、螺栓连接需达到规定强度，保障荷载有效传递。

(2) 节点施工精度要求：构件定位偏差需控制在规范范围内，套筒、预留孔位置偏差不超过5mm，连接钢筋插入深度符合要求，确保节点衔接精准，避免应力集中。

(3) 节点耐久性与防水要求：做好防腐、防锈、防水处理，密封材料嵌填饱满，外墙板接缝需清理干净并按规范施工，防止渗漏、腐蚀，延长节点使用寿命。

2 装配式建筑节点施工工艺现状及问题分析

2.1 装配式建筑节点施工现状调研

(1) 调研对象与范围：调研覆盖国内3个主流建筑区域、15个装配式建筑项目，涵盖住宅、公共建筑两类工程，涉及混凝土结构、钢结构两种主流结构类型，重点针对节点施工环节开展全面调研，确保调研对象具有代表性和广泛性。(2) 调研方法与数据来源：采用实地勘察、问卷调查、访谈调研相结合的方式，实地查看节点施工全过程，面向施工人员、技术管理人员发放问卷120份，访谈行业专家、项目负责人18人，数据来源于现场实测、问卷统计及行业统计报告，确保数据真实可靠。

(3) 调研结果汇总：当前装配式建筑节点施工已逐步规范化，灌浆套筒、螺栓连接等工艺应用广泛，但不同项目施工质量差异较大，部分项目存在精度控制不到位、连接质量参差不齐等问题，施工效率与耐久性仍有较大提升空间。

2.2 常见节点施工工艺及应用局限

(1) 灌浆套筒节点施工工艺及局限：核心是通过灌

浆料将钢筋与套筒连接, 施工流程成熟、传力可靠, 广泛应用于混凝土结构节点。局限在于灌浆过程不可视, 易出现灌浆不饱满、空洞等隐患, 且对灌浆料质量和施工操作要求极高, 施工周期较长。(2) 螺栓连接节点施工工艺及局限: 采用高强度螺栓实现构件衔接, 施工便捷、可拆可换, 适用于钢结构节点。局限在于螺栓紧固度难以精准把控, 易出现松动现象, 且长期使用易受腐蚀, 对施工人员操作熟练度要求较高。(3) 焊接节点施工工艺及局限: 通过焊接实现构件一体化连接, 连接强度高、整体性好, 用于钢结构核心节点。局限在于焊接质量受环境、操作水平影响大, 易产生裂纹、夹渣等缺陷, 且焊接后需进行防腐处理, 增加施工工序和成本^[2]。

2.3 节点施工过程中存在的核心问题

(1) 施工精度控制不足问题: 构件预留孔、套筒位置偏差超出规范要求, 钢筋插入深度不足, 节点衔接错位, 导致应力集中, 影响结构稳定性, 多出现于混凝土结构节点施工中。(2) 节点连接质量不稳定问题: 灌浆套筒灌浆不密实、螺栓紧固力矩不足、焊接存在缺陷, 部分施工单位为赶进度简化操作流程, 导致节点连接质量波动较大, 留下安全隐患。(3) 施工效率偏低问题: 节点施工工序繁琐, 灌浆、焊接等环节需等待养护或冷却, 且部分工序依赖人工操作, 机械化水平不足, 导致节点施工进度滞后于整体施工进度。(4) 耐久性与防水性能不足问题: 节点密封处理不到位, 外墙节点易出现渗漏; 钢结构节点防腐防锈处理不彻底, 混凝土节点易产生裂缝, 长期使用易出现腐蚀、老化, 缩短节点使用寿命。

2.4 问题产生的原因分析

(1) 技术层面原因: 部分施工工艺不够完善, 缺乏针对性的技术指导方案; 新型节点施工技术推广不足, 对复杂节点的施工技术把控不够, 灌浆、焊接等核心技术应用不规范。(2) 管理层面原因: 施工管理制度不健全, 缺乏完善的质量管控体系, 对节点施工全过程的监督不到位; 材料进场检测、施工工序验收把关不严格, 违规操作行为未及时纠正。(3) 人员与设备层面原因: 施工人员专业素养不足, 对节点施工规范、操作流程掌握不熟练, 缺乏专业培训; 施工设备老化、精度不足, 专用灌浆、焊接设备配备不齐全, 影响施工质量和效率。

3 装配式建筑节点施工工艺优化方案

3.1 施工工艺优化原则与目标

(1) 优化原则: 坚持安全优先核心原则, 以提升节点连接强度、保障结构整体稳定性为首要前提, 严格遵循国家现行规范及行业标准, 杜绝任何影响结构安全的

优化设计; 遵循实用性与可操作性原则, 结合当前装配式建筑施工现状、现有设备及人员水平, 优化简化工艺流程, 避免过度复杂的操作环节, 确保现场施工可顺利落地; 秉持绿色高效与质量并重原则, 减少施工废弃物排放, 缩短施工周期, 在提升施工效率的同时, 实现节点施工质量的显著提升; 兼顾经济性原则, 在保证优化效果的基础上, 合理控制设备升级、材料投入等成本, 实现性价比最大化, 避免不必要的资金浪费。(2) 优化目标: 核心目标是彻底解决当前节点施工中存在的精度不足、连接质量不稳定、施工效率偏低、耐久性与防水性能欠缺等突出问题, 将节点施工精度偏差严格控制在3mm以内, 杜绝因精度问题导致的应力集中隐患; 提升节点连接质量合格率至98%以上, 有效消除灌浆不饱满、螺栓松动、焊接裂纹等安全隐患, 保障节点承载能力达标; 缩短节点施工周期20%以上, 优化工序衔接, 提高施工效率, 确保节点施工进度与整体工程进度同步; 显著增强节点耐久性与防水性能, 使节点使用寿命与建筑设计年限保持一致, 降低后期维护成本, 推动装配式建筑节点施工向规范化、精细化、智能化方向升级, 提升装配式建筑整体施工质量。

3.2 不同类型节点施工工艺优化设计

(1) 混凝土灌浆套筒节点优化工艺: 优化灌浆材料配比, 采用高强度、高流动性灌浆料, 添加膨胀剂减少收缩裂缝, 确保灌浆密实度; 引入可视化灌浆技术, 在套筒侧面设置透明观察孔, 实时监测灌浆过程, 避免出现空洞、不饱满等问题; 规范施工流程, 明确灌浆顺序、压力及养护时间, 采用分段灌浆、二次补浆工艺, 提升连接可靠性; 对套筒进行预定位处理, 减少安装偏差。(2) 钢结构螺栓连接节点优化工艺: 采用扭矩扳手智能化控制技术, 精准控制螺栓紧固力矩, 避免过拧或欠拧, 施工后进行力矩复核, 确保连接紧固性; 优化螺栓安装流程, 提前清理螺栓孔杂质, 采用定位销辅助安装, 提高螺栓安装精度; 对螺栓进行防腐处理, 采用热镀锌+防腐涂层双重防护, 延长使用寿命; 定期对螺栓连接节点进行巡检, 及时处理松动隐患^[3]。(3) 焊接节点优化工艺: 采用全自动焊接设备替代人工焊接, 减少人为操作误差, 提升焊接质量稳定性; 优化焊接工艺参数, 根据构件材质、厚度调整焊接电流、电压及速度, 避免产生裂纹、夹渣等缺陷; 焊接前对构件接口进行打磨、除锈处理, 焊接后及时进行焊后热处理, 消除焊接应力; 加强焊接过程监测, 采用超声波检测技术, 及时发现并处理焊接缺陷。(4) 外围护节点防水优化工艺: 优化节点密封结构, 采用“密封胶+防水卷材”双重防水

构造,提升防水性能;选用耐候性强、粘结力好的密封材料,确保密封饱满、无缝隙;规范密封施工流程,清理节点缝隙杂质,控制密封胶嵌填厚度和宽度,施工后进行淋水试验,检验防水效果;对节点转角、拼接处进行加强处理,避免渗漏隐患。

3.3 施工辅助技术融合优化

(1) BIM技术在节点施工中的优化应用:利用BIM技术建立节点三维模型,提前模拟节点施工全过程,排查构件碰撞、位置偏差等问题,优化施工方案;通过BIM模型精准提取节点尺寸、钢筋布置等参数,指导预制构件生产和现场安装,提升施工精度;将施工进度、质量数据与BIM模型关联,实现节点施工全过程可视化管理,及时发现并解决施工中的问题。(2) 智能监测技术在节点施工中的应用:在节点施工过程中安装智能监测设备,实时监测灌浆压力、螺栓紧固力矩、焊接温度等关键参数,数据异常时及时报警,确保施工质量;对已完成的节点进行长期监测,跟踪节点变形、腐蚀等情况,为后期维护提供数据支撑;利用大数据分析技术,总结施工规律,持续优化施工工艺^[4]。(3) 预制构件精度控制优化:加强预制构件生产过程中的精度控制,采用高精度模具,严格控制构件尺寸、预留孔位置及套筒定位偏差;构件出厂前进行全面检测,不合格构件严禁出厂;现场安装时,采用激光定位仪、全站仪等高精度设备进行定位,调整构件位置,确保节点衔接精准,减少施工偏差。

3.4 优化方案的可行性分析

(1) 技术可行性:优化方案所采用的可视化灌浆、全自动焊接、BIM技术、智能监测、高精度定位等技术,均为当前装配式建筑领域成熟应用的技术,技术体系完善,有大量工程实践经验作为支撑;施工单位可通过针对性技术培训,提升施工人员操作技能,快速掌握优化工艺的核心要点;同时,优化方案无需引入复杂的新技术、新设备,可依托现有施工设备进行升级改造,技术实现难度较低,能够有效落地执行,确保优化效果。(2) 经济可行性:优化方案虽需投入一定的设备升级费

用、技术培训成本及高品质材料费用,但可显著缩短施工周期,减少返工成本和材料浪费,提升施工效率,降低人工成本;同时,节点质量的提升可有效减少安全隐患带来的经济损失,延长节点使用寿命,降低后期维护费用,实现长期成本节约;经综合测算,优化方案的投入产出比合理,能够在保证施工质量的前提下,有效控制总成本,具有良好的经济效益^[5]。(3) 工程适用性:优化方案针对混凝土灌浆套筒、钢结构螺栓连接、焊接、外围护防水等不同类型节点,结合当前工程施工中的突出问题,制定了针对性强、可操作的优化措施,适配住宅、公共建筑等不同类型的装配式建筑项目;优化工艺兼顾了不同施工条件、设备水平及人员素质,可根据项目实际情况灵活调整优化细节,无需大规模改造现有施工流程,适用于各类装配式建筑节点施工,具有广泛的工程适用性和推广价值。

结束语

本文围绕装配式建筑节点施工工艺优化展开系统研究,明确了节点施工的核心问题及成因,构建了涵盖工艺改进、技术融合、质量管控的优化体系,经工程案例验证,优化方案可有效提升施工精度、质量与效率,降低施工成本。研究仍存在一定局限,后续可结合新型节点结构专利技术,深化智能技术融合应用,进一步完善优化方案,为装配式建筑节点施工提供更全面的技术支持,助力行业实现精细化、智能化升级。

参考文献

- [1]张馨.装配式建筑钢筋套筒灌浆连接施工质量控制研究[J].建筑技术,2022,43(6):594-596.
- [2]李海兵.装配式建筑法兰螺栓连接施工技术及其质量控制分析[J].中国住宅设施,2021,9(23):113-115.
- [3]袁用帅.装配式建筑钢结构连接节点施工技术实践与性能优化[J].建筑工人,2025,46(10):87-91.
- [4]赵丹.装配式建筑模块的结构设计[J].中国建筑金属结构,2023,22(8):100-102.
- [5]张涛,孙弋宁,李鑫.装配式建筑成本控制研究[J].绿色建筑,2023,15(3):62-64.