

建筑施工

装配式建筑节点连接技术创新与应用研究

张剑

包头市石拐广源投资有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i7.8182

[摘要] 为了提高装配式建筑节点连接质量与施工效率, 本文分析了当前节点连接的基本类型及存在的主要问题, 如设计标准不统一、施工质量控制难、构造复杂及材料成本高等。采用文献调研与案例分析的方法, 提出了构建统一设计标准、发展新型材料工艺、引入 BIM 技术及优化节点设计等策略。研究认为, 通过技术创新与标准完善, 可有效提升节点连接的安全性、耐久性与装配效率, 建议加快标准体系建设与技术集成应用。

[关键词] 装配式建筑; 节点连接; 施工效率; BIM 技术

Research on innovation and application of prefabricated building node connection technology

Zhang Jian

Baotou Shiguan Guangyuan Investment Co., LTD.

[Abstract] To enhance the quality of connections and construction efficiency in prefabricated buildings, this paper analyzes the basic types of current node connections and the main issues, such as inconsistent design standards, difficulties in controlling construction quality, complex structures, and high material costs. By using literature research and case studies, the paper proposes strategies including establishing unified design standards, developing new material processes, introducing BIM technology, and optimizing node design. The study suggests that through technological innovation and the improvement of standards, the safety, durability, and assembly efficiency of node connections can be significantly enhanced. It recommends accelerating the development of standard systems and the integration of advanced technologies.

[Key words] prefabricated building; node connection; construction efficiency; BIM technology

引言

随着建筑工业化水平不断提升, 装配式建筑作为绿色建筑发展的重要方向, 其节点连接技术日益成为影响结构性能与施工效率的关键因素。然而, 当前装配式节点设计与施工中仍面临标准不统一、施工难度大、构造复杂与材料成本高等多重问题, 制约其推广与应用。为此, 本文从技术创新与标准建设角度出发, 研究节点连接技术的优化路径, 以期为装配式建筑高质量发展提供理论依据与技术支持。

一、装配式建筑节点连接技术的基本类型

装配式建筑节点的连接技术大致分为湿式、干式与半干式连接三类, 湿式连接多采用混凝土灌浆操作, 适合结构整体性要求偏高的情形, 有着良好的承载及抗震性能, 但存在施工周期长、受气候方面影响大的弊端, 干式连接采用螺栓、焊接、卡扣等机械方式达成构件连接, 方便做拆卸与替换工作, 利于工业化流水化作业开展, 但该连接方式对加工精度要求较高。半干式连接把湿式与干式两者长处相融合, 在提高施工效率之际, 兼顾结构的实际性能, 作为当前发展速率较快的连接方式类型之一, 伴随技术的不断进步, 智能连接器、模块化节点等

新型连接途径逐步在实际工程得以应用，助力装配式建筑朝着高效、安全、绿色的方向迈进。

二、装配式建筑节点连接存在的主要问题

(一) 设计标准体系尚不完善

目前我国在装配式建筑节点连接设计方面缺乏统一、系统的国家级技术标准和规范，导致各地、各企业在节点设计上存在较大差异。一些项目依赖企业自身经验或地方标准，造成节点类型繁多、结构形式不一，影响构件通用性和工业化生产效率。同时，节点在抗震性能、耐久性、连接刚度等关键指标上的设计缺乏系统化研究与验证，增加了结构安全隐患。标准的不统一也使设计、制造、施工、验收等环节衔接不畅，质量控制难度加大，不利于装配式建筑的规模化、规范化发展。

(二) 施工质量控制难度大

装配式建筑节点连接对施工精度、工艺质量的要求高不可攀，任何微小的偏差，都或许会影响到结构的整体性与安全性，湿式连接靠现场进行混凝土浇筑或灌浆达成，天气、温度、施工人员操作水平等因素容易干扰施工质量，不易达成一致、可靠的连接成效。干式连接对预制构件尺寸精度以及安装定位的要求显著提高，若构件在加工或运输期间出现偏差，现场安装过程里容易出现对接匹配度差、连接应力异常等问题，加大返工出现的几率，对技术人员的业务素质、施工环境的实际情况及精细化管理的成效提出了更高挑战。

(三) 连接构造复杂，影响施工效率

在部分工程的实施操作中，节点设计过分追求结构性能与特定功能，造成连接构造错综复杂，现场施工得进行多次调试，乃至要临时加工处理，极大地拖慢了施工的进度与效能，某些节点的连接牵扯到多道工序和大量构配件安装事宜，增添了操作难度，也增加了误差累积的风险系数，一些设计没有充分顾及现场装配的便捷程度与误差容忍能力，让构件对接面临困难，拼装效率大减，复杂节点对施工人员技术与操作经验的要求处于较高水平，抑制了施工队伍的普适适配性，对标准化、模块化、流水化施工体系的推广不利好。

(四) 材料性能与成本控制矛盾突出

装配式建筑节点连接所采用的高性能材料，诸如高强灌浆料、特种螺栓、抗腐蚀涂层之类，尽管对提升连接的可靠及耐久表现有贡献，只是这类材料成本普遍偏高，大幅抬高了工程的造价成本，尤其在大型规模工程中表现更明显，各类连接材

料的相容性问题，仍未得到充分研究与处理，好比金属和混凝土之间热胀冷缩、出现的化学反应或者长期疲劳等现象，也许会对节点的稳定性及其寿命产生影响，高性能材料的施工工艺繁杂，储存、运输及使用方面的条件要求颇高，也抬高了施工管理的难度门槛，成本与性能二者间的矛盾，成为阻碍其广泛应用的重大掣肘。

三、装配式建筑节点连接技术的创新与优化策略

(一) 构建统一的节点设计标准体系

鉴于当前装配式建筑迅猛拓展的背景，节点设计标准缺乏统一，已然成为掣肘产业协同的关键要素，装配式项目中，由于节点设计差异引起的施工调整比例超 30%，超 20% 的项目因节点未达成统一造成工期延误与返工，创建统一的节点连接设计标准规章，对各环节协同起到助力，助力工业化水平上扬。该标准应囊括结构类型（例如混凝土、钢结构、钢 - 混组合结构之类）、连接形式（像灌浆套筒、螺栓连接、焊接连接等种类）及其对应的设计参数，对剪力墙灌浆连接节点，统一要求灌浆强度标准为 $\geq 45\text{MPa}$ 、连接件抗剪设计值 $\geq 250\text{kN}$ ，安装误差控制到 $\pm 5\text{mm}$ ，有利于大幅提升设计的可比性及执行性。统一标准应进一步明确质量检测手段与验收规范，解决“同构不同标”的矛盾，推广标准可促进构件通用率提高 20% 以上，减少非标准构件数量与复杂的工艺，能辅助缩短设计周期且加快审批流程，助力装配式建筑从项目模式迈向产业模式转变。

(二) 发展新型连接材料与工艺

应用高性能材料与智能化工艺是提升节点性能的必要途径，就常规情况，传统灌浆料抗压强度多在 $40\sim 50\text{MPa}$ ，高性能自密实灌浆料可稳定实现 90MPa 以上，其流动性及抗裂性更为优越，适配高要求连接节点场景，可将整体连接强度增强 40%。可调节螺栓系统可实现 $\pm 10\text{mm}$ 范围内连接位置的自动调节，可有效把人工调整时间减少约 50%，大幅增进节点装配的容错空间，自愈合材料凭借内嵌微胶囊或膨胀剂的技术手段，微裂缝一旦出现便自动把修复剂释放，实现节点长期稳定的衔接，从理论角度，能延长连接的耐久寿命 20 年及以上。就施工工艺而言，采用自动化定位装配系统并结合激光对位技术，可对构件安装误差实现 $\pm 3\text{mm}$ 的控制，较人工安装，误差降幅超一半；快速连接器系统助力 10 分钟内完成一个标准节点的拼接工作，和传统螺栓灌浆流程比起来，可节约约 40% 的时间，借助这些

新技术的结合，可显著提高施工的效率与质量，为高层、大跨等复杂结构的建造提供技术后盾，成为装配式建筑发展的核心突破点。

(三) 引入 BIM 与数字化施工技术

装配式建筑节点管理引入了 BIM (建筑信息模型) 这项技术，促使节点设计、安装及管理更具精细化，依靠 BIM 系统可预先建立三维节点模型，开展虚拟组合与碰撞排查，一般在施工前可发现 80% 以上设计冲突并实施优化，在某住宅建设项目里，经 BIM 预演识别出 43 处节点安装冲突，事前做出调整规避现场重复劳动，让施工周期缩短近 12 天。结合物联网

相关设备，诸如应力传感器、位移监测仪器等，能达成节点在安装与运营阶段状态的实时收集，若节点连接力冲破预设的阈值，系统可迅速发出报警信号，切实减少潜在隐患，数据采集精度能达到 0.1mm 这一级别，让节点施工误差不超过 $\pm 5\text{mm}$ 的界限。施工全阶段数据同步汇入管理平台，实现节点追溯性管控，智能吊装跟机器人辅助定位系统相互结合，还可实现节点自动化的安装操作，各节点拼装用时从 30 分钟减少到 15 分钟，BIM 跟数字化手段的整合，不但提升了质量，还能把施工人员需求削减 20% 以上，引领建筑工业化步入智能建造阶段。如表 1 所示。

表 1 引入 BIM 与数字化施工技术

应用技术或指标	应用效果/数据值	说明/备注
BIM 冲突预演识别率	$\geq 80\%$	可在施工前发现大部分设计冲突
某项目识别节点冲突数量	43 处	通过 BIM 提前发现并优化
因预演优化节省施工周期	约 12 天	避免返工与调整，提升施工进度
节点应力监测阈值	自定义 (如: 150kN)	超出后系统报警，保障结构安全
数据采集精度	0.1mm	精确监控节点状态，辅助误差控制
允许节点施工误差范围	$\pm 5\text{mm}$	提高精度，确保结构质量
节点自动化拼装时间 (优化前)	30 分钟/节点	人工施工平均用时

(四) 优化节点设计以提高装配效率

于装配式建筑里，节点设计是否合理，直接关乎施工节奏与结构安全，目前部分项目的节点构造复杂得离谱，缺少装配容错能力，造成施工效率下降，针对复杂节点项目而言，现场节点处理平均耗时 45 - 60 分钟，要是采用优化设计模式，能把节点装配时间减到 20 - 30 分钟，效率提高超四成。节点设计应依照模块化、标准化的要求，应优先采用标准构件的组合连接方式，像模块化螺栓与灌浆套筒结合的组合节点，通用性十分强，安装极为便利，设计的时候需兼顾安装误差的调节力，推荐把节点连接允许偏差定为 $\pm 15\text{mm}$ ，以此强化施工的容错本领。某办公楼项目借助采用预制标准节点体系，把现场连接节点削减了 35%，整体装配的周期缩短了 18 天，成功节约了施工开支，节点设计宜进一步精简构件种类，就像把三类节点合并成一种统一接口模样，利于批量预做与快速拼装，终极目的是让工厂预制与现场对位安装实现无缝衔接，引导装配式施工从“人工拼装”往“精密搭接”转变，促进工程整体工业化水平及交付质量提升。

结语

装配式建筑节点连接作为构件间力传递与结构安全的核心环节，其技术水平直接关系到建筑整体性能。本文通过对问题的系统分析，提出了具有可行性的优化策略，包括统一设计标准、推广新材料工艺、引入数字化施工技术以及优化节点构造设计。未来应加强多学科协同创新，加快标准化建设与成果转化，推动装配式建筑实现更高质量、更高效率的发展。

[参考文献]

- [1] 陈自闯. 建筑工程施工中的装配式技术探究[J]. 建材发展导向, 2025, 23(08): 58-60.
- [2] 刘洋洋. 装配式建筑梁柱节点连接技术研究[J]. 工程技术研究, 2025, 10(02): 92-94.
- [3] 李豹. 装配式建筑 PCF 板连接节点建造技术研究[J]. 建筑施工, 2024, 46(12): 2082-2084+2089.
- [4] 胡振东. 装配式建筑结构节点连接方式及施工技术改进研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (35): 181-183.