

土木工程中装配式建筑结构节点优化设计

姚 华

曲阜师范大学 山东 曲阜 273100

摘 要：装配式建筑作为土木工程领域的重要发展方向，其结构节点设计直接影响建筑的安全性、耐久性与施工效率。本文围绕装配式建筑结构节点展开研究，首先阐述节点的分类及重要性，明确“强节点弱结构”等设计原则；继而指出当前节点设计中存在连接方式单一、刚度不足、施工耗时及材料选择不合理等问题；最后从优化连接方式、提升节点刚度、简化施工工艺及合理选材四个维度，提出针对性的优化设计策略，为提高装配式建筑结构性能与工程实践提供理论参考。

关键词：土木工程；装配式建筑；结构节点；优化设计

引言：随着建筑工业化进程的推进，装配式建筑因高效、环保的特性在土木工程中应用愈发广泛。结构节点作为装配式建筑构件连接的关键部位，其设计质量直接决定建筑整体的力学性能与稳定性。然而，当前节点设计存在连接形式僵化、性能匹配不足等问题，导致结构刚度薄弱、施工复杂等工程痛点，难以充分发挥装配式建筑的优势。因此，深入研究装配式建筑结构节点的优化设计，突破传统设计瓶颈，对提升装配式建筑的安全性、经济性与施工便捷性具有重要的工程实践意义。

1 装配式建筑结构节点概述

1.1 装配式建筑结构节点的分类

装配式建筑结构节点依据不同标准可划分多种类型。按连接位置分类，包括水平向节点与竖向节点，前者用于连接楼板、梁等水平构件，后者则负责柱、墙等竖向构件的拼接；按连接方式划分，主要有焊接节点、螺栓连接节点、灌浆套筒连接节点与湿连接节点。焊接节点通过高温熔合实现构件连接，施工效率高但对操作精度要求严格；螺栓连接节点凭借可拆卸性便于后期维护；灌浆套筒连接节点利用高强灌浆料填充套筒，保障钢筋有效传力；湿连接节点则通过现浇混凝土实现新旧构件结合，整体性较好。

1.2 装配式建筑结构节点的重要性

装配式建筑结构节点是确保建筑整体性能的核心环节。在结构安全层面，节点需可靠传递荷载，避免因连接失效导致结构坍塌，其力学性能直接决定建筑的抗震、抗风能力；在施工层面，合理的节点设计可显著提升装配效率，降低高空作业风险，缩短工期。同时，节点设计还影响建筑的耐久性与维护成本，密封性良好的节点能有效防止雨水、湿气侵入，延长建筑使用寿命；而可替换式节点设计则便于后期维修与改造^[1]。

2 装配式建筑结构节点设计原则

2.1 满足耐久性要求

装配式建筑结构节点长期承受环境侵蚀与荷载作用，耐久性是确保建筑使用寿命的关键。设计时需考虑节点材料的抗老化、抗腐蚀性能，如采用高性能混凝土与防腐蚀钢材，并加强钢筋的防锈处理，避免因材料劣化导致节点失效。同时，节点构造应减少水分、有害介质的侵入路径，比如优化接缝密封设计，采用耐候性强的密封胶条，防止雨水渗透引发钢筋锈蚀。此外，针对冻融、化学腐蚀等特殊环境，需采取专项防护措施。满足耐久性要求，不仅能降低后期维护成本，更能保障建筑在设计使用年限内安全可靠运行，对装配式建筑的长远发展意义重大。

2.2 保证结构整体稳定性

装配式建筑由预制构件拼接而成，节点作为构件连接的“纽带”，其设计直接影响结构整体稳定性。设计时需确保节点具备足够的强度与刚度，使各构件协同受力，有效传递荷载，避免因节点连接薄弱导致结构局部破坏甚至整体失稳。通过合理设计节点形式（如螺栓连接、灌浆套筒连接等），增强节点的抗剪、抗拉能力，并进行详细的力学分析与计算，验证节点在地震、风荷载等作用下的稳定性。此外，节点的构造应保证结构的连续性，避免出现传力中断或突变。只有保证结构整体稳定性，装配式建筑才能在复杂工况下保持良好工作状态，为用户提供安全的空间环境。

2.3 兼顾使用和施工阶段的要求

装配式建筑结构节点设计需兼顾使用与施工两个阶段的不同需求。使用阶段，节点应满足建筑的承载、变形等功能要求，确保结构安全可靠，同时要考虑建筑的空间使用、装饰装修等需求，避免节点构造影响建筑内

部空间的美观与实用性。施工阶段,节点设计应便于预制构件的运输、吊装与安装,简化连接工艺,减少施工难度与时间成本。优化节点连接方式,降低现场湿作业量。只有平衡好使用与施工阶段的要求,才能既保证建筑的质量与性能,又提升施工效率,推动装配式建筑的高效建造。

2.4 遵循“强节点弱结构”等设计理念

“强节点弱结构”理念是装配式建筑结构节点设计的重要指导原则。该理念要求节点的承载能力与延性应高于构件本身,使结构在遭遇地震等灾害时,构件先于节点屈服破坏,从而避免节点过早失效导致结构整体倒塌。设计时需通过增加节点配筋、优化节点核心区构造等措施,提高节点的抗剪、抗弯能力,并进行抗震性能分析与设计,确保节点在大变形情况下仍能保持较好的完整性与传力性能。同时,结合“强剪弱弯”“强柱弱梁”等理念,综合优化结构体系。遵循“强节点弱结构”理念,能有效提升装配式建筑的抗震性能与安全储备,保障建筑在灾害中的生命财产安全。

2.5 确保节点及接缝的性能不低于现浇结构

装配式建筑节点及接缝的性能直接影响建筑的整体质量,其性能需达到甚至超过现浇结构水平。在力学性能方面,节点连接应保证足够的强度与刚度,使装配式结构在荷载作用下的受力性能与现浇结构相近;在防水性能上,通过合理设计接缝构造,采用可靠的密封材料与防水措施,防止雨水渗漏,避免影响建筑使用功能与耐久性。在施工过程中,严格控制节点连接质量,加强施工工艺管理与质量检测,确保节点及接缝的施工精度与质量。只有保证节点及接缝性能不低于现浇结构,才能消除人们对装配式建筑质量的疑虑,推动装配式建筑行业高质量发展。

2.6 满足建筑的物理功能要求

装配式建筑结构节点设计需满足建筑的保温、隔热、隔音等物理功能要求。在保温隔热方面,节点设计应避免出现热桥,采用保温性能良好的材料与构造措施,减少热量传递,保证建筑的节能效果。在隔音方面,优化节点构造,减少声音通过节点的传播路径,如采用弹性连接、设置隔音垫等方式,降低噪音对室内环境的影响。此外,针对防潮、防火等功能需求,也需采取相应的设计措施。满足建筑的物理功能要求,能有效提升装配式建筑的舒适度与宜居性,提高建筑的品质与市场竞争力,促进装配式建筑的广泛应用与发展。

3 装配式建筑结构节点设计中存在的问题

3.1 连接方式单一

当前装配式建筑结构节点的连接方式以螺栓连接、灌浆套筒连接为主,形式相对单一。单一的连接方式难以适应不同建筑类型、构件尺寸及受力工况的多样化需求。例如,在异形构件或复杂节点部位,现有连接方式操作难度大,难以保证连接质量;且长期使用后,部分连接方式易出现松动、锈蚀等问题,存在安全隐患。同时,连接方式的局限性限制了装配式建筑的创新设计与结构优化,难以充分发挥装配式建筑的优势。

3.2 刚度不足

装配式建筑结构节点由于构件拼接的特性,常出现刚度不足的问题。节点处的连接构造往往难以实现与现浇结构等同的刚度,导致结构在荷载作用下产生较大变形,影响建筑的使用功能和安全性。如在地震作用下,刚度不足的节点可能成为结构薄弱部位,引发局部破坏甚至整体失稳;在长期使用过程中,节点刚度不足还可能导致结构裂缝产生、渗漏等问题,降低建筑的耐久性和使用寿命^[2]。

3.3 施工耗时较长

装配式建筑结构节点的施工流程复杂,涉及构件运输、定位、连接等多个环节,导致施工耗时较长。例如,灌浆套筒连接需严格控制灌浆工艺,从清理套筒、制备灌浆料、灌浆到养护,每个步骤都需耗费大量时间,且对施工环境和操作人员技术要求高;部分复杂节点的连接还需进行现场焊接或二次浇筑,进一步增加施工周期。施工耗时过长不仅影响工程进度,还增加了施工成本,制约了装配式建筑的推广应用。

3.4 材料选择不合理

在装配式建筑结构节点设计中,材料选择不合理现象较为常见。部分设计人员对节点材料性能认识不足,未能充分考虑节点所处环境、受力特点等因素,导致材料选用不当。例如,选用的密封材料耐候性差,易老化开裂,无法有效防止雨水渗漏;部分连接材料强度不足,难以满足节点的承载要求。此外,材料选择未充分考虑环保、节能等要求,不符合绿色建筑发展趋势,影响装配式建筑的综合效益。

4 装配式建筑结构节点优化设计策略

4.1 优化节点连接方式

当前装配式建筑节点连接方式的单一性已成为制约行业发展的瓶颈。优化节点连接方式,需从技术创新、定制化设计与标准化建设三方面协同推进。在技术创新层面,预应力连接技术凭借其高效性与高延性优势,正逐渐成为主流方向之一。通过在节点部位施加预应力,可使预制构件紧密咬合,利用摩擦力抵抗外力,不仅显

著提升连接效率,还能增强节点在地震等动态荷载下的变形能力。此外,可更换耗能连接装置的研发与应用,为装配式建筑的防灾减灾提供了新思路。该装置允许节点在灾害发生时率先耗能破坏,灾后通过更换受损部件即可快速恢复结构功能,降低维修成本与时间。针对异形构件和复杂节点,定制化连接构造是解决之道。采用模块化连接件,将复杂节点拆解为多个标准模块,可大幅简化现场装配流程,提高施工效率。

4.2 提高节点刚度

装配式建筑节点刚度不足是影响结构性能的关键问题,提升节点刚度需从设计优化、构造改进、材料升级与模拟分析四个维度综合施策。在设计优化方面,创新节点传力路径是核心。采用刚接与铰接相结合的混合连接形式,根据节点受力特点合理分配连接方式,可有效分散应力,增强节点整体刚性。同时,增设加劲肋、牛腿等辅助构件,能够进一步提高节点的承载能力与刚度。构造改进方面,精细化设计节点连接部位的细节至关重要。增加灌浆套筒与钢筋的锚固长度,优化螺栓排列方式,确保力的有效传递;在节点核心区设置箍筋加密区,增强混凝土的约束作用,提高节点的抗剪性能。材料升级上,选用高强度混凝土和高性能钢材,可显著提升节点核心区的承载能力与变形能力。

4.3 简化施工工艺

简化施工工艺是提高装配式建筑建造效率、降低成本的关键举措,需从设计优化、装备创新、工艺革新与管理提升四个方面着手。在设计优化上,推动节点设计与施工的一体化,采用“少规格、多组合”的设计原则,减少预制构件种类,提高构件通用性。通过标准化设计,可降低构件生产、运输和安装的难度,减少施工过程中的错误与返工。装备创新方面,智能化施工装备的研发与应用是大势所趋。自动灌浆机器人、高精度定位机械臂等设备的使用,可替代人工操作,显著提高连接精度与施工效率。同时,减少人为因素对施工质量的影响,保证施工质量的稳定性。在工艺革新上,大力推广干式连接技术,如螺栓连接、卡榫连接等,减少湿作

业环节。干式连接无需灌浆养护、混凝土浇筑等耗时工序,可大幅缩短工期。

4.4 合理选择材料

材料的合理选择是保障装配式建筑节点性能的基础,需综合考虑力学性能、耐久性、环保性与节能性等多方面因素。在力学性能方面,连接材料应优先选用高强度、耐腐蚀的钢材与连接件。例如,采用不锈钢螺栓、热浸镀锌钢材,可有效减少长期使用中的锈蚀风险,保证节点连接的可靠性。针对密封材料,选择耐候性强、弹性好的硅酮密封胶、遇水膨胀止水条等,能够确保接缝的防水效果,防止水分侵入影响节点性能。耐久性方面,选用抗老化、抗疲劳性能优异的材料,延长节点的使用寿命。同时,注重材料的环保性能,推广可循环利用材料,如再生混凝土、绿色胶凝材料等,降低建筑全生命周期的环境负荷,符合绿色建筑发展趋势。在节能性方面,结合建筑节能需求,选用保温隔热性能优异的材料用于节点部位,避免热桥效应,提高建筑的能源利用效率^[3]。

结束语

综上所述,土木工程中装配式建筑结构节点的优化设计,是提升建筑质量、推动行业发展的关键。通过优化连接方式、增强节点刚度、简化施工工艺及合理选材,能够有效解决现存问题,实现装配式建筑安全性、耐久性与经济性的平衡。在建筑工业化与绿色建造的时代趋势下,持续深化节点设计研究,推动技术创新与标准完善,将为装配式建筑注入更强发展动力,助力土木工程领域迈向高质量发展新征程,为打造更安全、高效、环保的建筑体系奠定坚实基础。

参考文献

- [1]王明.装配式建筑设计与应用[J].建筑技术,2020,36(3):145-152.
- [2]张涛,李峰.深化设计在土木工程中的应用研究[J].结构工程师,2022,25(2):178-186.
- [3]陈华,刘洋.装配式建筑结构优化方法研究[J].建筑学报,2021,37(5):112-120.