

装配式建筑结构抗震性能优化策略研究

胡迪

中国新兴建设开发有限责任公司, 北京 100039

[摘要]装配式建筑作为绿色建筑发展的关键路径, 凭借施工周期短、资源利用率高、现场作业量少等显著优势, 在现代建筑领域获得广泛应用, 然而, 在地震灾害多发的背景下, 其抗震性能缺陷逐渐显现, 主要表现为连接节点强度薄弱、构件协同工作能力不足以及整体结构稳定性欠佳等问题, 通过创新结构设计方案、改良节点连接技术、应用新型建筑材料并结合减震技术, 能够有效增强装配式建筑的抗震性能, 提升其安全可靠, 为行业进一步推广应用提供有力支撑。

[关键词]装配式建筑; 结构优化; 抗震性能; 节点设计; 新材料

DOI: 10.33142/aem.v7i6.17032

中图分类号: TU208

文献标识码: A

Research on Optimization Strategies for Seismic Performance of Prefabricated Building Structures

HU Di

China Xinxing Construction and Development Co., Ltd., Beijing, 100039, China

Abstract: As a key path for the development of green buildings, prefabricated buildings have been widely used in the field of modern architecture due to their significant advantages such as short construction period, high resource utilization rate, and low on-site operation volume. However, in the context of frequent earthquake disasters, their seismic performance defects have gradually emerged, mainly manifested as weak connection node strength, insufficient collaborative working ability of components, and poor overall structural stability. Through innovative structural design schemes, improved node connection technology, application of new building materials, and combined with seismic reduction technology, the seismic performance of prefabricated buildings can be effectively enhanced, their safety and reliability can be improved, and strong support can be provided for further promotion and application in the industry.

Keywords: prefabricated building; structural optimization; seismic performance; node design; new materials

引言

在国家政策大力扶持与绿色建筑理念普及的推动下, 装配式建筑近年来发展迅猛, 以其高效建造、资源节约和环保等特性, 成为工程建设领域的重要发展方向, 但在地震活动频繁区域, 装配式建筑的结构抗震能力引发行业高度关注, 当前, 国内外研究聚焦于连接节点优化设计、构件装配精度控制及结构整体性能提升等方向, 从结构创新设计、节点构造改良及新技术应用等多维度系统研究装配式建筑抗震性能提升策略, 对推动行业技术进步与工程实践具有重要的理论与现实意义。

1 装配式建筑结构体系分析

1.1 常见装配式结构形式

依据材料特性与构造工艺, 装配式建筑结构主要涵盖装配整体式混凝土结构、钢结构装配式体系及钢-混凝土组合结构三大类型, 装配整体式混凝土结构以预制梁、柱、楼板、墙板为核心构件, 通过现场湿接缝工艺实现连接, 具备优异的整体性能与耐久特性; 钢结构装配式建筑采用钢柱、钢梁等轻质构件快速装配成型, 施工效率高且构件可回收利用, 但需重点强化防火性能与结构稳定性; 钢-混凝土组合结构融合钢结构的高强度与混凝土的耐久性优势, 既能有效提升抗震能力, 又兼具经济合理性与应用

灵活性, 各类结构形式因自身特性, 在不同建筑场景与抗震设防需求下展现出差异化的技术优势。

1.2 结构构件功能分化与协同工作机制

装配式建筑中, 结构构件呈现明确的功能分工, 在荷载传递与承载过程中形成稳定协同体系, 梁、柱作为竖向与水平荷载的核心承载体, 需具备良好的刚度储备与延性性能; 墙板除发挥围护功能外, 在水平力作用下承担剪力墙的抗震作用; 楼板则充当楼层连接纽带, 既传递重力荷载, 又维持结构水平向整体刚度, 这些预制构件通过节点连接技术、钢筋锚固处理及后浇带浇筑等工艺, 共同构成完整的结构体系, 地震作用下, 构件间的协同效应决定了内力分配与能量耗散效率, 成为影响装配式建筑抗震性能的关键因素。

1.3 结构体系对抗震性能的影响因素

装配式建筑结构的抗震能力受多重因素制约, 结构布局合理性、节点连接可靠性及质量分布均衡性构成核心影响要素, 科学的结构布局需确保构件对称布置, 力求重心与刚心重合, 以此降低扭转效应、规避应力集中风险; 连接节点作为荷载传递枢纽, 其刚度、延性及耗能特性直接影响左右结构地震响应; 质量分布应避免楼层间重量突变或局部堆积, 保障地震作用下结构整体受力均匀, 设计环节若

忽视上述因素,易引发结构失稳、节点破坏甚至整体垮塌,由此可见,优化结构体系设计是增强装配式建筑抗震性能的先决条件。

2 装配式建筑抗震性能存在的主要问题

2.1 连接节点刚度与延性不足

连接节点是装配式建筑抵御地震荷载的关键环节,其力学性能直接关乎结构稳定性与能量耗散效率,干式连接、螺栓拼接、套筒灌浆等装配式工艺,在传力机制、连接强度及耗能特性上与现浇结构存在显著差异,部分节点设计未能充分考量地震作用下的复杂变形与破坏形态,致使节点在强震中易发生脆性断裂或连接失效,进而引发结构整体失稳,此外,现行节点设计标准与施工技术尚不完善,难以满足高延性、高耗能设计要求,导致装配式结构在强震作用下承载力与变形能力双重不足,成为制约抗震性能提升的核心瓶颈。

2.2 构件连接施工误差大

装配式建筑采用预制构件工厂化生产与现场装配结合的建造模式,虽显著提升施工效率与标准化程度,但构件运输、吊装及连接环节的复杂性,常导致现场安装出现定位偏移、尺寸偏差、接缝不严等问题,这些施工偏差不仅削弱结构受力性能,还可能诱发节点应力集中或裂缝早期萌生,进而降低建筑整体抗震能力,特别是节点处钢筋错位、灌浆不饱满、螺栓连接松动等细节缺陷,会使结构实际性能与设计预期产生较大差异,增加地震响应的不确定性,此外,施工工艺规范尚未完全统一,施工人员技术水平参差不齐,进一步加剧误差产生,亟待通过强化施工管理与专业培训加以改善。

2.3 结构整体性差、刚度分布不均

装配式建筑依赖节点连接实现构件协同受力,与传统现浇结构相比,其整体性能相对薄弱,实际工程中,若节点连接质量不佳或结构布置欠妥,易出现楼层刚度突变、上下结构体系脱节等现象,引发地震作用下的“薄弱层”破坏或局部失效,部分建筑为追求构件标准化与布局模块化,忽视结构连续性设计,致使传力路径不明确、变形协调能力不足,结构整体响应复杂多变,刚度分布不均不仅改变结构动力特性,还可能扰乱地震作用下的振型规律,加剧局部构件的地震反应,甚至引发严重破坏,因此,增强装配式结构的整体性与刚度均匀性,是提升其抗震安全性的关键所在。

3 装配式结构抗震性能优化策略

3.1 优化连接节点设计

连接节点作为装配式建筑抵御地震荷载的核心枢纽,其抗震性能直接关乎结构整体安全性,为增强节点延性与耗能能力,可选用高性能连接技术,如湿接缝连接、半预应力连接、套筒灌浆连接等创新形式,湿接缝通过现场浇筑混凝土,使节点与主体结构形成稳固整体,显著提升结

构刚度与延性;半预应力连接则借助预应力钢筋约束构件变形,增强节点自复位能力与抗疲劳性能,针对节点在地震作用下的复杂受力特征,需结合试验验证与有限元分析,优化节点几何构造与配筋设计,提升其多向承载能力,通过精细化设计、性能验证与标准化施工,可实现装配式节点在抗震性能、安全可靠性与施工效率间的动态平衡。

3.2 提升构件制造与安装精度

构件制造质量与现场装配精度是决定装配式建筑可靠性的关键因素,也是实现抗震设计目标的重要保障,受预制构件生产标准不统一、运输吊装管理疏漏等因素影响,施工现场常出现尺寸偏差与定位失准问题,削弱结构协同工作性能,为有效解决上述问题,可引入 BIM 技术构建全流程数字化管理体系,实现构件从设计建模到生产装配的精准管控,确保空间位置精准匹配,同时,依托智能化预制生产线、自动化钢筋加工设备与模块化吊装工艺,可大幅提升构件尺寸精度与安装对位准确性,施工现场需制定精细化施工方案,配备激光测量仪、高精度找平设备等工具,强化全过程质量监测,最大限度减少人为误差,保障结构整体性能稳定可靠。

3.3 合理配置构件与调整结构布局

结构布局对建筑物的抗震能力具有决定性影响,合理配置构件与优化结构布置不仅能提升整体受力合理性,还可避免震害中常见的刚度突变与质量不均现象。在设计阶段,应根据建筑所在地区的抗震设防烈度,科学选用承重构件与抗震构件的类型与布置方式,确保结构刚度与质量沿竖向和水平向均匀分布,减少震动集中效应。底部应重点设置剪力墙、框架核心筒等高抗震元件,增强建筑底部承载能力与抗侧刚度,避免“软层”现象的发生。同时,可通过设置抗震缝、构造缝等缓冲区域,提高结构在地震中的形变调节能力。整体结构宜采用对称布置,简化受力路径,提高构件协同能力与结构鲁棒性,从而在强震作用下实现“强节点、弱构件”的抗震目标,提升建筑的安全保障水平。

4 新材料与新技术在抗震优化中的应用

4.1 高性能混凝土与复合材料的应用

材料科学领域的持续创新,推动高性能混凝土及复合材料在装配式建筑中的广泛应用,为结构抗震性能提升注入新动能,活性粉末混凝土(RPC)凭借超高强度、卓越延性及致密微观结构,在构件抗压、抗裂与耐久性方面表现优异,成为承载核心区提升耐震性能的理想选择,纤维增强复合材料(如碳纤维、玻璃纤维板材)通过在混凝土中添加高性能纤维,有效增强构件韧性、抗冲击能力与裂缝抑制效果,在地震循环荷载下展现出优良的疲劳抗性与能量耗散特性,此外,自愈混凝土、纳米改性混凝土等新型材料的研发探索,为提升结构震后修复能力与使用寿命开辟新路径,这些材料的应用不仅强化构件自身性能,

更为装配式建筑整体抗震能力筑牢根基。

4.2 消能减震技术集成

为优化建筑在地震作用下的动态响应,消能减震技术作为结构抗震的重要辅助手段,在装配式建筑中获得越来越多的实践应用,黏滞阻尼器、金属屈服阻尼器、摩擦阻尼器等被动消能装置,利用阻尼特性吸收地震能量,有效降低结构位移与震后损伤程度,隔震技术则通过在建筑基础与上部结构间设置隔震垫或橡胶支座,延长地震波传递周期,削减结构能量输入峰值,加速震后恢复进程,在装配式建造体系中,这些减震装置可预先集成于构件连接部位,具备施工便捷、维护简易、适配性强的特点,通过结构设计与消能装置的协同布局,践行“以柔制震”的抗震理念,既能保障建筑安全性能,又可提升使用舒适度与抗震韧性。

4.3 数字化技术赋能抗震设计

伴随数字化建筑技术革新,BIM与AI算法的深度融合正引领装配式建筑抗震设计向智能化、精准化方向迈进,BIM技术凭借三维建模与信息集成优势,将建筑全周期数据整合于统一平台,不仅为抗震设计提供高精度结构模型,还能模拟构件受力状态、预判施工流程;AI技术则借助大数据挖掘与机器学习算法,基于历史地震灾害数据及建筑响应规律,推演结构在不同震级下的力学表现,辅助优化抗震结构布局与构件规格,数字孪生技术的应用,更实现建筑使用阶段“感知-分析-调控”的智能闭环管理,显著增强地震预警、应急响应与灾后修复能力,BIM与AI技术的协同创新,可有效提升设计科学性、施工精准度与抗震评估效率,成为装配式建筑抗震性能优化的重要发展趋势。

5 装配式建筑抗震性能优化展望

5.1 标准规范体系的完善

装配式建筑行业的迅猛发展,对配套抗震设计标准体系的构建提出迫切需求,当前我国建筑规范多以现浇结构为基准,针对装配式结构抗震性能的评估体系尚不完善,在连接节点设计、构件装配工艺、减震装置应用等关键环节,存在标准缺失或指导不足的问题,面向未来,亟需从国家战略层面加速推进装配式建筑抗震设计与施工技术规范制修订工作,着力构建覆盖设计研发、构件生产、现场施工、工程验收等全流程的标准化体系,为设计机构与施工企业提供明确技术指引。

5.2 科研与工程协同创新机制

抗震性能提升既需要理论研究的突破,也离不开工程实践的检验与优化,因此,需构建高校、科研机构与建筑企业间的协同创新网络,共同推进新材料、新结构、新技术在装配式建筑中的应用研究,通过搭建联合实验平台、

开展试点示范工程、设立产业转化基金等举措,加速科研成果向实际生产力转化,实现技术的规模化应用,同时,应完善地震模拟试验数据与现场监测信息的共享机制,为抗震设计模型提供详实的数据支撑,助力构建科学完备的抗震性能评估体系,此外,需深化产学研用一体化合作模式,健全协同机制与反馈渠道,提升成果转化效能与技术推广的深度和广度。

5.3 构建区域适应性抗震解决方案

我国地震活动区域分布广泛,不同地域抗震设防需求差异显著,装配式建筑抗震设计需摒弃单一模式,未来应结合各地地质特征、抗震等级要求及建筑功能定位,研发适配不同区域的装配式抗震技术体系,针对高地震烈度地区,可强化高延性节点与减震装置的协同应用;在中低烈度区域,则侧重优化构件布局并平衡经济性与安全性,通过实施差异化指导策略,因地制宜制定抗震方案,既能提升设计科学性与实用性,又能增强装配式建筑在全国范围内的抗震能力与推广潜力。

6 结语

作为建筑行业发展的趋势,装配式建筑的抗震性能直接影响其安全性与应用前景,从结构体系创新、节点构造优化、施工精度管控,到新材料研发与数字技术赋能,多维度系统性改进可显著提升装配式结构的抗震稳定性,与此同时,需持续完善技术标准体系,深化科研成果与工程实践的融合创新,构建覆盖不同区域的抗震设计策略,随着技术迭代与协同管理机制的完善,装配式建筑抗震性能将迎来新突破,为建筑行业高质量发展注入强劲动力。

[参考文献]

- [1]刘杰.不同节点连接形式的装配式框架结构抗震分析及优化设计[D].山东:山东科技大学,2019.
- [2]牛传波.冷成型钢管混凝土柱-钢梁-支撑结构体系的应用及其优化设计研究[D].陕西:西安建筑科技大学,2020.
- [3]张洪舰.装配式住宅剪力墙结构优化性能研究[D].吉林:吉林建筑大学,2022.
- [4]卢嘉洛.新型装配式钢管混凝土柱-钢筋混凝土梁节点抗震性能研究[D].广东:深圳大学,2023.
- [5]朱嘉峰.装配式建筑框架节点结构与热工性能耦合优化研究[D].河北:河北工业大学,2023.

作者简介:胡迪(1991.2—),男,毕业院校①:牡丹江大学,学历:全日制专科,所学专业:工程监理,毕业院校②:黑龙江工程学院,学历:函授本科,所学专业:土木工程,当前就职单位:中国新兴建设开发有限责任公司,职务:生产经理,所在职务的年限:2年,现职称级别:工程师。