

# 预制装配式剪力墙结构抗震性能分析与优化

郑嘉欣

(温岭市建筑设计研究院有限公司, 浙江 温岭 317500)

**摘要** 装配式建筑因节能环保、施工高效等显著优势, 推广应用范围不断扩大。预制装配式剪力墙结构作为主流抗侧力体系, 在地震多发区域的应用场景愈发广泛。然而, 该结构存在三大关键难点: 连接节点受力机制复杂、构件装配精度要求严格、抗震性能易受多重因素制约, 这些问题导致其在实际施工中极易形成抗震薄弱部位, 给工程安全带来潜在隐患。鉴于此, 本文结合工程实际工况, 系统梳理预制装配式剪力墙结构在抗震方面的核心问题, 深入分析问题成因, 有针对性地提出科学可行的应对策略, 旨在优化结构抗震性能, 规避施工中的抗震薄弱环节, 为装配式建筑工程的安全保障提供理论参考。

**关键词** 预制装配式; 剪力墙结构; 抗震性能

中图分类号: TU767

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.013

## 0 引言

抗震性能是建筑结构安全的核心保障, 提升预制装配式剪力墙结构的抗震能力, 对保障人民生命财产安全、推动装配式建筑持续健康发展具有重要的现实意义与工程价值。作为装配式建筑的主流结构形式之一, 预制装配式剪力墙结构兼具施工高效、节能环保等优势, 但在高烈度地震作用下, 其抗震薄弱问题仍需重点突破。明确该结构的核心组成部分、科学分析方法、关键影响因素及针对性优化策略, 可为工程设计与施工提供可靠的科学参考, 有效破解抗震短板, 助力预制装配式剪力墙结构在高烈度地震区安全、广泛应用, 为建筑行业高质量发展筑牢安全根基。

## 1 预制装配式剪力墙结构组成与构造特点

### 1.1 核心组成体系及构件分工

预制装配式剪力墙结构以预制剪力墙板、连接节点、楼板及各类配套构件为核心组成, 各部分协同工作, 共同承载建筑竖向荷载与水平地震作用力。预制剪力墙板作为主要抗侧力构件, 分为承重与非承重两类, 均在工厂预制完成, 运至施工现场后直接吊装拼接; 连接节点是力的传递关键环节, 涵盖竖向连接与水平连接两大类型, 浆锚搭接、套筒灌浆属于竖向连接形式, 螺栓连接、后浇混凝土暗梁则归为水平连接, 其施工质量直接决定整个结构的整体性。楼板多采用预制叠合板, 通过预埋件与剪力墙衔接, 保障楼盖整体刚度。该组成体系实现了构件标准化生产与现场快速装配,

既保障结构安全, 又提升施工效率; 各构件分工明确, 力的传递路径清晰, 为建筑抗震性能筑牢基础<sup>[1]</sup>。

### 1.2 关键构造设计核心特征

预制装配式剪力墙结构的构造设计, 聚焦抗震安全与装配便捷两大核心目标, 主要体现在节点构造、墙板构造和防裂构造三个维度。节点构造严格遵循“强节点、弱构件”设计原则, 连接处预留充足钢筋锚固长度, 通过后浇混凝土或灌浆材料实现力的可靠传递; 同时增设密封胶防渗, 增强节点延性。墙板构造兼顾轻量化与高强度需求, 板内配置双层双向钢筋网, 边缘部位设置暗柱、暗梁强化局部承载力, 墙板预制阶段提前预留孔洞, 便于后期管线铺设与现场连接。防裂构造针对装配缝隙布设伸缩缝、沉降缝, 墙板拼接处采用柔性连接材料, 缓解温度变化与沉降变形引发的裂缝问题, 确保结构在地震作用下保持完整, 延长建筑使用年限。

## 2 预制装配式剪力墙结构抗震性能分析方法

### 2.1 静力弹塑性分析方法

静力弹塑性分析是预制装配式剪力墙结构抗震性能分析中常用的方法, 核心思路是通过逐步加大水平荷载, 模拟结构在地震作用下从完好的弹性阶段慢慢进入弹塑性阶段, 直到最终破坏的整个过程。做这项分析时, 需先构建结构的精细化计算模型, 明确预制墙板及连接节点等关键部位的力学参数; 随后将地震作用力转化为水平推力, 并按特定的加载模式(倒三

作者简介: 郑嘉欣(1993-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 结构设计。

角形分布或者均匀分布)施加至结构的每一层。之后,通过分析结构的荷载一位移曲线、层间位移角,还有各个构件什么时候开始屈服这些关键指标,就能判断结构是否符合抗震设防的要求,也能精准找出结构的薄弱环节。这种方法的好处是计算量不算大,物理意义也很直观,能清楚地反映出结构在弹塑性阶段的受力情况,适合用来评估结构在中强地震作用下的承载能力和变形性能,为抗震设计提供可靠依据<sup>[2]</sup>。

## 2.2 动力时程分析方法

动力时程分析方法是基于结构动力学原理的,简单说就是输入实际发生过的地震波,或者人工模拟的地震波,计算结构在地震动作用下的瞬时响应,能精准还原结构的动力特性和抗震表现。采用这种方法时,要挑选符合场地类别、设防烈度的地震波,比如天然地震波或者人工合成的地震波;再结合结构的质量矩阵、刚度矩阵和阻尼矩阵,通过数值积分的方式,算出结构在每个时刻的位移、速度、加速度以及内力响应。针对预制装配式剪力墙结构,重点要模拟好连接节点的动力特性,充分考虑节点的刚度、阻尼,还有非线性变形对整个结构响应的影响。这种方法能全面捕捉结构在地震作用下的瞬时受力和变形状态,分析结果也更贴近实际工程情况,一般用在重要建筑的抗震性能精细化评估中<sup>[3]</sup>。

## 2.3 等效静力分析方法

等效静力分析方法是一种简化的抗震分析手段,其核心原理在于通过谱值转换机制,将地震动产生的动力效应转换成静态的水平荷载,进而基于弹性分析来评估结构的抗震性能。该方法的步骤很清晰,先确定结构的自振周期、振型这些动力参数,再结合场地的地震反应谱,算出各楼层的水平地震作用标准值;之后按照规范要求对荷载组合,分析结构构件的内力和位移情况。对于预制装配式剪力墙结构,要考虑到预制构件和连接节点的刚度折减问题,合理选取等效刚度系数,这样才能保证分析结果的准确性。它最大的优势就是计算简便、效率高,能快速判断结构在小震作用下的弹性受力状态,满足常规预制装配式剪力墙结构抗震设计初步评估的需求,为结构方案优化提供快速的参考依据。

## 3 预制装配式剪力墙结构抗震性能影响因素分析

### 3.1 连接节点力学性能相关问题

连接节点是预制装配式剪力墙结构传力的核心枢纽,其力学性能直接决定整个结构的抗震成效。核心

症结集中于三方面:节点连接方式的合理性、连接材料力学特性的达标性、节点构造细节的科学性。套筒灌浆连接、浆锚搭接连接、螺栓连接等不同方式,在传力效率、刚度特性与延性上存在显著差异;如何结合结构抗震设防等级选用适配的连接方式,确保节点在地震作用下可靠传递剪力、弯矩与轴力,是首要解决的问题。连接所用灌浆料、锚固钢筋、密封胶等材料,其强度、耐久性及变形能力需满足地震工况下的使用要求,材料性能衰减可能直接导致节点承载力下降。节点构造中,钢筋锚固长度、预留孔洞尺寸、后浇混凝土厚度等细节设计,需规避应力集中现象,防止节点过早失效。上述问题均直接影响结构的抗震整体性与抗倒塌能力<sup>[4]</sup>。

### 3.2 预制构件自身特性相关问题

预制构件自身特性是保障预制装配式剪力墙结构抗震性能的基础前提。核心问题主要涉及预制剪力墙板的截面尺寸与配筋设计、构件生产精度与施工质量控制、构件材料性能稳定性三大维度。预制剪力墙板的截面厚度、高宽比,需契合抗震设计规范,确保在地震作用下有效抵御水平荷载,避免发生剪切破坏或弯曲破坏;墙板内部钢筋的配置数量、间距及锚固方式需科学合理,钢筋骨架需具备良好整体性,保障结构屈服后仍拥有充足的延性与耗能能力。构件工厂生产阶段,模具精度、混凝土浇筑质量、养护条件等关键环节需严格把控,防止出现裂缝、蜂窝、露筋等质量缺陷;构件尺寸偏差会直接影响现场装配精度。预制构件所用混凝土、钢筋等主材,性能需保持稳定,强度波动需控制在允许范围之内;在长期使用过程中,材料性能退化可能降低构件的抗震承载力。

### 3.3 结构整体布置与场地条件相关问题

结构整体布置与场地条件对预制装配式剪力墙结构抗震性能的影响具有系统性。核心问题涵盖结构平面与竖向布置的合理性、结构刚度分布的均匀性,以及场地震动特性的适配性。在结构平面布置中,剪力墙的间距与布置形式需对称均匀,规避扭转效应;凹凸不规则、楼板局部不连续等平面不规则情况,易导致地震作用下结构受力集中。在结构竖向布置中,需避免楼层刚度突变,上下层剪力墙的截面尺寸与配筋需协调匹配;刚度突变、承载力突变等竖向不规则问题,可能引发薄弱层破坏。结构整体刚度需与场地震动特性适配,场地类别、土层分布会放大或衰减地震动强度,结构自振周期需避开场地卓越周期,防止产生共振。此外,楼盖刚度、构件装配精度等因素

会影响结构整体协同工作效果,若导致各构件受力不均衡,将进一步降低结构整体抗震能力<sup>[5]</sup>。

## 4 预制装配式剪力墙结构抗震优化策略

### 4.1 优化连接节点设计,强化传力可靠性

连接节点的抗震优化,核心在于提升节点延性、传力可靠性及整体稳定性。需结合结构抗震设防等级与实际受力工况,制定针对性优化方案。设计过程中严格遵循“强节点弱构件”原则,重点完善节点配筋构造。在节点核心区域,额外增设横向箍筋与纵向钢筋,可有效提高节点抗剪承载力和变形能力,避免地震作用下节点过早发生剪切破坏。对于套筒灌浆连接,必须严格控制灌浆料强度等级,规范施工流程,确保钢筋锚固牢固可靠。同时,优化套筒尺寸及布置方式,缓解节点区域应力集中问题;可在节点处设置后浇混凝土暗梁,进一步增强节点整体性。针对水平连接节点,采用螺栓连接与后浇混凝土相结合的形式,既能提升节点抗拔、抗剪性能,又可通过设置柔性密封材料,适应地震作用下的结构变形,防止连接部位出现开裂渗漏。通过上述节点优化措施,保障地震力有效传递,进而提升结构整体抗震性能<sup>[6]</sup>。

### 4.2 优化预制构件设计,提升构件抗震能力

预制构件的抗震优化,核心围绕提升构件强度、延性、耐久性及装配便捷性开展,从截面设计、配筋优化、材料选取等多维度发力,全面强化构件抗震性能。优化预制剪力墙板截面尺寸,合理控制墙板高宽比与厚度,确保墙板在地震作用下以弯曲破坏为主,规避剪切脆性破坏风险。在高烈度地震区域,可采用双拼墙板或带暗支撑的墙板形式,增强构件抗侧刚度与承载能力。优化墙板配筋设计,采用双层双向钢筋网布置,加密边缘暗柱、暗梁的钢筋配置,提升构件边缘约束效果,增强构件延性与耗能能力。钢筋锚固长度需严格符合规范要求,保障钢筋与混凝土协同工作。材料选取方面,优先选用高强度、高延性的混凝土与钢筋,混凝土强度等级不低于 C30,钢筋采用 HRB400 及以上级别,提升构件材料性能的稳定性与抗损伤能力<sup>[7]</sup>。

### 4.3 优化结构整体布置,实现抗震性能均衡

结构整体布置抗震优化的核心是降低结构不规则性,实现刚度与承载力的均衡分布,结合场地条件与建筑功能需求,优化整体结构方案。优化结构平面布置,确保剪力墙对称且均匀分布,减小平面凹凸尺寸,避免楼板出现局部不连续情况。若存在平面不规则问题,需增设抗扭构件或调整剪力墙布置,降低结构扭转效

应,保障各楼层水平地震作用均匀传递。优化结构竖向布置,严格控制楼层刚度与承载力变化,避免上下层出现刚度突变、承载力突变现象。对于结构薄弱层,适当加大剪力墙截面尺寸或增加剪力墙数量,提升薄弱层承载能力与刚度,使结构竖向受力更趋均衡。结合场地地震动特性优化结构刚度,通过调整剪力墙间距、截面尺寸,使结构自振周期避开场地卓越周期,避免发生共振,提升结构抵抗地震响应的能力。此外,优化楼盖设计,采用预制叠合板时,确保楼板与剪力墙、梁之间连接可靠,增强楼盖整体性与水平刚度,保障各抗侧力构件协同工作。

## 5 结束语

提升预制装配式剪力墙结构的抗震性能是一项系统工程,需统筹考虑其结构组成、分析手段与影响因素等核心环节。通过科学的优化连接节点设计以增强传力可靠性,改进预制构件性能以提升个体抗震能力,以及调整结构整体布置以实现刚度与承载力的均衡分布,方能切实提升该结构体系的整体抗震水平。合理的构造设计、精准的性能分析与针对性的优化策略相结合,可有效补强结构薄弱环节,保障其在地震作用下的安全性与稳定性。未来,应结合实际工程情况,不断完善相关的技术思路,为装配式建筑安全推广、高质量发展打下坚实的基础。

## 参考文献:

- [1] 邹延松,金涛,周义涛,等.预制装配式剪力墙结构在高层住宅中的应用与优化[J].建筑机械化,2024,45(09):121-124.
- [2] 赵承玉.预制装配式剪力墙结构连接构造优化及抗震性能研究[J].砖瓦,2024(04):74-76.
- [3] 刘新之.预制装配式剪力墙结构竖向套筒灌浆连接技术[J].安装,2023(10):102-104.
- [4] 汪莹倩.预制装配式剪力墙连接的抗震机理分析[D].苏州:苏州科技大学,2023.
- [5] 杨涛.预制装配式剪力墙结构及其连接技术[J].建筑与预算,2023(02):70-72.
- [6] 陈亚辉,余勇胜,颜桂云,等.预制装配式剪力墙结构发展动态与结构创新体系研究[J].福建建筑,2023(01):47-51.
- [7] 龚厚松,孙金坤,汪小平,等.预制装配式剪力墙结构接缝的研究现状[J].四川建筑,2022,42(04):183-186.