

# 装配式钢结构住宅的抗侧力性能与节点构造设计

黎 智

江西贵顺建设工程有限公司 江西景德镇 333000

**摘 要：**装配式钢结构住宅凭借轻质高强、施工高效、绿色环保等优势，成为建筑工业化发展的重要方向。抗侧力性能是保障装配式钢结构住宅安全的核心指标，而节点构造作为连接各构件的关键环节，直接决定抗侧力体系的整体性能。本文系统分析装配式钢结构住宅抗侧力体系的类型、特点及性能差异，探讨节点刚度、延性与失效模式对抗侧力性能的影响机制，从梁柱节点、柱脚节点、支撑体系节点三个核心部位，提出构造设计的原则与方法。研究旨在为装配式钢结构住宅抗侧力体系优化与节点构造设计提供技术参考，推动其在住宅建设中的安全高效应用。

**关键词：**装配式钢结构住宅；抗侧力性能；节点构造；抗侧力体系

## 引言

在建筑工业化与绿色建筑发展驱动下，装配式钢结构住宅因构件标准化生产、现场装配施工、资源消耗低、抗震性能优等特点，渐成替代传统混凝土结构住宅的重要选择。其结构安全依赖抗侧力体系性能，该体系需抵御地震、风荷载等水平作用力，防止结构变形或坍塌。节点构造作为抗侧力体系核心连接部分，承担传递内力、协调变形作用，其设计合理性影响结构整体性能。当前，装配式钢结构住宅在抗侧力体系选型与节点构造设计面临挑战，部分项目存在体系选型与建筑功能不匹配、节点刚度不足等问题，影响抗侧力性能发挥。随着我国地震设防要求提高与住宅品质需求升级，对其抗侧力性能与节点构造设计提出更高标准。因此，研究抗侧力体系性能与节点构造设计规律，优化结构设计方案，对提升装配式钢结构住宅安全性能、推动行业发展有重要价值与意义。

## 一、装配式钢结构住宅的抗侧力体系

### （一）抗侧力体系的类型与特点

装配式钢结构住宅的抗侧力体系主要包括钢框架体系、钢框架-支撑体系、钢框架-剪力墙体系三类，各类体系基于不同的受力原理与构造形式，呈现出独特的性能特点。钢框架体系由梁、柱刚性连接形成空间受力体系，靠自身抗弯、抗剪能力抵御水平荷载。它结构布置灵活，适应多样建筑平面，内部空间开阔，构件标准化、装配效率高。但抗侧刚度弱，强震或大风下易侧移，适用于低层、低抗震设防住宅。钢框架-支撑体系在钢框架基础上增设支撑，支撑与框架协同抗水平荷载，支撑

轴向受力承担大部分剪力，提升抗侧刚度与抗扭性，控制侧移，抗震与抗风能力优于纯钢框架。它保留空间灵活性，通过支撑布置优化受力，适用于中高层装配式钢结构住宅，支撑形式有交叉、人字形、V形等，不同形式在抗侧刚度、延性与适用场景有别。钢框架-剪力墙体系结合钢框架灵活性与剪力墙高抗侧刚度优势，剪力墙承担大部分水平荷载，钢框架承担竖向荷载并协调变形。

### （二）不同抗侧力体系的性能比较

不同抗侧力体系在抗侧刚度、延性、承载能力、适用范围等方面存在显著差异。抗侧刚度方面，钢框架-剪力墙体系的抗侧刚度最大，其次是钢框架-支撑体系，钢框架体系的抗侧刚度最小。钢框架-剪力墙体系中，剪力墙使结构在水平荷载下侧移大幅减小，稳定性更强；钢框架-支撑体系通过支撑轴向刚度补充框架抗侧能力，侧移控制优于纯钢框架；钢框架体系仅靠梁柱节点刚性连接抵抗水平力，侧移较大。延性上，钢框架体系最佳，梁柱节点塑性阶段变形大且不破坏，吸收地震能量多；钢框架-支撑体系延性取决于支撑类型与节点设计，交叉支撑受拉延性好，受压易屈曲影响整体延性；钢框架-剪力墙体系延性由剪力墙性能决定，合理设计的钢骨混凝土或钢板剪力墙有较好延性储备。承载能力方面，钢框架-剪力墙体系水平承载能力最强，可抵御大荷载；钢框架-支撑体系次之，适用于中等荷载；钢框架体系较弱，适用于轻荷载。各类体系性能差异为装配式钢结构住宅项目提供多样选择依据，需结合工程条件合理选型<sup>[1]</sup>。

### （三）体系选型与建筑功能布局的关系

抗侧力体系的选型需与建筑功能布局紧密结合，实现结构性能与使用功能的协调统一。建筑功能布局直接

决定结构的平面形式、柱网间距、空间分隔等关键参数，这些参数反过来影响抗侧力体系的受力合理性与布置可行性。对于追求大跨度、灵活分隔空间的住宅项目，如复式、大平层住宅，钢框架体系或钢框架-支撑体系更适宜。钢框架体系柱网布置灵活，可按需调整跨度与间距，无需过多承重墙，能满足开阔空间设计要求；钢框架-支撑体系可将支撑构件布置在楼梯间等不影响使用功能处，保证抗侧力性能时保留空间灵活性。对于层数高、抗震设防要求高且空间布局灵活性要求适中的普通住宅项目，钢框架-剪力墙体系是更优选择。剪力墙可布置在建筑核心筒等位置，不占主要使用空间，能提升结构抗侧力性能。户型设计中，应避免剪力墙穿越主要功能区域，确保空间舒适<sup>[2]</sup>。

## 二、节点构造对抗侧力性能的影响

### (一) 节点刚度与结构整体变形的关系

节点刚度是指节点抵抗变形的能力，直接影响装配式钢结构住宅抗侧力体系的整体刚度与变形特性。节点作为构件间的连接枢纽，其刚度大小决定内力在构件间的传递效率与分配比例，进而影响结构的整体受力状态。若节点刚度不足，在水平荷载作用下会产生较大的节点转动变形，导致结构整体侧移增大，影响建筑使用功能，甚至引发非结构构件损坏；若节点刚度过大，会使结构整体刚度分布不均，易在刚度突变处产生应力集中，降低结构的抗震性能。

节点刚度与结构整体变形呈现显著的相关性，合理的节点刚度设计需实现与结构整体刚度的匹配。在钢框架体系中，梁柱节点的刚度直接影响框架的抗侧刚度，刚性节点能有效传递梁柱间的弯矩与剪力，减少节点转动，控制结构侧移；半刚性节点则在传递内力的同时允许一定程度的转动，可通过调整节点刚度优化结构的内力分布，避免局部应力过大。在钢框架-支撑体系中，支撑与框架的连接节点刚度需与支撑构件的刚度协调，确保支撑能充分发挥轴向受力作用，避免因节点刚度不足导致支撑提前失效，影响结构整体抗侧力性能。

### (二) 节点延性与结构抗震性能的关系

节点延性是指节点在破坏前产生塑性变形的能力，是影响装配式钢结构住宅抗震性能的关键因素。地震作用下，结构需通过构件或节点的塑性变形吸收地震能量，减少地震对结构的破坏。节点作为结构受力的薄弱环节，其延性性能直接决定结构的抗震安全储备。延性良好的节点在地震作用下能产生较大的塑性变形而不发生脆性破坏，为结构提供充足的抗震冗余，有效保护主体结构

不受严重损坏；延性不足的节点易发生脆性断裂，导致内力传递中断，引发结构局部坍塌甚至整体失效。

节点延性设计需遵循“强节点、弱构件”的设计原则，通过合理的构造措施增强节点的塑性变形能力。在节点设计中，可通过增加节点板厚度、优化焊缝尺寸、设置加劲肋等方式，提升节点的承载能力与延性；同时，避免节点构造中出现尖角、应力集中部位，减少脆性破坏的发生概率。不同抗侧力体系对节点延性的要求存在差异，钢框架体系的节点需具备较高延性，以适应框架结构的塑性耗能需求；钢框架-支撑体系的支撑节点需保证在支撑屈曲前不发生破坏，为结构提供稳定的抗侧力支撑<sup>[3]</sup>。

### (三) 节点失效模式对结构安全的影响

节点失效模式是指节点在荷载作用下的破坏形式，其合理性直接影响装配式钢结构住宅的结构安全。节点的失效模式需与结构的整体受力体系相协调，避免因节点过早失效或失效形式不合理导致结构抗侧力体系崩溃。常见的节点失效模式包括焊缝撕裂、螺栓断裂、节点板屈曲、构件与节点连接处破坏等，不同失效模式对结构安全的影响程度不同。

焊缝撕裂与螺栓断裂属于脆性失效模式，这类失效发生突然，无明显预警，易导致节点瞬间丧失承载能力，引发结构连锁破坏，对结构安全威胁极大；节点板屈曲、构件与节点连接处的塑性破坏属于延性失效模式，这类失效过程中节点会产生一定塑性变形，吸收部分能量，为结构应急处置与人员疏散争取时间，对结构安全的影响相对可控。

## 三、关键节点的构造设计原则与方法

### (一) 梁柱节点的构造设计

梁柱节点作为钢框架体系与钢框架-支撑体系的核心连接节点，其构造设计需遵循刚性连接、传力直接、延性良好的原则。梁柱节点的构造形式需确保梁端弯矩、剪力与柱端内力的有效传递，同时具备足够的刚度与延性。在装配式钢结构住宅中，梁柱节点多采用栓焊连接形式，该形式结合了焊接连接的刚度优势与螺栓连接的装配效率，既保证节点的刚性，又便于现场装配施工。

具体设计中，梁翼缘与柱翼缘采用焊接连接，通过全熔透焊缝确保弯矩传递的可靠性；梁腹板与柱翼缘或柱连接板采用高强度螺栓连接，传递梁端剪力。为增强节点的刚度与抗裂性能，在梁翼缘上下侧设置柱加劲肋，加劲肋的厚度与高度需根据节点受力大小合理确定，避免加劲肋过早屈曲。某装配式钢结构住宅项目中，梁柱

节点采用栓焊连接形式，梁翼缘与柱翼缘焊接采用全熔透坡口焊，梁腹板采用10.9级高强度螺栓连接，柱加劲肋厚度与梁翼缘厚度保持一致，节点经力学性能试验验证，其刚度与延性均满足设计要求，有效保障了结构的抗侧力性能。此外，节点设计需考虑构件的装配工艺性，预留足够的螺栓安装空间与焊接操作空间，确保现场施工顺利进行<sup>[4]</sup>。

## （二）柱脚节点的构造设计

柱脚节点是连接钢柱与基础的关键节点，承担着传递钢柱竖向荷载、水平剪力与弯矩的重要作用，其构造设计需遵循固定可靠、传力明确、抗震性能优良的原则。装配式钢结构住宅的柱脚节点主要分为外露式柱脚、埋入式柱脚与外包式柱脚三类，不同类型柱脚的构造特点与适用场景不同。

外露式柱脚构造简单、施工便捷，通过锚栓将钢柱底板固定在基础顶面，适用于层数较低、荷载较小的住宅项目。设计中需保证底板的刚度与锚栓的承载能力，底板厚度需根据柱脚反力计算确定，锚栓数量与布置需满足水平剪力与弯矩传递要求，同时设置抗剪键增强柱脚的抗剪能力。埋入式柱脚将钢柱埋入基础混凝土中，柱脚与基础结合紧密，抗侧刚度大、抗震性能好，适用于中高层、抗震设防烈度高的住宅项目。构造设计中，钢柱埋入深度需满足锚固要求，柱翼缘设置抗剪栓钉增强钢柱与混凝土的粘结力，基础内部设置钢筋网片提高基础的局部承压能力。外包式柱脚通过混凝土外包钢柱柱脚部分形成组合节点，兼具外露式柱脚的施工便捷性与埋入式柱脚的抗震性能，适用于对柱脚外观有要求的住宅项目。

## （三）支撑体系节点的构造设计

支撑体系节点包括支撑与梁、支撑与柱的连接节点，其构造设计需遵循传力直接、刚度匹配、延性可靠的原则。支撑节点需有效传递支撑构件的轴向力，确保支撑与框架协同工作，同时具备足够的延性，避免在地震作用下发生脆性破坏。支撑与梁、柱的连接多采用螺栓连接或栓焊混合连接形式，螺栓连接便于现场装配与后期维护，栓焊混合连接则能兼顾连接刚度与装配效率。

在交叉支撑节点设计中，支撑与节点板连接要保证支撑轴心受力、避免附加弯矩，节点板尺寸依支撑 axial force 计算确定，确保有足够强度与刚度，防止屈曲或焊缝撕裂。为提升节点延性，可在支撑端部设置耗能段吸收地震能量、保护主体与节点。人字形与V形支撑节点要注意交汇处构造设计，避免相互干扰，设加劲肋增强局

部稳定性。某装配式钢结构住宅钢框架-交叉支撑体系中，支撑节点采用栓焊连接，支撑与节点板用高强度螺栓连接，节点板与梁柱焊接，支撑端部设1.5倍支撑截面高度的耗能段。经荷载试验，节点能有效传递轴向力，地震时耗能段先塑性变形，实现预期延性失效模式，保障结构整体抗侧力性能<sup>[5]</sup>。

## 结语

装配式钢结构住宅的抗侧力性能与节点构造设计直接关系结构安全与使用功能，是装配式钢结构住宅设计的核心内容。抗侧力体系的选型需结合建筑功能布局、抗震设防要求、层数高度等因素，合理选择钢框架体系、钢框架-支撑体系或钢框架-剪力墙体系，实现结构性能与使用功能的协调统一。节点构造设计需围绕刚度匹配、延性保障、失效模式控制三大核心，通过科学的构造措施确保节点传力可靠、性能优良。梁柱节点、柱脚节点、支撑体系节点作为关键节点，其构造设计需遵循相应的设计原则，结合工程实际选择合适的连接形式与构造措施，确保节点性能满足抗侧力体系的整体要求。在工程实践中，需重视抗侧力体系与节点构造的协同设计，通过力学计算与性能试验验证设计方案的合理性，不断优化设计细节。随着建筑工业化技术的持续发展，装配式钢结构住宅的抗侧力性能与节点构造设计将不断创新完善，为我国住宅建设的高质量发展提供坚实的结

## 参考文献

- [1]姜子钦, 杨晓峰, 张爱林, 等.带可更换抗侧耗能装置的装配式钢框架结构静力性能研究[J].北京工业大学学报, 2021.DOI: 10.11936/bjtxb2020110040.
- [2]刘勇, 魏珍中, 刘佳敏, 万佳, 焦晋峰.装配式钢结构配套外挂墙板连接节点受力性能分析[J].山西建筑, 2022, 48(23): 10-14.DOI: 10.13719/j.cnki.1009-6825.2022.23.003.
- [3]岳洪滔, 寇晓娜, 王成虎.一种新型装配式钢结构格构柱的抗侧力性能分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(1): 159-162.
- [4]高海峰.装配式抗侧力钢格构柱抗震性能研究[D].北京建筑大学, 2021.
- [5]赵东拂, 张鹏翔, 李文强.装配式钢筋密网抗侧力墙板抗震性能试验研究及数值分析[J].振动与冲击, 2022(041-001).