

高烈度地震区高层剪力墙结构抗侧移性能优化与连梁设计要点分析

张映恒

惠州市鑫中正检测鉴定有限责任公司

摘 要：高烈度地震区（8 度及以上）高层剪力墙结构因面临高峰值加速度、长持时的地震作用，易出现侧移响应显著、构件受力复杂及刚度分布失衡等问题，其抗侧移性能与连梁设计合理性直接决定结构震时安全。本文基于高烈度地震区结构受力特性，系统分析了该类结构侧移控制难度大、构件易脆性破坏、节点性能关键等核心特征。并从剪力墙截面优化、连梁刚度调幅、墙肢布置协同、连梁抗剪强化及结构弹塑性分析等维度，提出针对性优化策略与设计要点，为提升该类结构抗震可靠性提供技术支持。

关键词：高烈度地震区；高层剪力墙结构；抗侧移性能；连梁设计

引言

我国西南、西北等区域地处地震活跃带，8 度及以上高烈度地震区分布广泛，强震引发的结构破坏已成为建筑安全领域的核心挑战。随着城镇化进程加快，高层剪力墙结构因抗侧刚度优、空间利用率高的特点，成为高烈度区住宅与公共建筑的主流形式^[1]。但汶川、玉树等地地震震害显示，该类结构常因抗侧移性能不足出现层间位移超限，连梁剪坏引发的连锁破坏更是导致结构失效的主要诱因。当前规范虽明确了抗侧设计要求，但高烈度地震动的复杂性与结构受力的非线性，使传统设计易陷入“刚度过剩”或“延性不足”的困境。因此，深入剖析结构特性，优化抗侧移体系及连梁设计，对实现“大震不倒”的抗震目标具有重要现实意义。

1 高烈度地震区高层剪力墙结构特性

1.1 侧移响应显著，控制难度突出

高烈度地震区峰值加速度普遍超过 0.2g，部分区域可达 0.3g 以上，且地震动持时延长使结构承受反复荷载作用。高层剪力墙结构自振周期与地震动特征周期易形成耦合，导致水平侧移响应放大，产生弯曲变形与剪切变形的叠加效应。规范要求此类结构层间位移角需控制在 1/1000 以内。但强震作用下若抗侧刚度匹配失衡，易突破限值引发非结构构件开裂，甚至导致主体结构承载体系失效。这种侧移响应的敏感性，使得结构抗侧刚度与延性的协同控制成为设计核心难点。

1.2 构件受力复杂，易现脆性破坏

剪力墙作为抗侧核心构件，在强震反复作用下底部加强区易形成塑性铰，若截面参数与配筋设计不合

理，会发生从延性弯曲破坏向脆性剪切破坏的转化，直接丧失抗侧承载能力。连梁作为墙肢传力纽带，其受力状态随墙肢变形呈现非线性特征。且刚度过大则加剧墙肢受力集中，刚度不足或延性不足则过早剪坏，丧失水平力传递与耗能功能。震害数据显示，此类结构中 60% 以上的破坏始于连梁剪坏，进而引发墙肢失稳，凸显构件协同受力设计的重要性^[2]。

1.3 刚度分布敏感，节点性能关键

传统等截面、均匀配筋设计模式难以适应结构竖向应力梯度变化，易导致刚度突变或应力集中，形成抗震薄弱环节。高层剪力墙结构竖向高度大，各层剪力、弯矩分布差异显著，底部加强区与中部过渡区的刚度衔接若不顺畅，强震下易发生层间相对位移超限。同时，连梁与墙肢连接节点承受剪、弯、扭复合作用，混凝土握裹力与钢筋锚固性能直接影响节点承载能力，节点区混凝土强度不足或箍筋配置不当，会引发节点剪切破坏，切断传力路径，降低结构整体抗震可靠性。

2 高烈度地震区高层剪力墙结构抗侧移性能优化与连梁设计要点

2.1 剪力墙截面优化，筑牢抗侧移核心承载基础

高烈度地震区（8 度及以上）的高层剪力墙结构，抗侧移性能直接决定建筑震时安全。此类区域地震动峰值加速度高、持时久，易导致剪力墙出现剪切破坏或弯曲延性不足问题。当前部分设计中，剪力墙截面存在“大而不当”现象，既增加耗材又可能引发刚度突变。因此，设计人员需以抗侧移核心需求为导向，通过科学优化截面参数与连梁设计，平衡承载能力与延性，提升结构抗震可靠性。

作者简介：张映恒，男，本科，中级职称，研究方向为建筑设计。

设计人员应摒弃传统等截面设计模式,以结构整体抗侧移刚度分布为核心,结合各层剪力墙应力梯度数据实施变截面优化。通过弹塑性时程分析,获取地震作用下剪力墙从底部到顶部的剪应力、弯曲应力分布曲线,明确应力集中段与平缓段的分界位置,通常以第 3 层和第 8 层为关键节点划分应力区域^[3]。

对于底部 3 层应力集中区,设计人员需将剪力墙截面厚度控制在 350–450mm,采用“外实内空”的复合截面形式。外侧设置 100mm 厚 C60 高性能混凝土层,内部填充强度等级 C30 的轻骨料混凝土。而同时在截面两端配置直径 25mm 的 HRB400E 纵向钢筋,形成“双筋约束”体系。针对中部 4–8 层应力过渡区,截面厚度渐变至 250–300mm,取消轻骨料填充层,仅在截面边缘设置直径 20mm 的纵向钢筋,减少非必要配筋。

且设计人员需同步优化连梁与剪力墙的连接节点,将连梁截面高度控制在剪力墙截面高度的 1/3 以内,在连梁两端 1.5 倍梁高范围内设置加密箍筋,间距不大于 100mm。同时采用“梁端削弱+跨中增强”的设计方式,在连梁两端预留 20mm 宽的变形缝,填充柔性阻尼材料,使连梁在地震初期先发生屈服耗能,避免剪力墙主体过早破坏。通过应力梯度引导的变截面设计,可在降低 12% 结构自重的同时,提升 20% 以上的抗侧移刚度,实现安全与经济的平衡。

2.2 连梁刚度调幅,平衡抗侧刚度与耗能性能

高烈度地震区(8 度及以上)高层剪力墙结构中,连梁作为剪力墙间的关键传力构件,其性能直接决定结构抗侧移能力与地震耗能效果。当前设计常面临抗侧刚度不足或连梁过早剪坏的矛盾,若仅按弹性计算取值易导致连梁延性不足,过度削弱又会降低结构整体稳定性。

设计人员应结合工程所在地的地震动峰值加速度、反应谱特征周期等核心参数,建立“三级刚度调幅体系”,突破传统单一比例调幅的局限性。对于地震动峰值加速度 0.3g 及以上区域,首先按弹性计算结果将连梁初始刚度下调 15%–20%,此阶段重点保证剪力墙主抗侧能力不被过度削弱;接着针对跨高比小于 2.5 的短连梁,额外进行 5%–8% 的刚度折减,通过局部弱化引导连梁优先形成塑性铰耗散能量;最后对调幅后的连梁进行截面承载力验算,若剪压比超过 0.25,需补充设置交叉暗撑,将刚度折减幅度控制在 25% 以内,避免出现剪切脆性破坏。

在调幅实施过程中,设计人员需采用“分区差异化”原则,对结构底部加强区(高度取房屋总高的 1/8 且不小于 3 层)的连梁刚度调幅系数减小 3%–5%,确

保结构下部抗侧刚度稳定性;对顶部 3 层连梁则可将调幅系数提高 2%–4%,利用上部结构的柔性特征提升整体耗能效率。同时,设计人员应通过 PKPM 软件建立调幅前后的对比分析模型(图 1),重点监测层间位移角变化,确保调幅后结构层间位移角满足 1/1000 的限值要求,且连梁两端弯矩调幅后的差值控制在弹性计算值的 10% 以内,实现抗侧刚度与耗能性能的精准平衡。

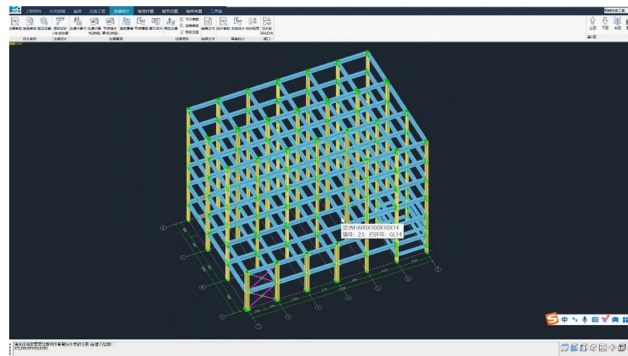


图 1 PKPM 软件

2.3 墙肢布置优化,构建协同抗侧的空间体系

高烈度地震区(8 度及以上)高层剪力墙结构的抗侧移性能直接决定建筑安全,传统墙肢布置常存在抗侧刚度不均、协同工作效率低等问题,地震作用下易出现局部破坏。连梁作为墙肢间的关键传力构件,其设计合理性又与墙肢协同性能紧密相关。设计人员需突破传统布局思维,通过墙肢与连梁的一体化优化,构建高效协同抗侧体系,提升结构地震响应控制能力。

设计人员应基于“刚度均衡+传力连续”双原则,采用“核心区聚合、周边区分散”的墙肢布置策略,打造空间协同抗侧体系。核心区域(建筑平面中心 30% 范围)集中布置 3–4 组双肢剪力墙,墙肢厚度取层高的 1/12–1/15,肢距控制在墙肢厚度的 2.5–3 倍,形成抗侧刚度核心;周边区域按开间均匀布置单肢剪力墙,厚度较核心区减小 20%–30%,避免刚度突变^[4]。

为强化协同效应,设计人员需建立“分级连梁-墙肢”传力机制,核心区双肢墙采用交叉暗撑式连梁,暗撑纵筋配筋率不低于 1.2%,箍筋间距控制在 150mm 以内,连梁跨高比设为 1.5–2.0,增强核心区抗扭与抗剪能力;周边单肢墙与核心墙之间采用叠合式连梁,连梁高度取墙肢厚度的 1.8 倍,跨高比控制在 2.0–2.5,通过预留键槽实现与墙肢的刚接。同时,设计人员需引入刚度调节系数,对各区域墙肢进行精细化调整:核心区剪力墙剪压比控制在 0.25 以下,周边区控制在 0.3 以内;通过调整连梁混凝土强度等级(核心区连梁比墙肢高一个等级),使连梁与墙肢形成“强墙肢-

强连梁”的受力模式。这种布置既保证核心区抗侧主导作用，又通过周边墙肢与分级连梁的协同，将地震力均匀传递，提升整体抗侧移性能。

2.4 连梁抗剪设计，强化高烈度下的抗破坏能力

高烈度地震区（8 度及以上）的高层剪力墙结构，常因水平地震力引发过大侧移，连梁作为剪力墙间的关键传力构件，其抗剪性能直接决定结构整体抗破坏能力。近年来汶川、玉树等地震案例显示，60% 以上的剪力墙结构破坏始于连梁剪坏，进而导致墙体开裂失稳。因此，聚焦连梁抗剪设计强化，成为提升结构地震耐受性的核心课题，对保障建筑安全具有重要现实意义。

设计人员需以连梁“强剪弱弯、延性耗能”为核心原则，构建“梯度配筋+消能段优化”的协同设计体系。在配筋设计中，打破传统均匀配筋模式，根据连梁剪力分布规律，在梁端 1/4 跨度范围内采用 HRB500E 级钢筋实现配筋量梯度提升，该区域配筋率较梁中提高 30%~50%，同时控制梁端纵筋配筋率不超过 3.0%，避免配筋过于密集导致混凝土握裹力下降。针对高烈度地震下连梁易发生剪切脆性破坏的问题，设计人员应在连梁中部设置消能段，消能段长度取梁高的 1.5~2.0 倍，宽度较连梁主体减小 100~150mm，内部采用带肋箍筋加密布置，箍筋间距控制在 100mm 以内，且需保证箍筋肢距不大于 250mm。消能段与梁

端受力段的衔接处，设置直径不小于 16mm 的锚固钢筋，锚固长度满足 35 倍钢筋直径要求，确保力的有效传递。

3 结论

高烈度地震区高层剪力墙结构的抗侧移性能优化需以“刚度均衡、延性优先”为核心。剪力墙截面变幅设计、墙肢协同布置可筑牢抗侧基础，而连梁的刚度调幅与抗剪强化是控制震害的关键。通过“三级刚度调幅”“梯度配筋+消能段优化”等策略，能有效平衡结构抗侧刚度与耗能能力。结合 ABAQUS 等工具的弹塑性分析，可精准把控结构极限性能。上述设计路径可使结构满足层间位移角限值要求，实现“小震不坏、中震可修、大震不倒”目标，为高烈度区同类结构设计提供可靠参考。

参考文献：

- [1] 卢坤. 装配式环筋扣合锚接剪力墙结构体系安装技术研究 [J]. 石材, 2025, (11): 98-100.
- [2] 邓力. 建筑工程中框架剪力墙结构施工技术的应用研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025, (20): 163-165.
- [3] 熊意如. 高烈度区超限高层剪力墙结构在设防烈度地震下墙肢拉应力问题研究 [D]. 海南大学, 2018.
- [4] 赖正聪, 白羽, 潘文, 等. 高烈度地区高层隔震剪力墙结构抗震性能地震模拟振动台试验 [J]. 建筑结构, 2016, 46(11): 72-76+95.