

调整连梁设计减小剪力墙结构中的层间位移

赵云

武汉承远设计咨询集团有限公司 湖北武汉 430000

DOI:10.32629/ems.v8i6.20530

[摘要] 连梁是联肢剪力墙结构的核心受力构件，其受力性能、刚度配比与配筋构造，直接决定结构层间位移控制效果与抗震安全水平。结合武汉地区高层住宅剪力墙结构的工程特性，分析连梁受力机理、刚度与层间位移的耦合关系，梳理设计缺陷引发位移超标的主要成因，明确层间位移规范控制要求与连梁设计约束条件，提出截面优化、配筋改良、刚度精细化调控及结构软件辅助迭代的优化方法。以武汉某高层住宅为工程实例，借助盈建科上部结构计算工具、层间位移分析，开展建模计算与分析，验证优化方案的可行性。实践表明，科学调整连梁设计参数，可有效控制层间位移、提升结构抗震性能，兼顾安全与经济，可为武汉及同条件地区同类工程设计提供参考。

[关键词] 剪力墙结构；连梁设计；层间位移；抗震性能；盈建科；武汉地区

引言

武汉地处长江中下游流域，风荷载效应与地震作用组合特征明显，区域内高层住宅建设密集，且以小户型、高容积率项目为主，剪力墙墙肢布置密集，连梁跨高比普遍偏小，层间位移角作为结构抗侧力性能的核心评价指标，直接关系到结构安全，次要构件完好性与长期使用功能。连梁作为联肢剪力墙中连接各墙肢的关键构件，承担着水平剪力传递、墙肢变形协调与地震能量耗散的核心作用，是抗震设防体系中的第一道防线。在实际工程设计中，连梁截面选型不当、刚度分配失衡、配筋构造粗放等问题，极易引发层间位移超标、底部楼层位移集中、连梁剪切破坏等现象。本文结合武汉地区 6 度抗震设防、II 类场地的工程条件，针对高层住宅剪力墙小跨高比连梁易超筋、刚度调控不合理、层间位移控制难度大等共性技术难题，开展连梁优化设计研究，依托盈建科 YJK-A 建模计算、薄弱层自动识别等功能实现精准计算与多方案迭代，形成一套可直接应用于工程实践的连梁设计调整方法，为同类项目层间位移控制提供可靠的技术支撑。

一、连梁在剪力墙结构中的受力特性及对层间位移的影响

(一) 连梁在剪力墙结构中的核心受力机制

连梁是剪力墙中协调墙肢协同工作的横向关键构件，在风荷载与地震作用等水平荷载作用下，梁两端与墙肢采用刚性连接构造，承受成对反向弯矩与集中剪力作用，通过自身刚度约束墙肢相对转角，避免墙肢呈独立悬臂受力形式^[1]。而连梁的受力形态与破坏模式由跨高比控制：1、跨高比 ≤ 2.5

时，构件呈现深梁受力特征，以剪切受力为主，剪应力分布集中，构件延性较差，在地震作用下易发生剪切斜拉脆性破坏；2、跨高比 $2.5 \sim 5$ 时，构件以弯剪受力为主，梁端可顺利形成塑性铰，具备稳定的塑性变形能力与地震耗能性能；跨高比 >5 时，构件受力性能接近框架梁，以弯曲屈服为主要破坏模式，延性与耗能效果最优。结构设计应严格遵循“强墙弱梁、强剪弱弯”的核心原则，优先在梁端形成塑性铰耗能，延缓剪力墙墙肢底部塑性铰出现，从而控制结构侧移形态与层间位移分布。

(二) 连梁刚度与剪力墙层间位移的关联性分析

连梁刚度与剪力墙结构整体层间位移呈现显著的非线性负相关关系。当连梁刚度偏大时，对墙肢的约束作用显著增强，结构整体抗侧刚度提升，层间位移有所减小，但地震作用会同步增大，易引发连梁超筋、剪压比超限、层间位移局部集中等问题^[2]；当连梁刚度过小，会丧失墙肢协同工作能力，联肢墙变为独立悬臂墙，抗侧刚度骤降，层间位移会急剧增大并突破规范限值。SATWE 有限元模拟验证，将单连梁优化为双连梁构造后，可有效降低整体截面惯性矩，实现刚度合理调控，减小地震剪力效应，提升构件延性性能，使层间位移沿楼层高度均匀分布。

(三) 连梁设计不合理导致层间位移超标的常见问题

在剪力墙结构设计中，连梁设计不合理引发层间位移超标的问题集中表现为三个方面：一是小跨高比连梁截面高度设计过大，构件刚度与剪压比双超限，地震作用下易发生脆

性剪切破坏,丧失对墙肢的约束作用,导致底部楼层层间位移突变超标;二是设计人员为解决连梁超筋问题,盲目过度折减连梁刚度,导致墙肢变形协调能力失效,结构整体抗侧刚度不足,层间位移角突破 1/1000 的规范限值;三是小跨高比连梁仍采用传统纵向配筋构造,未配置对角斜筋、暗撑等抗震构造措施,受剪承载力不足,大震作用下过早失效破坏。

此外,连梁上下截面高度分配不均、中缝尺寸设置不合理,会进一步加剧受力失衡,间接加剧层间位移超标风险(见图1);传统人工试算效率低、多工况覆盖不全面,难以快速识别结构薄弱部位,也是造成设计偏差、位移控制失效的重要原因。

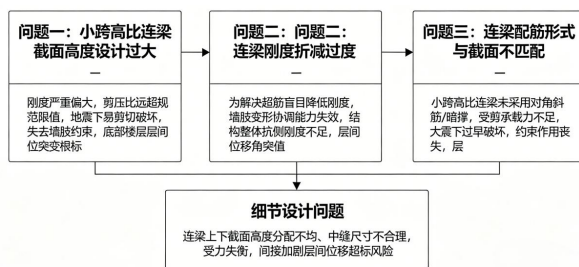


图1 连梁设计不合理导致层间位移超标的常见问题

二、剪力墙结构层间位移的控制标准及连梁设计约束条件

(一) 剪力墙结构层间位移的规范控制要求

根据结构设计规范要求,剪力墙结构在多遇地震及风荷载作用下,楼层层间最大位移与层高之比(层间位移角)限值为 1/1000;建筑高度 $\geq 150\text{m}$ 时,层间位移角限值收紧至 1/500;150~250m 之间的高层建筑,按线性插值确定限值。武汉地区抗震设防烈度为 6 度、7 度,建筑场地类别以 II 类为主,高层住宅项目需同时满足地震作用与风荷载双控制要求。层间位移超标会直接引发填充墙开裂、管道破损、门窗变形等非结构构件破坏,降低结构整体抗震性能,因此必须通过连梁设计精准调控结构刚度与变形形态,确保位移指标满足规范要求。

(二) 连梁设计的承载力与变形约束条件

连梁的设计需同时满足承载力、延性、变形的三重要求。在承载力方面,跨高比 ≤ 2.5 的连梁剪压比不宜大于 0.15,按强剪弱弯原则配置钢筋,防止发生剪切脆性破坏;在延性方面,小跨高比连梁宜采用对角斜筋、交叉斜筋或暗撑配筋构造,提升构件塑性变形与地震耗能能力,保障大震作用下层间位移处于可控范围。在变形方面,武汉地区连梁刚度折

减系数宜控制在 0.5~0.7 之间,兼顾层间位移控制效果与地震作用效应;

(三) 层间位移控制与连梁设计的协同原则

层间位移控制与连梁设计需遵循“刚度匹配、变形协调、耗能优先”的协同原则^[3]。连梁刚度应与剪力墙墙肢刚度相适配,避免局部刚度过强或过弱引发层间位移集中;在满足层间位移限值的前提下,优先强化连梁的耗能能力,使连梁先于墙肢屈服耗能,实现“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震设防目标。设计过程中可借助盈建科软件开展多方案对比分析,确定最优截面尺寸、配筋形式与刚度参数。

三、减小层间位移的连梁设计调整方法与技术路径

(一) 连梁截面尺寸的优化调整策略

截面优化是控制层间位移的基础技术措施。针对武汉地区高层住宅小跨高比连梁易超筋、刚度偏大的突出问题,可将单连梁优化为双连梁构造,保持连梁总高度不变,中间设置不小于 50mm 的中缝,上下梁采用等高对称布置,在降低整体刚度的同时提升构件延性性能。适当加大连梁截面宽度,可有效提升受剪承载力与结构抗侧刚度,优化层间位移控制效果。设计时宜将跨高比控制在 2.8~3.5 区间,兼顾构件受力性能与结构变形需求,结合盈建科 YJK 建模计算模块迭代计算,确定最合理的截面尺寸参数。该构造与本地常规现浇施工工艺匹配度高,无需额外增加施工难度。

(二) 连梁配筋形式的改进与优化设计

改进配筋形式可提升连梁承载力与延性,间接减小层间位移。小跨高比的连梁,可采用集中对角斜筋、交叉斜筋或暗撑配筋构造,斜筋沿主拉应力方向布置,可显著提升构件受剪承载力与延性性能。箍筋加密区长度不小于梁高,间距不大于 100mm,强化塑性铰区域约束作用,延缓层间位移发展速度。双连梁上下梁采用独立配筋设计,保障构件协同变形能力,避免局部应力集中现象。通过配筋构造改良,提升连梁耗能性能,稳定结构整体变形形态。

(三) 连梁刚度的合理调控方法

结合武汉地区抗震设防烈度,采用分级刚度折减策略:7 度区折减系数取 0.5~0.6,6 度区取 0.6~0.7,避免折减过度或不足引发的结构问题。风荷载控制工况可适当提高连梁刚度,增强结构抗侧力能力。地下室顶板、转换层等刚度突变楼层,采用双连梁加强设计,协调上下层刚度分布,消除

层间位移突变现象。采用盈建科 YJK- Push 静力弹塑性模块验证结构大震性能, 确保连梁充分耗能, 层间位移处于可控范围。

(四) 特殊工况下连梁的针对性设计调整

武汉地区风荷载效应显著, 且夏季高温、雨季持续时间长, 结构受力与施工条件特殊, 风荷载敏感区域可适度提高连梁刚度; 大跨度、大荷载部位连梁, 加大截面宽度与配筋量, 提升竖向承载与水平抗侧能力; 管道穿越密集的连接, 利用双连梁中缝布置管线, 避免梁身开洞削弱构件刚度。通过针对性设计, 保障各类工况下层间位移均满足规范要求。

四、连梁设计调整的工程验证与效果分析

(一) 工程实例概况

以某 28 层高层住宅为例, 采用现浇钢筋混凝土剪力墙结构, 建筑高度 84.6m, 标准层层高 2.9m, 抗震设防烈度 7 度, 设计基本地震加速度 0.15g, 场地类别 II 类, 地面粗糙度 B 类, 基本风压 0.45kN/m^2 。原设计连梁截面为 $200\text{mm} \times 750\text{mm}$, 小跨高比连梁占比 60%, 经盈建科 YJK 层间位移分析模块计算, X 向最大层间位移角为 $1/845$, 超出规范 $1/1000$ 限值, 底部 1~5 层位移集中现象明显, 部分连梁存在剪压比超限、配筋超筋等问题, 结构安全性与抗震性能不满足设计要求。

(二) 连梁优化设计方案

依托盈建科 YJK- A 上部结构模块建立完整结构模型, 完成多工况荷载计算、位移包络与结构薄弱部位识别, 实施针对性优化设计: 将位移超标区域单连梁改为 $200\text{mm} \times 350\text{mm} + 100\text{mm}$ 中缝 + $200\text{mm} \times 350\text{mm}$ 双连梁构造, 跨高比由 2.2 优化至 3.2; 小跨高比连梁采用对角斜筋配筋, 箍筋沿梁全长加密布置; 连梁刚度折减系数取 0.60, 风敏感部位调整为 0.65; 通过 YJK- Push 弹塑性分析与配筋校核模块验算, 确保连梁先于墙肢形成塑性铰, 结构受力体系安全可靠。

(三) 设计调整后层间位移的实测数据对比

优化后结构层间位移控制效果显著改善, X 向最大层间位移角降至 $1/985$, Y 向降至 $1/1030$, 均满足规范限值要求。层间位移沿楼层高度均匀分布, 底部楼层位移集中现象完全消除, 最大位移出现在 10~13 层, 分布形态合理。与原设计相比, X 向层间位移减小 15.1%, Y 向减小 16.8%, 连梁未出

现超筋、开裂现象, 结构整体变形协调能力显著提升。风荷载作用下, 顶层最大侧移 18mm, 远小于规范限值, 验证了连梁设计调整对减小层间位移的有效性。

(四) 连梁设计优化的经济性与实用性分析

本次连梁优化设计后, 结构钢筋用量增加 3.6%, 混凝土用量增加 1.8%, 造价增幅不足 5%, 却避免了层间位移超标引发的结构加固、非结构构件维修等额外成本, 综合造价降低 8%。双连梁中缝满足武汉地区住宅水电、暖通管线穿越需求, 无需梁身开洞, 施工工艺简化, 常规现浇混凝土施工即可实现, 无需特殊设备与技术, 适配武汉民建项目施工水平。优化后连梁延性提升, 抗震性能增强, 后期维护成本降低, 兼具安全、经济与实用, 适配武汉地区民用建筑施工水平, 经济性与实用性突出。

结语

本文以武汉地区高层住宅剪力墙结构为研究对象, 系统剖析连梁受力特性与层间位移的内在关联, 明确规范控制要求与设计约束条件, 提出截面优化、配筋改良、刚度精细化调控及软件辅助设计的成套技术方法。工程实例验证表明, 单连梁改双连梁、对角斜筋配筋、分级刚度折减等优化措施, 可有效控制层间位移, 提升结构抗震性能, 且造价可控、施工便捷。研究过程中采用盈建科 YJK- A 建模计算、层间位移分析、配筋校核及 Push 弹塑性分析模块, 实现设计方案快速迭代与精准验算, 成果贴合武汉地区工程地质与抗震设防条件, 设计路径清晰、操作性强, 可为同类高层住宅剪力墙结构设计提供可靠参考。后续可结合更多工程实践数据, 进一步优化连梁设计参数, 同时探索装配式剪力墙结构连梁的优化设计方法, 推动高层剪力墙结构设计向精细化、科学化、高效化方向发展。

[参考文献]

- [1] 宋国香. 剪力墙在建筑结构中的应用[J]. 建材发展导向, 2025, 23(13): 22-24.
- [2] 蒋兴兵. 连梁刚度折减系数对剪力墙结构的影响[J]. 工程建设与设计, 2025, (12): 10-12.
- [3] 黄健, 潘文. 连梁处黏弹性阻尼器刚度关系研究[J]. 安徽建筑, 2025, 32(06): 85-88.