

浅论民用住宅剪力墙结构设计的优化策略

郑 玫

九易庄宸科技(集团)股份有限公司 河北 石家庄 050000

摘要: 剪力墙作为住宅结构的主要承重与抗侧力构件,其设计优劣直接影响建筑的安全性、经济性和居住舒适度。本文分析了剪力墙的基本原理、特点及其在民用住宅中的应用现状,指出传统设计方法的不足,如忽视成本控制与性能优化、材料消耗大等问题。在此基础上,提出了平面布置、计算参数、层间位移角、抗震性能以及转换层与连梁设计等方面的优化策略,旨在提高剪力墙结构的设计效率与质量,促进住宅建设的可持续发展。

关键词: 民用住宅;剪力墙结构设计;优化策略

引言:随着城市化进程的加速,民用住宅建设规模不断扩大,对结构设计的要求也日益提高。剪力墙结构因其良好的抗震性能和空间利用率,在民用住宅中得到了广泛应用。然而,传统剪力墙结构设计中存在的问题,如材料消耗大、成本高等,已成为制约其进一步发展的瓶颈。因此,探索剪力墙结构设计的优化策略,提高设计效率与质量,降低建设成本,具有重要的现实意义。本文将从多个角度出发,对民用住宅剪力墙结构设计的优化策略进行深入探讨,以期对相关实践提供有益的参考。

1 剪力墙结构基本原理与特点

1.1 剪力墙结构定义与功能

(1) 剪力墙的定义与分类。剪力墙是建筑中主要承受水平力的竖向承重构件,由钢筋混凝土浇筑而成,形似“墙体”却兼具承重与抗侧移功能。按受力特性可分为承重墙剪力墙与非承重墙剪力墙,前者同时承担竖向荷载与水平荷载,后者仅抵抗水平力;按布置方式又可分为单片剪力墙、连肢剪力墙和整体墙,不同类型适配不同建筑布局需求。(2) 承担竖向与水平荷载的能力。在竖向荷载作用下,剪力墙可传递建筑自重及楼面荷载至基础,承载力强且变形小;面对地震、风力等水平荷载时,其平面内刚度大,能有效吸收水平力产生的剪力与弯矩,减少结构侧向位移,避免建筑因水平力过大发生倾覆或破坏。(3) 提高结构整体性与抗扭性能。剪力墙通过与框架、楼板等构件刚性连接,形成空间受力体系,增强建筑整体刚度,减少各构件间的相对变形;同时,合理布置的剪力墙可平衡结构质量分布,降低建筑在水平荷载下的扭转效应,提升结构抗扭稳定性。

1.2 剪力墙结构的优势与局限

(1) 稳定性强、抗震效果好。相较于框架结构,剪力墙抗侧移刚度显著更高,在强震或强风环境下,结构

侧向变形可控,能有效保护建筑主体,尤其适用于高层建筑和地震高发区域,是抗震等级要求较高建筑的优选结构形式。(2) 对空间利用的优化。剪力墙厚度较小且可与建筑分隔墙结合设计,减少结构构件对室内空间的占用;同时,其平整的墙面便于室内装修与布局规划,能提升空间利用率,适合住宅、酒店等对空间完整性要求较高的建筑。(3) 设计与施工中的潜在问题。设计上,剪力墙布置需精准计算,若布局不合理易导致刚度分布不均,引发局部应力集中;施工中,剪力墙钢筋密集、浇筑难度大,易出现蜂窝、麻面等质量问题,且后期改造难度高,难以调整墙体位置以适应空间功能变更^[1]。

2 民用住宅剪力墙结构设计的现状分析

2.1 传统设计方法的不足

2.1.1 侧重安全性与功能性,忽视成本控制与性能优化

传统设计以满足规范安全指标(如抗震承载力、结构稳定性)和基础功能(空间分隔、竖向承重)为核心,缺乏对成本与性能的综合考量。设计中多采用简化线性分析模型,为规避安全风险常选取保守参数,如过度增大剪力墙截面尺寸、提高钢筋配筋率。例如,部分项目为满足抗震要求,未结合户型功能动态调整墙体布置,盲目增加剪力墙数量,导致建材用量冗余,不仅推高施工成本,还未充分发挥结构构件的力学性能,造成设计方案在经济性与性能均衡上的缺失。

2.1.2 材料消耗大,资源浪费现象普遍

受保守设计思路影响,材料使用存在明显浪费。一方面,未根据不同楼层、不同受力部位的荷载差异优化材料参数,如全楼统一采用高等级混凝土(C35及以上)和钢筋(HRB400),导致低应力区域材料性能闲置;另一方面,设计未兼顾施工便利性,如剪力墙钢筋排布过密,易引发混凝土浇筑不密实问题,需返工修补,额外消耗水泥、砂石等资源,与建筑行业绿色低碳发展理念

相悖。

2.2 国内外优化设计研究动态

2.2.1 国外基于可靠度与非线性行为的优化设计方法

国外研究聚焦可靠度理论与非线性分析的融合应用。通过建立概率性可靠度模型，将地震荷载、材料强度等不确定性因素量化，替代传统安全系数法，实现安全与经济的精准平衡。同时，借助有限元软件模拟剪力墙在强震下的非线性损伤过程（如开裂、屈服），优化墙体布置与构件细节。例如，欧洲学者提出的“基于风险的设计方法”，可根据住宅抗震风险等级动态调整剪力墙刚度分布，在保证安全的前提下减少材料用量，相关技术已在部分中高层住宅项目落地。

2.2.2 国内基于性能与土-结构相互作用的优化设计进展

国内研究围绕性能化设计与土-结构相互作用（SSI）展开。在性能化设计方面，结合本地震动特性，建立“小震不坏、中震可修、大震不倒”的分级性能体系，通过参数化软件优化剪力墙截面与配筋，实现性能与成本协同。在SSI研究中，突破刚性基础假设，建立地基-剪力墙耦合分析模型，精准计算地基沉降对墙体内力的影响，避免局部应力集中。目前，这些优化方法已在国内多省市保障性住房项目试点，有效降低建材消耗10%-15%，推动设计向精细化转型。

3 民用住宅剪力墙结构设计的优化策略

3.1 平面布置优化

（1）墙肢对齐布置与均匀分布原则。剪力墙平面布置需遵循“上下对齐、左右贯通”原则，确保各楼层墙肢在竖向投影上保持一致，避免出现错位墙体导致的力流传递中断。同时，墙肢应在建筑平面内均匀分布，使结构刚度中心与质量中心尽可能重合，减少水平荷载下的扭转效应。例如，在矩形住宅平面中，可沿纵横轴线对称布置剪力墙，间距控制在6-8米范围内，既保证抗侧移刚度均匀，又为室内空间划分提供灵活性。（2）避免使用短肢剪力墙或长墙，优化墙肢刚度。短肢剪力墙（墙肢截面高度与厚度比为4-8）抗剪性能较弱，易在地震中发生脆性破坏，设计中应尽量避免，若必须采用需通过提高混凝土强度等级（不低于C30）、加密箍筋等方式加强。同时，剪力墙长度不宜大于8m，过长墙肢易产生较大温度应力与收缩裂缝，可通过设置结构洞口将其划分为多个独立墙肢，每个墙肢长度控制在4-6米，使墙肢刚度更均匀，受力更合理^[2]。（3）优先采用带翼缘墙（L形、T形）以提升稳定性。带翼缘墙（L形、T形）通过翼缘部分增加墙肢截面惯性矩，显著提升抗侧

移刚度与抗扭性能，相比矩形墙肢更具优势。设计中，在住宅厨房、卫生间等墙体交接部位，优先采用L形或T形剪力墙，翼缘长度不应小于墙肢厚度3倍，且不应小于200mm，翼缘厚度与墙肢厚度保持一致，既不额外占用过多空间，又能增强墙体整体稳定性，尤其适用于抗震设防烈度较高的地区。

3.2 计算参数敏感性分析与优化

（1）周期折减系数、连梁刚度折减系数等关键参数的调整。周期折减系数是结构抗震计算的关键参数，它将填充墙等非结构构件的附加刚度折算为对基本周期的缩短效应。现行规范对框架、框剪、剪力墙等体系分别给出0.6-1.0的取值范围，其大小直接影响地震作用、内力分配及经济指标。应在规范框架下，结合填充墙材料、连接方式及现场实测结果，对周期折减系数进行精细化选取，并通过多方案比选实现安全与经济的平衡。（2）连梁刚度折减系数的调整。地震内力计算时，连梁刚度可折减，折减系数不宜小于0.5；位移计算与风荷载组合仍取1.0。连梁折减系数的合理取值应在“连梁不超筋、墙肢不过载、位移不过限”三红线内，实现安全与经济双赢。

3.3 层间位移角与材料用量优化

（1）不同层间位移角限值下的材料用量比较。层间位移角是剪力墙结构“刚度-安全-经济”三重目标的交汇点。其取值大小直接决定了剪力墙布置、墙厚、配筋率乃至混凝土强度等级的选择，进而对混凝土和钢筋用量产生显著影响。层间位移角越小，刚度需求越高，则混凝土、钢筋用量增加；层间位移角越大，节省材料，但可能超限、影响非结构构件及舒适度。对于高度不大于150米的住宅，剪力墙结构在多遇地震下层间位移角限值为1/1000。若层间位移角减小至1/1200，层间位移角减小了20%，意味着刚度需增加约20%，剪力墙截面尺寸会增大，钢筋和混凝土用量会相应增加。（2）结构刚度与材料用量的平衡策略。采用“梯度刚度设计法”平衡结构刚度与材料用量，即相邻楼层侧向刚度比 $K_i/K_{i+1} \geq 0.75$ （剪力墙结构），每层递减幅度通过“墙长优先、厚度微调”实现。底部加强区（底部两层及地下室顶板以上一层）保持最大墙厚，向上每4~6层递减一次，确保刚度过渡连续。底部加强区部位采用高标号的混凝土，可控制轴压比，减少约束边缘构件的数量。钢筋可采用HRB500，其设计强度按 $f_y = 400\text{MPa}$ （已考虑0.85折减）计算，预期钢材节省8%~12%^[3]。

3.4 抗震性能优化

（1）双向或多向布置原则以提升抗震能力。剪力墙

需沿建筑纵横双向或多向布置,形成空间抗侧力体系,避免单向布置导致的抗震薄弱方向。在纵横方向,剪力墙刚度比控制在1.5-2.0范围内,若纵向刚度较弱,可在纵向增加短肢剪力墙或设置扶壁柱;在不规则平面(如L形、T形)中,需在平面转折处布置剪力墙,增强角部抗震能力,确保地震作用下结构各方向受力均匀。(2)减轻墙体结构自重,加大空间面积。通过采用轻质材料与优化墙体布置减轻自重,例如,内墙采用蒸压加气混凝土砌块(密度 $\leq 700\text{kg/m}^3$)替代传统黏土砖,外墙采用保温一体化墙板(兼顾保温与承重功能),可使墙体自重减少20%-30%。同时,减少非必要剪力墙数量,将剪力墙与分户墙、厨房卫生间隔墙结合设计,避免独立设置承重剪力墙,最大程度释放室内空间,使户型空间利用率提升5%-8%。(3)控制剪力墙的平面外弯矩,增强整体稳定性。剪力墙平面外刚度较弱,需通过设置梁、柱或翼缘墙控制平面外弯矩。当剪力墙两侧存在楼板时,利用楼板作为侧向支撑,减少平面外受力;当剪力墙端部无楼板约束时,设置扶壁柱(截面尺寸不小于墙厚 $\times 300\text{mm}$),柱内配置纵向钢筋与箍筋,承担平面外弯矩。此外,避免在剪力墙平面外设置较大荷载的梁,若必须设置,需通过计算确定梁端剪力与弯矩,确保剪力墙平面外承载力满足要求^[4]。

3.5 转换层与连梁设计优化

(1)高层建筑中转换层结构设计的完整性。对于带转换层的高层建筑(如底部商业、上部住宅),转换层结构需保证完整性,避免出现刚度突变。转换层楼板厚度不小于180mm,采用双层双向配筋(配筋率不低于0.25%),确保楼板能有效传递水平力。转换梁截面高度取跨度的1/6-1/8,混凝土强度等级与框支柱同标号,不应低于C40,纵筋采用贯通配筋,避免接头位于梁端塑性铰区域。同时,转换层上下各两层剪力墙刚度需连续过渡,相邻层刚度比 $K_i/K_{i+1} \geq 0.75$,通过墙肢长度、厚

度、混凝土等级综合调节,确保力流平稳传递。(2)连梁超筋问题的解决策略,如减小截面高度、调整塑形处理等。连梁超筋(受弯或受剪承载力不足)时,优先采用“减小截面高度”的方法,将连梁高度从跨度的1/4降至1/5-1/6,同时增加连梁宽度(不超过墙肢厚度),避免因高度过大导致配筋过量。若截面调整后仍超筋,采用“塑形调幅处理”,对连梁弯矩进行调幅(调幅系数取0.7-0.8),降低梁端弯矩设计值,同时保证跨中弯矩不小于调幅前的50%。此外,可在连梁中部设置开洞,形成“双连梁”或“多连梁”,通过洞口削弱连梁刚度,减少配筋量,洞口尺寸需满足规范要求(洞口高度不超过连梁高度的1/3,宽度不超过连梁跨度的1/3),并在洞口周边配置加强钢筋。

结束语

综上所述,民用住宅剪力墙结构设计的优化策略是一个系统工程,需要从平面布置、计算参数、层间位移角控制、抗震性能提升以及转换层与连梁设计等多个方面综合考虑。通过实施这些优化策略,不仅可以提高结构的安全性和稳定性,还能有效降低材料消耗和建设成本,提升住宅的居住舒适度和市场竞争力。未来,随着建筑科技的进步和设计理念的更新,剪力墙结构设计的优化策略将不断完善和创新,为民用住宅建设提供更加高效、经济、环保的解决方案。

参考文献

- [1]解彪.住宅建筑剪力墙结构优化设计及抗震性能研究[J].江西建材,2024,(05):60-61.
- [2]项鑫,鲜军.剪力墙结构在建筑设计中的应用分析[J].中国建筑装饰装修,2025,(11):131-132.
- [3]陈微,陈云燕.剪力墙结构设计在建筑设计中的应用[J].中国住宅设施,2024,(11):94-96.
- [4]陈雪.建筑设计中剪力墙结构设计难点分析[J].新疆有色金属,2024,(10):101-102.