高层住宅剪力墙结构优化设计研究

李文超

锐铭工程设计集团有限公司湛江分公司 广东 湛江 524000

【摘　要】：以地上 26 层，地下 2 层的高层剪力墙住宅工程为研究载体，依托现行高层建筑与抗震设计规范，结合 PKPM 计算软件开展结构优化研究。通过建立多组模型，分析墙体布局、刚度分配、构件截面对结构扭转、位移、剪重比等核心指标的影响，明确低效刚度的判别标准。从整体、楼层、构件多尺度完成方案验算，形成布局优化、参数迭代、构造细化的闭环优化体系。实践表明，协同优化可改善结构受力性能，有效降低工程用材成本。

【关键词】：高层住宅；剪力墙结构；刚度协同；优化设计

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.027

引言

剪力墙结构凭借整体性好、抗侧刚度高的优势，广泛应用于高层住宅建筑工程中。随着高层建筑高度增加与抗震设计标准提升，传统通过加厚墙体的设计方式，易产生结构刚度不均、材料浪费等问题。基于高层住宅结构设计的核心痛点，依托有限元计算分析技术，结合工程实际开展剪力墙结构系统化优化研究，通过多方案对比迭代优化结构布局与构件参数，完善结构受力体系，为同类高层住宅剪力墙结构的精细化、经济化设计提供工程参考。

1 工程概况

本工程案例为某小区高层住宅建筑，地上 26 层，地下 2 层，建筑总高度约 79.5m；首层建筑层高 4.5m，二层及以上标准层层高均为 3.0m；主体采用钢筋混凝土剪力墙结构体系。项目抗震设防烈度为 7 度，设计基本地震加速度 0.15g，场地类别为 II 类，设计地震分组为第一组；修正后基本风压取值为 0.50 kN/m² 。结构平面布置较为规则，无显著不规则项。计算分析采用 PKPM 系列软件建立三维空间有限元模型。

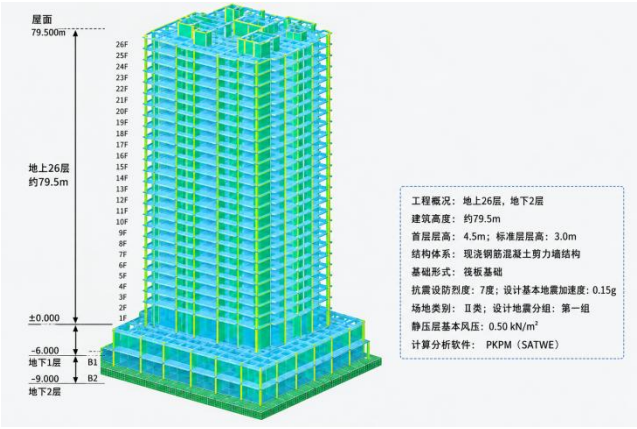

图 1 高层住宅结构计算模型示意图

2 剪力墙受力性能分析与优化方法

2.1 剪力墙受力模型与理论分析

剪力墙优化重在分配抗侧刚度，平面位置影响扭转，竖向连续程度影响刚度突变，连梁控制墙肢协同。高层住宅在水平作用下可近似理解为由多片竖向悬臂墙组成的空间抗侧体系。楼板面内刚度把各墙片联系起来，外围墙的力臂较大，对扭转控制更敏感；核心筒墙体连续，承担较稳定的剪力和弯矩。高烈度区除需满足多遇地震下的弹性位移角限值外，还应重点控制墙肢轴压比并设置约束边缘构件；罕遇地震下应通过弹塑性动力时程分析，确保“强墙肢弱连梁”的屈服机制有效实现[1]。评价墙体布置时，应同时观察质心与刚心关系、第一扭转振型参与程度、楼层位移分布。某一方向增设墙体虽能降低该方向位移，却可能放大正交方向刚度差，并使相邻连梁内力突增。楼层位移比η可反映平面扭转不均匀程度。同一楼层平面扭转响应的位移比按式（1）计算。

$$\eta = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} \quad （1）$$

式（1）中：η为楼层位移比；Δmax 为在考虑偶然偏心影响的规定水平地震力作用下，该楼层竖向构件最大的弹性水平位移（或层间位移）；Δavg 为该楼层竖向构件弹性水平位移（或层间位移）的平均值。式（1）中η增大说明同层边缘响应差异扩大，优化时应优先检查偏置墙体、外围墙间距和核心筒开洞，而非直接统一加厚墙体。该指标只用于相同计算口径下的方案比较，还需与周期比和层间位移角联合判读。

2.2 结构计算分析与参数优化

参数优化采用 PKPM-AID 等智能优化模块进行参数敏感性分析与自动迭代寻优。为量化不同设计变量对结构整体性能的影响，共建立六组对比模型：基准方案、局部调整方案、协同调整方案、外围墙调整

方案、竖向渐变方案和核心筒调整方案。其中，局部调整方案并不改变结构宏观布局，而是聚焦计算模型精细度的影响，分别采用梁元-墙元简化模型与墙元细分及楼板面内变形耦合的壳元精细模型，用以量化不同建模假定对内力分配及位移指标的影响；协同调整方案则综合调整核心筒开洞、外围墙位置和竖向厚度过渡。

各模型保持质量、荷载、材料和边界条件一致。局部构件变形及内力控制必须同时追踪墙体布置、刚度突变与构造连续性，只有计算模型与工程实施位置一一对应，调整结果才具有可复核性[2]。若墙体面积增加而位移改善有限，则判为低效刚度；参数迭代还需检查加强区与标准层的传力衔接。三类情景方案的统一口径比较见表 1。

表 1 剪力墙结构方案情景对比

方案	相对墙面积	相对总质量	周期比(Tt/T1)	底部剪重比	层刚度比(本层/上层)	最大位移比	最大层间位移角	相对用钢量
基准方案	1.00	1.00	0.87	3.0%	1.20(突变)	1.31	1/1050	1.00
局部调整方案	0.98	0.99	0.87	3.1%	1.10	1.24	1/1090	0.97
协同调整方案	0.95	0.96	0.82	3.2%	0.95	1.17	1/1200	0.94
外围墙调整方案	0.97	0.98	0.86	3.1%	1.05	1.21	1/1120	0.96
竖向渐变方案	0.96	0.97	0.86	3.2%	0.98	1.19	1/1150	0.95
核心筒调整方案	0.99	0.99	0.89	3.0%	1.15	1.26	1/1070	0.98

2.3 构件配置与结构形态改进

构件配置应让关键位置提供有效刚度。核心筒墙体应保持平面闭合与竖向连续，以形成稳定的抗侧核心；外围墙宜沿建筑周边对齐布置、均匀对称分布，并优先采用带翼缘或端柱的墙肢以增大抗扭力臂，同时避免短肢墙（肢高厚比小于 8）及过长的墙肢，前者延性差且受力复杂，后者易因剪切滞后降低效率，均需经专项分析验证其实际贡献。高层住宅框架剪力墙方案应把建筑空间、整体刚度和关键构件受力放在同一轮比选中，避免局部截面优化削弱体系协同[3]。竖向墙厚变化宜采用分段渐变方式，每段变化处设置过渡层，并配合边缘构件和连梁协调内力传递；洞口尺寸及连梁高度在标准层内保持统一，不宜逐层变动，以避免刚度突变和施工复杂化。剪力墙设计细化还需把墙段、洞口、连梁与施工顺序对应，构造无法连续实施时，计算中的刚度和延性假定也会失去可靠落点[4]。构造落地后还应复核相邻墙肢内力。剪力墙结构优化的迭代关系见图 1。

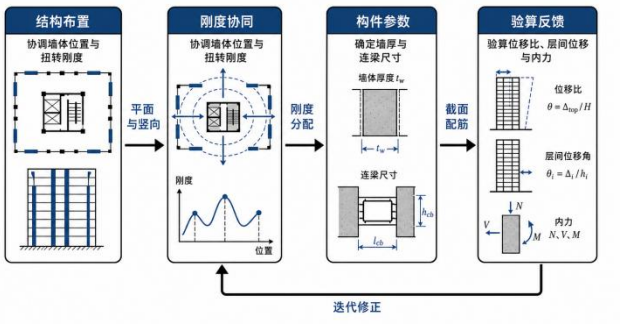

图 2 剪力墙结构优化闭环

3 优化设计验算与应用效果

3.1 分析模型与验算方法

优化方案按统一模型复核整体指标、局部构件(如相邻墙肢内力突变、薄弱层转移或连梁超筋），未达到预期时恢复基准状态再测试。分析模型按建筑轴网建立墙肢、连梁、楼板和基础约束，重点复核构件截面与配筋、连接构造及刚度折减口径。计算前以总质量、质心位置和各层侧向刚度检查模型完整性；计算后先观察振型，再核对位移比、层间位移角和剪重分布。关键墙肢提取轴力、剪力、弯矩，连梁检查剪切变形。方案之间只改变已登记的优化变量，所有结果保存同一楼层、同一方向和同一组合的对比截面。对数值突变点返回模型检查，排除节点重复、构件断开后再作工程判断。

3.2 剪力墙结构性能对比分析

性能对比采用整体、楼层和构件三个尺度。整体尺度看周期与扭转参与，楼层尺度看位移曲线和刚度突变，构件尺度看墙肢内力、连梁损伤位置。情景结果中，协同调整方案的墙体面积和相对用钢量同步下降，最大位移比与层间位移角反而改善，表明有效刚度来自位置和协同关系，而非材料数量。若某方案整体位移较小但外围墙经济性差或连梁剪力过大，则表明优化可能将荷载转移至少数构件，使局部造价明显上升且安全裕度降低，应判为局部代价过高。

3.3 工程应用与效益评估

工程应用从方案、施工图和现场交底三个层级落实。方案阶段在初算结构指标的基础上确定核心筒与

外围墙位置，施工图阶段细化墙厚渐变、边缘构件和连梁配筋，交底阶段核查洞口与钢筋可施工性。效益评价包括混凝土、钢筋、模板、复杂节点、机电冲突和设计返工。墙段减少若伴随配筋骤增，其收益需要重算。优化记录保留模型版本、变量清单、指标对比和采用理由，便于建筑调整后快速复算，并识别不得随意变更的关键抗侧构件。

4 结语

本文依托高层住宅工程实例，开展剪力墙结构优化设计研究，通过多方案建模对比分析，明确了刚度协同调控、低效刚度剔除、构件精细化配置的优化路径，有效解决了传统设计刚度不均、材料浪费等问题，在保障结构抗震安全、优化受力性能的同时，降低了工程建造成本。本次研究形成的闭环优化体系具备较强工程实用性。未来可结合智能化算法，深化复杂工况下的结构优化研究，推动高层剪力墙结构设计向数字化、精细化方向升级，为同类型高层住宅结构优化提供更多技术参考。

参考文献：

[1] 刘一莹.某高烈度区超高层住宅剪力墙结构的优化设计[J].工程建设与设计,2026,(11):11-16.

[2] 李昊宇.高层住宅建筑剪力墙结构局部挠度优化设计研究[J].居舍,2026,(13):108-111.

[3] 张潇.高层住宅钢筋混凝土框架剪力墙结构设计与优化——以锂电公馆项目为例[J].中国水泥,2025,(11):90-92.

[4] 仇玉龙.剪力墙结构在高层住宅建筑中的优化设计与施工技术[J].城市开发,2025,(15):132-134.