

建筑结构剪力墙布置对整体刚度的影响

王 宇

天津市房屋鉴定建筑设计院有限公司 天津 300074

【摘 要】：高层建筑平面和竖向布置复杂时，剪力墙位置、数量、连续性和洞口条件会共同改变侧向刚度、扭转刚度与层间位移分布。本文分析建筑结构抗侧体系和剪力墙布置参数，建立墙肢位置数量、刚度指标和计算流程，比较墙肢数量、平面位置、竖向连续性、洞口削弱、刚心偏移对整体刚度响应的影响，并讨论集中布墙、分散布墙与结构响应之间的工程关系。均衡布置能够缩短质量中心与刚度中心距离，连续墙肢能够保持层刚度曲线平顺，局部偏心或中断则会放大扭转和薄弱层位移。

【关键词】：建筑结构；剪力墙布置；整体刚度；侧向刚度；扭转刚度

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.092

引言

剪力墙是高层建筑抵抗地震作用和风荷载的重要抗侧构件，剪力墙布置效果不仅取决于墙肢总量，还取决于墙肢在平面和竖向中的位置关系。建筑平面不规则、核心筒偏置、转换层设置和洞口集中时，剪力墙会改变刚度中心、楼层剪力分配和层间位移曲线，局部墙肢增加未必转化为整体刚度改善。分析剪力墙布置对整体刚度的影响，应把侧向刚度、扭转刚度、竖向连续性和洞口削弱放在同一结构体系中比较，从而识别有效补刚、刚度堆积和薄弱层放大的差异。

1 剪力墙布置参数和计算方法

1.1 建筑结构抗侧体系概况

建筑结构的整体刚度由框架柱、剪力墙、核心筒、楼板和连梁共同形成，剪力墙承担主要水平作用，楼板负责把惯性力传递到抗侧构件。高层住宅或公共建筑平面存在凹凸、开洞、长短向尺度差异时，墙肢位置会改变楼层刚度中心，侧向位移不再只沿荷载方向发展，而会叠加平面转角。抗侧体系分析应先确认楼层质量分布、竖向构件连续性和楼板开洞范围，再判断剪力墙是否沿两个主轴形成有效约束^[1]。墙肢布置均衡时，楼层剪力能在核心筒、边墙和框架柱之间形成清晰分担；墙肢过度集中时，整体刚度表面增大，边部角点仍可能出现位移放大。底部加强区、标准层和屋面层的墙肢连接方式不同，整体刚度评价会受局部边界条件影响。

1.2 墙肢位置数量方案设定

墙肢位置数量方案以同一建筑平面、相同层数和相同材料强度为基本口径，把剪力墙总长度、外周墙肢长度、核心筒闭合程度和短向补墙位置作为比较变量。基准方案保留核心筒内墙肢，外周只设置满足建筑功能的少量短墙；均衡方案在长向边跨和短向端部补入连续墙段，使墙肢相对质量中心形成较大的抗扭力臂；偏心方案把新增墙肢集中在设备用房或交通核一

侧，用于观察刚心偏移后的扭转放大^[2]。工况设定不把墙厚随意放大作为主要手段，而是让墙肢数量和位置承担刚度改变，便于区分增加墙量和优化布置对整体刚度的不同作用。剪力墙平面布置与刚心偏移的关系见图1。

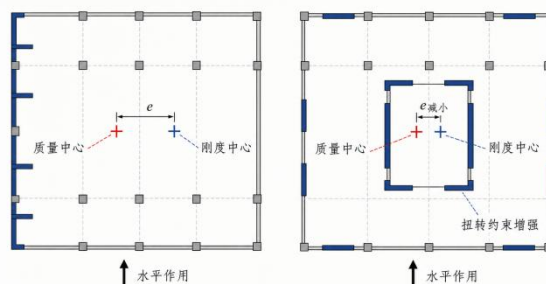


图1 剪力墙平面布置与刚心偏移关系

图1显示，偏心墙肢布置使刚度中心远离质量中心，水平作用下楼层更容易产生平动和扭转叠加；均衡墙肢布置依靠核心筒和外周墙肢共同约束，偏心距 e 减小，扭转约束增强。

1.3 层间位移刚度指标选取

层间位移是剪力墙布置影响整体刚度的直接响应指标，能够反映每层抗侧构件与楼盖协同后的变形结果。指标选取应包含侧向刚度值、扭转刚度值、最大层间位移、角点位移差和基本周期，避免只用单一刚度值判断布置优劣。侧向刚度值适合评价同一水平作用下顶点位移的收敛程度，扭转刚度值适合评价刚心偏移后的平面转角控制能力，角点位移差能够揭示平动指标掩盖的局部不均衡。基本周期则用于校核刚度增强是否合理，若周期明显缩短而层间位移仍在局部楼层集中，说明墙肢布置没有消除薄弱层或扭转耦合。

1.4 刚度响应计算流程

刚度响应计算流程先建立统一的结构模型，再在同一荷载组合、材料模量、楼板假定和连梁折减条件下替换墙肢布置。

计算前核对墙柱轴力、楼层剪力和质量分布，保证不同方案只有剪力墙布置变量发生变化；计算中按楼层输出位移、剪力分担、刚心坐标和墙肢内力，避免把局部构件刚度变化误当作整体刚度改善；计算后再比较位移曲线斜率和扭转位移比。若某一楼层刚度突降而墙肢内力没有同步变化，应优先检查楼板开洞、转换构件和模型网格，而不是直接归因于墙肢数量不足。同一流程还应保持墙肢单元划分、连梁端部释放和楼板刚性假定一致，使不同方案的位移差异来自布置本身，而不是建模口径漂移。

2 剪力墙布置刚度结果与响应分析

2.1 墙肢数量对侧向刚度及层间位移的影响

墙肢数量增加通常会提高侧向刚度，但该效果受墙肢所在位置和方向制约。核心筒单独布置时，墙肢总长度为 52m，侧向刚度系数为 2860kN/m，最大层间位移为 15.60mm；核心筒加外周墙肢时，墙肢总长度提高到 86.40m，侧向刚度系数达到 4520kN/m，最大层间位移降至 8.60mm^[3]。两组响应说明，墙量增加只有与外周有效力臂结合，才能把局部抗侧能力转化为楼层整体刚度。偏心分散墙肢虽然保留 58.20m 墙肢总长度，但侧向刚度系数只有 3150kN/m，最大层间位移仍为 14.80mm，表明墙肢数量不足以单独解释刚度改善。六种剪力墙布置工况的整体刚度响应列于表 1。

表 1 剪力墙布置工况下整体刚度响应

墙肢布置工况	墙肢总长度（m）	核心筒闭合长度（m）	外周墙肢长度（m）	侧向刚度系数	扭转刚度系数	最大层间位移（mm）
核心筒单独布置	52	34	0	2860	3.92	15.60
核心筒加短向端墙	63.60	34	18.40	3480	5.26	12.90
核心筒加长向边墙	70.80	34	26.20	3820	6.18	11.40
核心筒加外周墙肢	86.40	34	44	4520	8.72	8.60
偏心分散墙肢	58.20	18	16	3150	4.35	14.80
外周均衡补刚	82	30	42	4380	8.10	9.20

表 1 显示，外周墙肢长度增加时，侧向刚度系数和扭转刚度系数同步提高，最大层间位移降低；偏心分散墙肢保留一定墙量，但扭转刚度系数低于外周均衡补刚工况，说明位置均衡性比单纯墙量增加更能稳定整体刚度。

2.2 平面位置对扭转刚度偏差的影响

剪力墙平面位置改变刚度中心坐标，是扭转刚度偏差形成的主要原因。墙肢集中在核心筒一侧时，水平作用经楼板传给抗侧构件后，远离墙肢的角部依靠楼板膜内刚度协调变形，楼层平面转角随偏心距增大而放大^[4]。外周均衡补刚方案把墙肢布置到长向边跨和短向端部，扭转刚度系数可达到 8.10kN·m/rad，偏心分散方案扭转刚度系数仅为 4.35kN·m/rad；当两方向墙肢数量接近但位置偏心时，角点位移差仍会高于均衡方案。平面位置的作用不只表现为提高某一方向抗侧力，而是缩短质量中心与刚度中心距离，使侧移响应从平动加扭转转向以平动为主。

2.3 竖向连续性对层刚度分布的影响

竖向连续性决定剪力墙刚度能否沿高度稳定传递。墙肢自基础层连续到屋面时，层刚度曲线一般随高度平缓降低，层间位移不会在单层突然放大；墙肢在转换层中断或墙段被设备层洞口削弱时，楼层剪力经转换梁、框支柱和楼板重新分配，局部层刚度会出现折减。转换层附近墙体中断时，薄弱层位移往往集中在相邻楼层，曲线形态由连续弯剪型变成局部折线型。竖向连续性对整体刚度的影响具有放大效应，因为一个楼层的

刚度突变会改变上下楼层的变形协调，进而影响整体位移曲线的稳定性。竖向布置比较还要观察墙肢截面变化是否与楼层剪力需求相匹配，若上部墙肢突然减少而楼层质量没有同步下降，整体刚度会在中部形成控制点。竖向连续性对层刚度分布的影响见图 2。

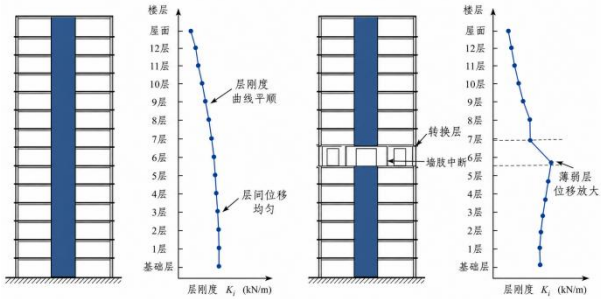


图 2 竖向连续性与层刚度分布关系

图 2 中，连续墙肢对应的层刚度曲线平顺，层间位移沿高度均衡发展；墙肢在转换层附近中断后，曲线在中部突降，薄弱层位移放大，说明竖向刚度突变会削弱整体刚度响应的连续性。

2.4 洞口削弱对抗侧刚度特征的影响

剪力墙洞口改变墙体有效截面和连梁传力能力，洞口上下不对齐时还会破坏竖向刚度连续。规整洞口可借连梁形成联肢墙受力，墙肢弯曲变形和连梁剪切变形共同耗能；错洞或大开洞会使墙肢截面惯性矩降低，局部应力集中导致抗侧刚度提前

退化。建筑功能要求门窗洞口集中时,应把洞口两侧边缘构件、连梁高度和洞口竖向对齐关系纳入布置比较,而不能只按墙段长度统计墙量。洞口削弱最明显的位置通常位于底部加强区、转换层附近和边墙端部,这些区域一旦形成刚度断点,整体刚度评价会被局部薄弱控制。

2.5 刚心偏移与层间位移响应的关系

刚心偏移与层间位移响应之间存在方向性关系。刚心沿短向偏离质量中心时,长向水平作用会产生附加扭矩,边部角点位移增大;刚心沿长向偏离时,短向墙肢承担的剪力分配不均,局部墙肢内力增长更快。墙肢布置调整的目标不是让刚心与质量中心在所有楼层完全重合,而是使偏移量沿高度变化平缓,并让位移最大点避开薄弱构件。平面补墙、核心筒闭合和外周墙肢共同作用后,刚心移动轨迹更接近楼层质量中心投影,层间位移峰值随之降低。若补墙只发生在局部楼层或单一方向,刚心轨迹会出现折线,整体刚度判断仍然不稳定。

3 剪力墙刚度影响结论与工程讨论

3.1 集中布墙对侧向刚度及抗扭刚度的影响

集中布墙能够快速提高核心区域侧向刚度,适用于交通核完整、平面规则且外周开间受建筑功能限制的结构,但这种布置容易把刚度集中在平面中部或一侧。核心筒附近墙肢密集时,楼层剪力进入墙肢的路径短,顶点位移下降较快;外周缺少墙肢时,抗扭力臂不足,角部位移仍可能成为控制指标。工程讨论中应把集中布墙视为提高抗侧刚度的基础措施,而不是解决整体刚度均衡的完整方案^[5]。对于长宽比较大或平面凹凸明显的建筑,集中布墙还应配合边部短墙、端墙或翼墙,使侧向刚度和抗扭刚度同步改善。对于短向刚度不足的结构,集中布墙还应核对端部墙肢是否具备足够约束臂,避免核心筒刚度很高而楼层边缘仍处于柔弱状态。

3.2 分散布墙对结构刚度均衡性的影响

分散布墙能够改善楼层刚度均衡性,尤其适合长向边跨、短向端部和角部位移较大的建筑平面。墙肢沿外周布置后,楼层剪力分担更加分散,刚度中心向质量中心靠近,局部墙肢内力峰值降低;但墙肢过度分散也会增加连梁数量和洞口协调难度,若短墙被门窗洞口切割,实际抗侧刚度可能低于模型预期。分散布墙应优先保证两个主轴方向均有连续墙肢,并控制同一方向墙肢长度差异,避免为了追求平面均匀而形成多个短肢墙。结构刚度均衡性的关键不在墙肢数量平均,而在墙肢能否形成连续、对称且可传力的抗侧体系。

3.3 墙体刚度分布与结构响应相关性分析

墙体刚度分布与结构响应的相关性体现在三个层面:平面上决定刚心偏移和扭转放大,竖向上决定薄弱层位移集中,构件层面决定墙肢内力与连梁变形的协调。侧向刚度值提高而扭转刚度值同步提高时,最大层间位移下降;侧向刚度值提高但刚心偏移扩大时,位移峰值可能从楼层中部转移到角部,整体刚度评价会出现方向差异。剪力墙布置应以适宜刚度、平面均衡、竖向连续、洞口规则为判断链条,把墙量、位置、连续性和洞口削弱共同纳入方案比较。只有墙体刚度分布与结构响应方向一致,整体刚度增强才具有工程稳定性。

4 结语

建筑结构剪力墙布置对整体刚度的影响集中表现为平面刚心偏移、竖向层刚度突变和洞口削弱后的位移放大。墙肢数量增加能够提高侧向刚度,但只有与外周有效力臂、核心筒闭合和双向连续布置结合,才能同步改善扭转刚度和层间位移分布;墙肢集中布置适合快速形成抗侧能力,分散均衡布置更有利于控制角点位移和刚心偏移。工程设计中应在统一模型口径下比较墙肢总长度、外周墙肢长度、侧向刚度系数、扭转刚度系数和最大层间位移,避免把单纯加墙量等同于整体刚度优化。

参考文献:

- [1] 王浩.剪力墙布置方式对高层住宅结构抗震性能的影响分析[J].现代建筑工程技术,2025,1(10):154-156.
- [2] 李袁戡.高层住宅建筑中剪力墙布置及其结构设计分析[J].中华民居,2024,17(09):159-161.
- [3] 蔡然.高层建筑混凝土剪力墙布置方案对比分析[J].四川水泥,2024(06):79-81.
- [4] 张成立.低烈度区高层建筑剪力墙结构抗震优化设计——以某高层住宅剪力墙布置为例[J].房地产世界,2025(8):50-52.
- [5] 王德志,何云松.高层钢框架-剪力墙结构剪力墙优化设计及施工关键技术研究[J].建筑机械,2025(12):42-47.