

# 剪力墙结构设计在建筑设计中的应用研究

李斌

申都设计集团有限公司

**摘要：**随着我国城市化进程的不断深化，建筑行业进入高速发展阶段。随着人们对建筑物抗震、高度和承载力的要求不断提高，建筑结构设计中的剪力墙结构的应用越来越多。由于剪力墙方式多样，其结构设计也各有特点，因此，为了帮助建筑结构设计人员选择恰当的剪力墙结构设计，本文针对剪力墙结构设计在建筑结构设计中的应用进行了相关研究，以期对建筑结构设计人员提供参考。

**关键词：**建筑结构设计；剪力墙；结构特点；设计原则；设计应用；设计优化

## 一、引言

剪力墙由于其良好的特性，包括高强度、刚度、延展性和能量耗散，而被广泛用作建筑结构中抗侧向荷载系统。剪力墙结构的楼盖结构一般采用平板，可以不设梁，所以空间利用比较好，可节约层高。带有开口的剪力墙称为耦合剪力墙，它们充当通过耦合梁连接的悬臂墙。门窗的开口会影响结构的性能，并导致剪力墙的结构强度降低。过去曾提出过一些方法来增加剪力墙的结构强度，例如，在直角开口的拐角处增加斜角，作为增加耦合剪力墙结构强度的简单方法。因为与剪力墙的最终荷载相比，结构总重量的增加非常小。<sup>[1]</sup>在大多数情况下，这些系统在其基础上依赖于挠曲机构的激活。但是，即使基本力矩受到限制，由于较高的模态效应，结构力、沿结构高度的力矩和加速度也会显著增加。因此，加强对剪力墙结构设计的分析和研究刻不容缓。

## 二、项目概况

本次研究选择的建筑物平面图由两个方向上的五个对称隔间组成，宽度为5.0m，总地板尺寸为25.0m×25.0m。层高三.0m，板厚为240mm，平均地板和隔板荷载为2.0kPa，用于承受等于住宅占用1.9kPa的活荷载。剪力墙在两个正交方向上位于建筑物末端。如图1所示，在每个方向上设置有两个壁，壁厚（ $t_w$ ）250-400mm。剪力墙的横截面尺寸沿建筑物高度保持，以避免在较高的楼层出现任何可能的铰接。剪力墙使用特性抗压强度 $f$ 的普通密度混凝土，和40MPa的钢筋。其中，混凝土的弹性模量为28.4GPa，混凝土的密度为24.0kN/m<sup>3</sup>，混凝土的泊松比为0.2，钢筋的屈服强度 $f_y$ 为400MPa。

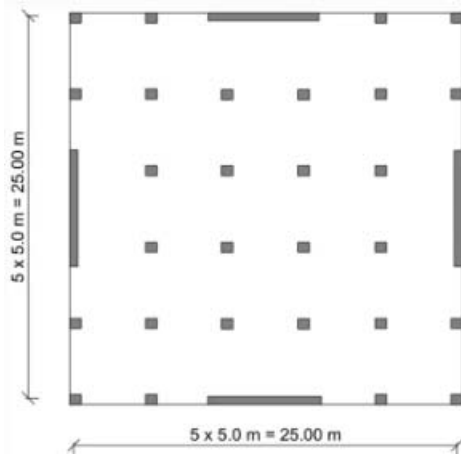


图1 研究建筑物的平面图

## 三、剪力墙结构设计

在建筑结构设计中，设计的选择一般是由所用材料的强度

特性决定的，而变形性问题通常以后验检验为主，以避免对非结构单元造成重大损伤。其中，剪力墙结构设计在过去的几十年中得到了广泛的应用，因为它能够有效地抵抗侧向力，最小化侧向位移，并且能够实现复杂形状的结构，从而达到显著的建筑效果。

剪力墙结构有各种形式，例如悬臂剪力墙、耦合剪力墙、下蹲剪力墙以及带有边界元素和开口的剪力墙。这些剪力墙结构、材料、排列方式各有不同，适用于不同的建筑结构中。例如，夹芯剪力墙是由两个钢板面板和一个夹心混凝土芯组成，它们通过机械剪力连接器粘结在一起，形成一个整体单元以抵抗外部荷载。使用拉杆将钢板面板连接在一起，并使用带头螺栓将钢板面板分别连接到填充混凝土。与传统的钢筋混凝土相比，夹芯剪力墙的三明治结构优势在于外部钢板充当永久模板和抗弯钢筋，并提供剪力墙防水保护。

在剪力墙设计中，如果改变几何参数，如外斜线的倾角，会产生过大的剪力。结果，在这样的剪力墙结构中，耦合梁和壁耦合的接头可以首先屈服。关于耦合梁的关键问题是延展性需求。为了具有这样的延展性，要求对联接梁进行适当的详细设计，使其具有明显复杂的加固布置，并且在地面运动过程中强度降低不明显。为了解决这些问题并增加剪力墙结构设计的耗能能力，耗能装置位于连接梁的中部，基于能量平衡法，通过增加能量消耗能力并减少对结构的损坏，是一种重要的设计方法。

对剪力墙结构设计的非线性动力分析表明，在剪力墙结构设计中，通过适当设置一组阻尼参数，可以很好地控制剪力墙的动力响应。在设计中，通过计算耗能装置的屈服剪切力系数的分布，从而通过建筑物的不同高度分配均等的损坏，并考虑墙的底部允许的损坏。<sup>[2]</sup>

## 四、剪力墙结构设计应用及优化

### （一）剪力墙结构设计应用

剪力墙结构的抵抗机制是基于轴向力的不可分离的构件，既能承受横向作用，又能承受竖向荷载。例如，针对剪力墙设计中，对角线由渐变角度的直角线组成的情况，使用模块化方法来评估任意剪力墙结构的剪切和弯曲刚度，不仅提供了剪力和弯曲性能，而且提供了扭转柔度。在实践中，建筑构件的尺寸是根据结构设计得出的，忽略填充的影响，剪力墙的厚度根据建筑物的高度在150-250毫米之间变化，选择M20级混凝土和Fe 415级钢作为结构元件的设计。在建筑结构设计中，剪力墙沿着外部框架（SWE），核心（SWI）和外部框架的所有四个角（SWC）对称放置。建筑框架在每个方向上有3个隔间，隔间长度相等。每个隔间的层高和长度分别选择为3 m和4 m。具体框架如图2所示。

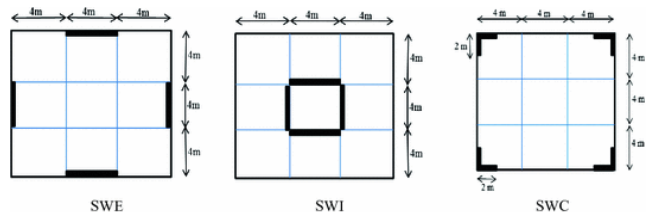


图2 具有不同剪力墙位置的建筑框架图

基础剪力是由于地震地面运动而可能在结构底部产生的最大预期横向力。在具有不同剪力墙位置的建筑物中，基础剪力的变化如图3所示。

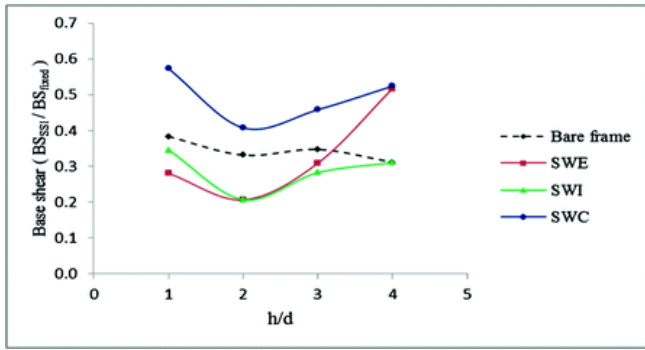


图3 固定基础和建筑物的基础剪力比较

如图3所示, 与其他剪力墙配置相比, 以剪力墙为核心 (SWI) 的建筑物显示的基础剪力值最低。除了纵横比为1以外, 对于所有建筑物, SWI剪力墙结构中的基础剪力变化也最小。由于裸框式房屋的抗震重量较低, 裸框式房屋的剪力比剪力墙式建筑的要低。

建筑物在 earthquake 荷载作用下的最大层间漂移 (ID) 比率限制为2.5%, 而在受风荷载影响的情况下, 由于在役风荷载导致的最大层间比率被限制为1/500。剪力墙的设计使用 S-Concrete 软件并遵守上述漂移极限进行。假定壁增强件沿壁高度保持恒定,  $l_u$  是两层之间的墙壁的最大不受支撑高度, 剪

力墙最小壁厚取为  $l_u/20$ 。通过添加剪力墙, 自然周期变化会随着建筑物刚度的增加而增加。在剪力墙建筑物中, 自然周期在剪力墙建筑物位于外部框架的拐角处的剪力墙建筑物中最高, 而在剪力墙建筑物中以剪力墙为核心的自然周期最低。在将剪力墙置于核心位置的剪力墙建筑物中, 基础剪力最小。通过在建筑物中加入剪力墙可以大大减少屋顶挠度, 而在建筑结构系统中, 将剪力墙置于核心位置的建筑物的屋顶挠度最小。<sup>[3]</sup>

(二) 剪力墙结构设计优化

剪力墙被认为是任何地震多发区的建筑结构中主要的侧向抗力元件。确定在弹性前和弹性后阶段的剪力墙性能至关重要。由于建筑物的功能要求, 建筑物开口的大小和位置可能在剪力墙的响应中起重要作用。本文提出了一种剪力墙结构优化设计方法, 该剪力墙结构具有承受剪力和弯矩的梁, 承受双轴弯矩, 承受双轴剪力和轴向载荷的柱以及承受纯剪力的剪力墙剪。关于梁和柱, 设计变量是构件截面的纵向钢筋的宽度, 深度和面积。剪力墙的设计变量是墙的厚度, 垂直钢筋的面积, 垂直钢筋之间的水平距离, 水平钢筋的面积, 水平箍筋之间的垂直空间以及垂直抗弯钢筋的面积。采用最佳标准方法可最大限度地减少剪力墙结构的混凝土, 钢材和模板的成本。关于梁, 柱和剪力墙的强度和延性被视为约束条件。约束条件还对梁和柱的尺寸以及剪力墙的厚度, 加固面积以及剪力墙的箍筋之间的最大和最小垂直和水平空间施加了上限和下限。示例结果说明如图4所示。

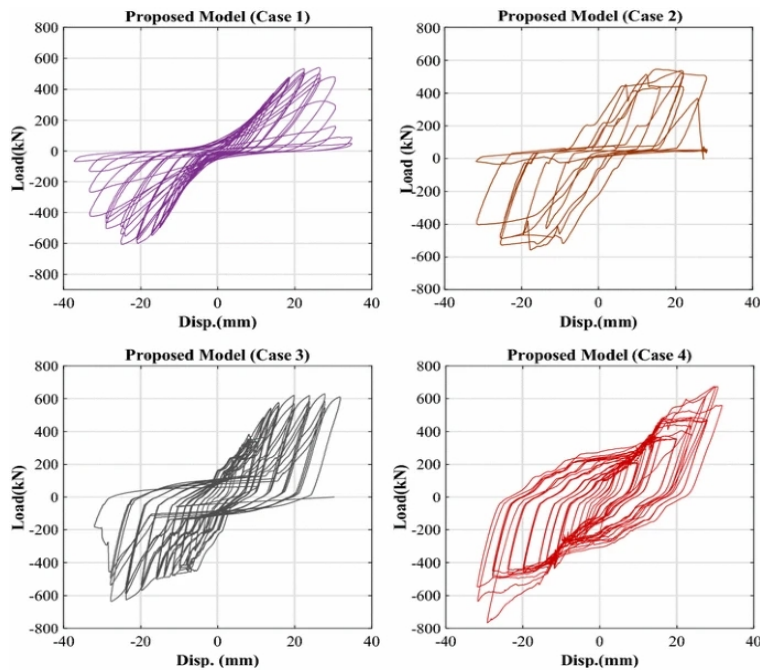


图4 剪力墙水平荷载-位移特性

结果显示, 与其他剪力墙相比, 优化后的剪力墙结构设计可减少位移。建筑物在外侧力和扭矩作用下的响应, 对角线相对于剪力墙的相对刚度随着外对角线倾角的变化而发生显著变化, 特别是在扭转刚度方面, 以及在内部存在剪力墙的情况下获得最佳对角线安排。为了减小侧向位移, 在剪力墙结构设计中应该使用70°左右的最佳对角线; 反之, 则应该使用较低的对角线来减小扭转。因此, 应该选择最佳解, 以便找到一个折衷方案, 使侧向位移、扭转柔度和材料用量都达到最小。

结论

综上所述, 剪力墙结构的不当设计可能会导致建筑结构对钢筋束的过度设计, 而这些钢筋束的加固要求不适当可能会导致墙体设计不足, 尤其是抗剪强度方面。本文针对剪力墙结

构设计应用及优化进行了相关研究, 结果显示, 在初步设计阶段, 可以通过简单的方法成功地估算出剪力墙结构的总耦合剪切能力和总基础倾覆力矩能力。通过简单的程序估算剪力墙结构的总体延性需求, 从而对基础剪力进行合理的估算。

参考文献

[1] 刘鹏飞, 魏巍, 邱天. 重庆某高层剪力墙结构住宅楼超限分析及优化设计[J]. 特种结构, 2018, 35 (03): 1-8+14.  
 [2] 伍国强. 抗震性能目标和刚度特征值对R.C框架一剪力墙结构抗侧性能影响非线性仿真分析[D]. 南昌大学, 2018.  
 [3] 徐宋兵. 关于混凝土框架一剪力墙结构抗侧刚度的优化设计分析[J]. 住宅与房地产, 2018 (13): 100-101.