

# 剪力墙布置方式对高层住宅结构抗震性能的影响分析

王 浩

邢台市建筑设计研究院有限公司 河北 邢台 054000

**摘 要:** 本文聚焦于剪力墙布置方式对高层住宅结构抗震性能的影响展开深入探讨。首先阐述了高层住宅结构抗震的重要意义,接着详细分析了常见的剪力墙布置方式,包括均匀对称布置、分散布置、周边布置等,并从理论层面剖析了不同布置方式对结构刚度、变形能力、内力分布等方面的影响机制。通过工程案例分析,对比不同剪力墙布置方式下高层住宅结构在模拟地震作用下的响应,如位移、加速度、内力等参数的变化。最后总结得出合理的剪力墙布置方式对提高高层住宅结构抗震性能的关键作用,为高层住宅结构设计中剪力墙的优化布置提供理论依据和实践参考。

**关键词:** 剪力墙布置方式;高层住宅结构;抗震性能;结构刚度;内力分布

## 1 引言

随着城市化推进,土地资源紧张,高层住宅因能充分利用土地、提供更多居住空间而大量涌现,成为城市主要居住形式。但地震等自然灾害对其结构安全构成巨大挑战,提高其抗震性能是建筑工程领域亟待解决的问题。剪力墙作为高层住宅重要的抗侧力构件,能通过变形消耗地震能量,减少水平位移,防止倒塌,合理布置至关重要。本文旨在研究剪力墙布置方式对高层住宅抗震性能的影响,揭示响应规律,为剪力墙优化布置提供依据,保障安全,促进高层住宅建设健康发展。

## 2 常见剪力墙布置方式及特点

### 2.1 均匀对称布置

均匀对称布置是指剪力墙在高层住宅结构平面内均匀分布,并且关于结构的两个主轴对称。这种布置方式的优点在于能够使结构的刚度中心与质量中心尽可能重合,从而减小结构在地震作用下的扭转效应。在均匀对称布置下,各片剪力墙能够共同承担水平荷载,使结构的内力分布较为均匀,有利于提高结构的整体抗震性能。例如,在一些规则形状的高层住宅建筑中,采用均匀对称布置剪力墙,可以使结构在水平和垂直方向上都具有较好的力学性能,增强结构的稳定性。

### 2.2 分散布置

分散布置是将剪力墙分散设置在结构的各个部位,而不是集中在某一区域。这种布置方式可以增加结构的冗余度,当部分剪力墙在地震作用下受到损坏时,其他剪力墙仍能够继续承担荷载,保证结构的整体稳定性。分散布置还能够减小剪力墙之间的相互影响,避免出现应力集中现象<sup>[1]</sup>。例如,在一些不规则形状的高层住宅建筑中,根据建筑的平面布局和使用功能,将剪力墙分散

布置在不同的房间和角落,能够更好地适应建筑的结构特点,提高结构的抗震可靠性。

### 2.3 周边布置

周边布置是将剪力墙设置在高层住宅结构的外围,形成封闭或半封闭的筒体结构。这种布置方式能够充分利用剪力墙的抗侧力性能,使结构具有较大的侧向刚度和抗扭刚度。周边布置的剪力墙可以有效地约束结构的变形,减少结构的水平位移,提高结构的抗震能力。例如,在一些核心筒结构的高层住宅建筑中,将剪力墙布置在建筑的核心区域和周边,形成一个强大的抗侧力体系,能够抵御较大强度的地震作用。

## 3 剪力墙布置方式对结构抗震性能影响的理论分析

### 3.1 对结构刚度的影响

结构刚度是指结构抵抗变形的能力,它是衡量结构抗震性能的重要指标之一。剪力墙的布置方式对结构的刚度有着显著影响。

均匀对称布置的剪力墙能够使结构在各个方向上的刚度分布较为均匀,从而提高结构的整体刚度。假设一个高层住宅结构在x和y方向上均匀布置了剪力墙,其侧向刚度 $K_x$ 和 $K_y$ 可以通过叠加原理计算:

$$K_x = \sum_{i=1}^n K_{xi}$$

$$K_y = \sum_{j=1}^m K_{yj}$$

其中, $K_{xi}$ 和 $K_{yj}$ 分别为x和y方向上第i和第j片剪力墙的侧向刚度, $n$ 和 $m$ 分别为x和y方向上剪力墙的数量。

分散布置的剪力墙虽然单个剪力墙的刚度可能较小,但通过合理分散布置,能够增加结构的整体刚度,并且使结构的刚度分布更加合理。例如,在一个不规则

平面的建筑中,将剪力墙分散布置在建筑各个部位,可以使结构在不同方向上的刚度得到平衡,避免出现局部刚度过大或过小的情况。

周边布置的剪力墙由于形成了筒体结构,能够显著提高结构的侧向刚度。根据相关研究,周边布置剪力墙的筒体结构的侧向刚度比框架结构可提高数倍甚至数十倍<sup>[2]</sup>。例如,一个30层的框架结构高层住宅,其侧向刚度约为 $1.0 \times 10^5 \text{ kN/m}$ ,而采用周边布置剪力墙形成筒体结构后,侧向刚度可达到 $5.0 \times 10^6 \text{ kN/m}$ 以上,能够有效地控制结构在地震作用下的水平位移。

### 3.2 对结构变形能力的影响

结构的变形能力是指结构在地震作用下产生较大变形而不发生倒塌的能力。合理的剪力墙布置方式能够提高结构的变形能力。

均匀对称布置的剪力墙可以使结构在地震作用下产生较为均匀的变形,避免出现局部变形过大导致结构破坏的情况。根据结构力学原理,结构的变形 $\Delta$ 与荷载 $P$ 、刚度 $K$ 之间的关系为:

$$\Delta = \frac{P}{K}$$

在均匀对称布置下,结构的刚度分布均匀,当地震作用施加在结构上时,各部分的变形相对协调,不会出现某个部位的变形远大于其他部位的情况。

分散布置的剪力墙能够增加结构的冗余度,当部分剪力墙受损时,其他剪力墙能够继续发挥作用,使结构具有一定的变形调整能力。例如,在一个分散布置剪力墙的结构中,假设某一片剪力墙在地震作用下出现裂缝,其刚度降低,但由于其他剪力墙的存在,结构仍然能够承受水平荷载,并且可以通过调整内力分布来适应变形,从而提高结构的变形能力。

周边布置的剪力墙形成的筒体结构具有较好的整体性和延性,能够在地震作用下通过自身的变形来消耗地震能量,提高结构的变形能力。研究表明,周边布置剪力墙的筒体结构在地震作用下的延性系数 $\mu$ (极限位移与屈服位移的比值)可达3-5,而普通框架结构的延性系数一般为2-3,说明筒体结构具有更好的变形能力。

### 3.3 对结构内力分布的影响

在地震作用下,结构的内力分布直接影响结构的承载能力和安全性。剪力墙布置方式不同,结构的内力分布也会有所不同。

均匀对称布置的剪力墙能够使结构的内力分布较为均匀,各片剪力墙能够合理分担水平荷载,避免出现某片剪力墙内力过大而发生破坏的情况。

分散布置的剪力墙可以减小剪力墙之间的内力相互影响,使内力传递更加顺畅。在一个分散布置剪力墙的不规则平面建筑中,由于剪力墙分散设置,水平荷载可以通过不同的路径传递到基础,避免了内力在局部区域的集中<sup>[3]</sup>。

周边布置的剪力墙由于形成了筒体结构,能够有效地将水平荷载传递到基础,减少结构其他部位的内力集中现象。在周边布置剪力墙的筒体结构中,水平荷载主要通过筒体的剪力墙传递,框架柱所承受的内力相对较小。

### 3.4 对结构扭转效应的影响

结构的扭转效应是影响高层住宅结构抗震性能的重要因素之一。当地震作用的方向与结构的刚度中心不重合时,结构会产生扭转振动,过大的扭转效应会导致结构的破坏。

均匀对称布置的剪力墙能够使结构的刚度中心与质量中心尽可能重合,从而减小结构的扭转效应。根据扭转振动理论,结构的扭转频率 $\omega_t$ 与结构的扭转刚度 $K_t$ 和转动惯量 $I_t$ 之间的关系为:

$$\omega_t = \sqrt{\frac{K_t}{I_t}}$$

在均匀对称布置下,结构的扭转刚度较大,转动惯量相对较小,因此扭转频率较高,结构在地震作用下的扭转响应较小。

而分散布置和周边布置的剪力墙如果布置不合理,可能会导致结构的刚度分布不均匀,增加结构的扭转效应<sup>[4]</sup>。例如,在一个周边布置剪力墙但布置不均匀的结构中,由于结构在某个方向的刚度较大,而在另一个方向的刚度较小,当地震作用施加在结构上时,会产生较大的扭矩,导致结构发生扭转振动。因此,在进行剪力墙布置时,应充分考虑结构的扭转问题,采取相应的措施来减小扭转效应。

## 4 工程案例分析

### 4.1 工程概况

选取某市两栋高层住宅建筑作为研究案例,分别标记为建筑A和建筑B。建筑A为30层,高度为90米,平面形状为矩形,长40米,宽20米,采用均匀对称布置剪力墙;建筑B为28层,高度为84米,平面形状不规则,呈L形,长臂长35米,短臂长20米,采用分散布置剪力墙。两栋建筑均位于地震设防烈度为7度的地区,设计基本地震加速度值为 $0.15g$ ,场地类别为II类。

### 4.2 模型建立与参数设置

采用有限元分析软件ETABS对两栋建筑进行建模分析。在建模过程中,根据建筑的实际尺寸和结构布置,

准确输入各构件的几何参数和材料性能参数。

对于剪力墙，采用壳单元进行模拟，考虑其弯曲变形和剪切变形。混凝土强度等级为C30，弹性模量 $E = 3.0 \times 10^4 \text{MPa}$ ，泊松比 $\nu = 0.2$ ，密度 $\rho = 2400 \text{kg/m}^3$ 。钢筋采用HRB400级，屈服强度 $f_y = 360 \text{MPa}$ 。

对于梁和柱，采用梁单元进行模拟。梁的截面尺寸为 $300 \text{mm} \times 600 \text{mm}$ ，柱的截面尺寸为 $800 \text{mm} \times 800 \text{mm}$ ，材料性能参数与剪力墙相同。

同时，根据地震设防要求，设置合适的地震波参数。选取三条实际地震记录（El-Centro波、Taft波和人工波）作为输入地震波，峰值加速度调整为 $0.15g$ ，持续时间取 $20 \text{s}$ 。

#### 4.3 模拟地震作用下的结构响应分析

##### 4.3.1 位移分析

在模拟地震作用下，对比两栋建筑的楼层位移。结果显示，建筑A由于采用均匀对称布置剪力墙，其楼层位移分布较为均匀，最大位移出现在顶层，且位移值相对较小。而建筑B由于平面形状不规则，采用分散布置剪力墙，虽然整体位移也控制在一定范围内，但部分楼层的位移相对较大，尤其是在建筑的不规则部位。这表明均匀对称布置剪力墙能够更好地控制结构的位移，提高结构的整体稳定性。

##### 4.3.2 加速度分析

分析两栋建筑在模拟地震作用下的楼层加速度。建筑A的楼层加速度分布较为均匀，加速度放大系数较小，说明结构对地震加速度的传递较为平缓，能够有效地减小地震作用对结构的影响。建筑B的楼层加速度在某些楼层出现较大波动，尤其是在剪力墙布置较少的区域，加速度放大系数较大，这可能会导致结构在这些部位受到较大的地震力作用，增加结构破坏的风险。

##### 4.3.3 内力分析

对比两栋建筑的剪力墙内力分布。建筑A的剪力墙内力分布较为均匀，各片剪力墙能够合理分担水平荷载，没有出现明显的内力集中现象。建筑B的部分剪力墙由于布置位置不合理，内力较大，尤其是在建筑的转角处和不规则部位，剪力墙的内力超过了设计值，这可能会影响剪力墙的承载能力和安全性。

#### 5 提高高层住宅结构抗震性能的剪力墙布置建议

##### 5.1 结合建筑平面形状合理选择布置方式

在进行高层住宅结构设计时，应根据建筑的平面形状选择合适的剪力墙布置方式。对于规则形状的建筑，优先采用均匀对称布置剪力墙，使结构的刚度中心与质

量中心重合，减小扭转效应。对于不规则形状的建筑，可采用分散布置或周边布置与分散布置相结合的方式，增加结构的冗余度和抗侧力能力。

##### 5.2 优化剪力墙的数量和间距

剪力墙的数量和间距对结构的抗震性能也有重要影响。剪力墙数量过多会增加结构的自重和造价，同时可能导致结构的刚度过大，地震作用增大；剪力墙数量过少则无法满足结构的抗侧力要求。因此，应根据建筑的高度、平面形状和使用功能等因素，合理确定剪力墙的数量和间距。一般来说，剪力墙的间距不宜过大，以保证结构在水平方向上的连续性和整体性。

##### 5.3 加强剪力墙的连接构造

剪力墙之间的连接构造对结构的整体性和抗震性能起着关键作用。应加强剪力墙与梁、柱之间的连接，确保在地震作用下能够有效地传递内力。同时，对于周边布置的剪力墙形成的筒体结构，应加强筒体角部的连接，提高筒体的整体刚度和抗扭能力。

##### 5.4 考虑结构的扭转效应进行布置调整

在进行剪力墙布置时，应充分考虑结构的扭转效应。通过调整剪力墙的位置和数量，使结构的刚度中心与质量中心尽可能接近，减小扭转效应。对于不规则形状的建筑，可在建筑的薄弱部位增加剪力墙或采取其他加强措施，提高结构的抗扭能力。

#### 结语

本文经理论分析与实际工程案例研究，得出剪力墙不同布置方式特点各异，均匀对称、分散、周边布置分别适用于不同建筑，且布置方式对结构抗震性能指标影响显著，合理布置可提升整体抗震能力。案例显示均匀对称布置效果较好，分散布置需注重合理性。不过研究存在不足，如实际案例样本数量有限，有局限性。未来可扩大样本，分析更多高层住宅，并结合新抗震理念与技术，优化剪力墙布置，为高层住宅建设提供更科学合理的设计方法。

#### 参考文献

- [1]李袁或.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.
- [2]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.
- [3]雷洋.高层住宅剪力墙结构布置及优化[J].住宅与房地产,2023,(14):107-109.
- [4]宗玉霞.某高层住宅剪力墙布置方案对比及结构设计要点探讨[J].甘肃科技纵横,2021,50(08):69-71.