

浅谈高层建筑工程中剪力墙结构抗震优化设计

文 / 徐小文 海阳市翔瑞建筑有限公司

王 宇 青建集团股份有限公司

摘要：建筑物数量和规模逐渐增加，不断提升的建筑高度与复杂度都对抗震设计提出全新的挑战。剪力墙结构作为一种重要的抗震体系，因其良好的刚度和强度在高层建筑中得到广泛应用。本文深入探讨了高层建筑中剪力墙结构抗震优化设计。通过分析剪力墙的几何形状、布置方式、材料性能及与其他结构构件协同作用对抗震性能的影响，提出了针对剪力墙几何形状与布置、剪力墙与框架的耦合以及材料性能与构造的协同优化设计方法，为高层建筑的抗震设计提供了理论支持和实践指导。

关键词：高层建筑；剪力墙结构；抗震优化；几何形状优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.11.047

引言

随着现代建筑的高层化趋势愈发显著，地震等自然灾害的潜在威胁促使建筑抗震设计的需求日益增加。高层建筑由于其结构高大、质量集中、受到外部水平荷载影响的程度较大，易发生局部或整体失稳，导致灾难性后果。剪力墙结构，作为一种在高层建筑中常见且重要的抗震措施，凭借其在承受水平荷载方面的卓越表现，成为解决高层建筑抗震难题的重要选择。剪力墙的抗震性能直接关系到建筑的安全性及人们的生命财产安全，因此，探索和优化剪力墙结构的抗震性能是现代建筑工程中亟须解决的问题。

一、剪力墙结构

剪力墙结构是指纵横向的主要承重结构全部为结构

墙的结构。当墙体处于建筑物中合适的位置时，它们能形成一种有效抵抗水平作用的结构体系，同时，又能起到对空间的分割作用。结构墙的高度一般与整个房屋的高度相等，自基础直至屋顶，高达几十米或100多米；其宽度则视建筑平面的布置而定，一般为几米到十几米。相对而言，它的厚度则很薄，一般仅为200~300mm，最小可达160mm。因此，结构墙在其墙身平面内的抗侧移刚度很大，而其墙身平面外刚度却很小，一般可以忽略不计。所以，建筑物上大部分的水平作用或水平剪力通常被分配到结构墙上，这也是剪力墙名称的由来。

剪力墙结构在不同建筑设计中的应用差异较大，根据其形态、作用及构造方式的不同，可分为以下几类：

表1 剪力墙结构类型

剪力墙类型	特点及应用
整体剪力墙	采用完整连续的墙体结构，常见于高层住宅和商业建筑中，能够有效抵抗地震荷载。整体剪力墙由于其连续性，具备良好的整体抗震能力。
组合剪力墙	由多块墙体通过一定的构造方式组成，墙体之间可能设置有连接梁、柱等连接构件，形成有机整体，通常用于需要较高灵活性的建筑设计中。
核心筒剪力墙	核心筒是建筑物中心部位的剪力墙系统，常见于超高层建筑中，核心筒通过垂直分布的多个剪力墙承担大部分抗震责任。核心筒剪力墙在抗震设计中具有关键作用，尤其对大跨度建筑尤为重要。
框架-剪力墙组合体系	框架结构与剪力墙的结合型结构体系，剪力墙负责抗震，框架负责分担竖向荷载。此类结构适用于中高层建筑，可在保证抗震性能的同时，增加建筑的使用空间。
T型剪力墙	在传统剪力墙的基础上，进行“T”字形布置设计。T型剪力墙通过增加壁体的弯曲刚度，提高了抗震性能，广泛应用于具有较大侧向荷载的高层建筑。

二、剪力墙抗震性能的影响因素

(一) 剪力墙的几何形状与尺寸

剪力墙的几何形状和尺寸直接影响其抗震性能^[1]。具体来说，墙体的高度、厚度、宽度及其纵横比例等因素决定了剪力墙的刚度和强度分布。高宽比较大的剪力墙，尤其是长条形墙体，其抗震性能往往较弱，因为长条形墙体容易产生较大的侧向位移，这对于建筑的整体稳定性构成挑战。与此相对，较短且较宽的剪力墙结构能够更好地分散水平荷载，提高其抗震能力。剪力墙的截面形状也在抗震设计中发挥着关键作用。T型、L型等非矩形墙体相比传统矩形墙体，在抗震过程中能有效减小震动幅度，提升结构的稳定性。非矩形形状的剪力墙

能够更好地分配由地震作用引发的力矩和剪力，从而增强墙体的抗震效果。因此，墙体的几何形状及其比例需要根据建筑物的具体结构要求进行优化设计，以期获得最佳的抗震表现。

(二) 剪力墙布置方式与位置

不同的布置方式会影响剪力墙的抗震力学特性，进而改变建筑物在地震作用下的表现。比如，在多层建筑中，剪力墙若集中布置在某一位置，可能使该部分的抗震能力过强，而其他部位则相对较弱，导致地震过程中结构的不均匀受力，产生局部屈服甚至失稳的风险。另一方面，剪力墙的布置位置对于水平荷载的分配也具有重要作用。核心筒区域作为剪力墙的常见布置区域，能够有效集中抵抗

地震时的水平荷载，提高建筑的抗震性能。但若剪力墙布置不均，或位置设置不当，会导致建筑在地震过程中出现较大的水平位移，进而影响结构的整体稳定性。同时，剪力墙的相互位置关系，若存在较大的布置间隙，则可能会导致剪力墙之间相互耦合作用减弱，影响其抗震性能^[2]。

(三) 材料性能

剪力墙所使用的材料性能对其抗震性能的影响至关重要。常见的剪力墙材料如钢筋混凝土和高强度混凝土等，不同材料的抗压强度、延展性、抗裂性等物理性质，决定了剪力墙的受力和抗震表现。钢筋混凝土剪力墙因其良好的延展性和较高的抗压强度，在抗震设计中被广泛应用。但若是混凝土的强度不足或钢筋配置不合理，剪力墙的抗震能力则会大大降低，地震时容易发生结构破坏。另外，随着时间的推移，材料可能因环境因素而老化，尤其是混凝土在长期受压和摩擦的作用下可能产生裂缝或缺陷，导致墙体的刚度和承载力逐渐下降。长期服役过程中材料性能的退化会使剪力墙的抗震能力随之减弱，甚至无法达到设计要求。因此，材料的选择及其性能的长期维持，直接影响剪力墙在地震中的表现。

(四) 剪力墙与其他结构构件的协同

剪力墙作为建筑抗震的关键构件，其性能的发挥不仅仅依赖于墙体本身，还受到与其他结构构件（如框架、楼板、基础等）协同作用的影响。剪力墙与其他结构构件的连接方式、受力路径以及力的传递机制，都会直接

影响剪力墙在地震中的表现。若剪力墙与框架的连接设计不合理，或者两者之间的耦合作用不充分，将导致地震力在框架和剪力墙之间的传递不均，增加局部失效的风险。特别是在多层建筑中，剪力墙与框架之间的互动效应对抗震性能至关重要。框架在承受竖向荷载时，通常对水平荷载的承受能力较弱，若剪力墙未能有效支撑框架结构，则容易导致结构的非均匀变形，增加整体倒塌的风险。此外，剪力墙与基础之间的相互作用同样决定了抗震效果的优劣。剪力墙通过基础将地震力传递至地基，当基础设计不合理时，则会使剪力墙的抗震作用减弱，导致建筑的整体稳定性不足。

三、高层建筑工程中剪力墙结构抗震优化设计

(一) 优化设计的基本理论与思路

剪力墙抗震优化设计的基本理论依据是通过合理调配结构刚度、强度与建筑物的实际需求，优化剪力墙在地震中的响应。根据《建筑抗震设计规范》和相关理论，抗震设计优化的目标在于最小化结构在地震作用下的位移和加速度，减少塑性变形，从而为结构的安全性与舒适性提供保障。

优化设计思路基于对剪力墙结构力学特性的充分理解，在建筑的整体抗震框架内，对墙体的尺寸、形状、材料及位置等进行系统优化^[3]。具体来说，优化思路包括以下几个方面：

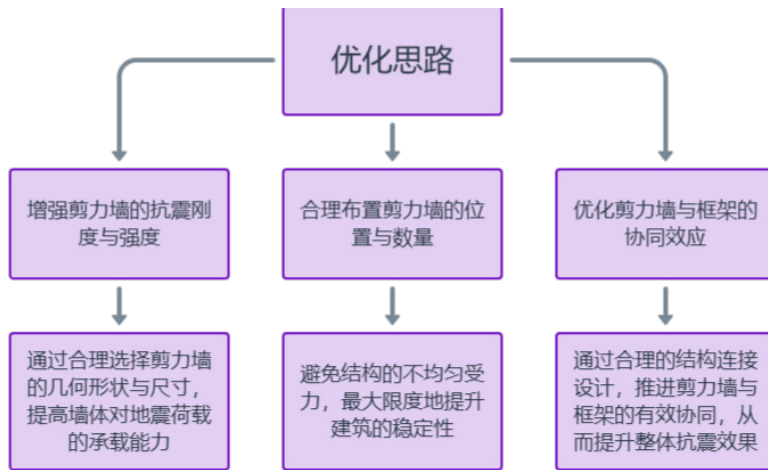


图 1 优化设计的思路

(二) 优化设计的具体方法

1. 剪力墙几何形状与布置优化

剪力墙的几何形状和布置在高层建筑抗震设计中至关重要，直接影响到结构的受力和地震反应。因此，在几何形状的优化方面，设计者需要根据建筑的功能需求和地震带特性合理选择剪力墙的形状。在高层建筑中，传统的矩形剪力墙通常较为常见，但为了提高抗震能力，非矩形截面，如 T 形、L 形和带有回字形的剪力墙被逐步引入。具体实施时，设计者可通过数值模拟分析，结合建筑物的实际情况，选择最合适的几何形状。同时，剪力墙的布置应确保在建筑物的关键部位配置足够数量

的墙体，尤其是在建筑的核心区或者外围有较大开口区域。剪力墙布置不当可能导致抗震性能的下降。剪力墙应集中布置在建筑物的核心区，并根据建筑的纵深方向进行适当分布，以确保整体结构的抗震协调性。在需要跨越较大空间的建筑中，剪力墙应尽量避免过大开口。若开口不可避免，则应设计加固措施，保证开口周围墙体的抗剪与抗弯能力^[4]。对于高层建筑的剪力墙布置，纵横比的优化是另一个关键问题。所以，建议设计中根据建筑的高度和剪力墙的受力情况调整纵横比。通常，高层建筑的纵横比应控制在 3:1 至 5:1 之间，根据不同的设计需求进行适当调整。此外，合理分配墙体高度与

宽度，以有效避免由于局部刚度过大或过小而导致的应力不均和结构失稳。

2. 剪力墙与框架的耦合优化

优化框架与剪力墙的刚度匹配，是实现两者高效协同受力的基础。在实际设计中，剪力墙的刚度通常较大，而框架刚度相对较小。为了避免框架过度屈服或剪力墙受力过大，设计者应合理调整框架与剪力墙的配筋和构造，确保两者在地震荷载下能够共同作用，分担震力。具体的优化措施包括通过调整框架柱的截面尺寸以及剪力墙的配置，使得框架和剪力墙之间的刚度差异较小，从而减少框架与剪力墙之间的受力差异。框架柱的钢筋配置可根据剪力墙的受力进行优化设计，通常需要适当增加柱的纵向和横向钢筋密度，确保其能够在地震过程中与剪力墙共同承担水平力。并且，设计时要避免将剪力墙与框架柱之间设置过刚性的连接。刚性过强的连接会导致剪力墙过早失效，而框架柱则会因为相对位移过大而出现损伤。因此，采用柔性连接或者设置合适的阻尼系统，在框架与剪力墙的连接处有效分散地震力，避免两者产生较大相对位移。对于剪力墙与框架的交界处，设计者应特别注意节点处的强化措施。节点往往是受力集中的区域，若不进行加固处理，容易出现塑性变形甚至破坏。通过增加钢筋的密度、优化配筋形式以及设置钢板加固，能够有效增强节点区域的承载力与延性，确保剪力墙与框架之间的有效衔接。

3. 材料性能与构造的协同优化

在剪力墙的设计中，材料性能与构造的协同优化是提高抗震性能的核心措施。高强度混凝土和高延性钢筋是常见的材料选择，这些材料不仅能提供足够的强度，还能在地震作用下具备良好的变形能力，避免因过早破坏导致结构功能丧失。在高层建筑中，常选用 C40 或 C50 等级的混凝土，确保其在地震荷载下具备良好的抗压能力。同时，对于钢筋的选择，应使用高强度钢筋，以提高墙体的抗拉和抗剪能力。除了材料选择，混凝土和钢筋的配比、施工质量也需严格控制。为确保混凝土的抗震性能，设计时应优化其配比，控制水灰比和养护过程，避免由于混凝土强度不足而导致剪力墙的破坏。同时，钢筋的配置应根据剪力墙的受力情况进行精确设计，增加纵向钢筋和横向钢筋的配筋密度，以提高墙体的抗裂和抗变形能力。在构造设计方面，合理设置墙体的构造细节是确保剪力墙抗震性能的关键。建议在节点设计上，应避免出现剪力墙与其他结构的连接不紧密或构造不合理的情况，保证连接部位的强度与延性^[5]。同时，在墙体受力较大的区域，应通过设置加强带、加密钢筋等方式，增强剪力墙的抗剪和抗弯能力，避免在地震中发生脆性破坏。对于高层建筑中使用的剪力墙，还应考虑到后期施工和养护过程中材料性能的变化。例如，针对可能出现的混凝土收缩裂缝问题，在设计时合理配置抗裂钢筋或采取收缩控制措施，减少裂缝对结构整体性能的影响。此外，为应对不同地震条件，设计者可根

据建筑的具体位置，选择合适的阻尼设备和减震材料，进一步提高剪力墙的抗震性能。

四、实践案例分析

某高层住宅建筑位于地震烈度较高的区域，建筑总高度约 93 米，包含 2 层底层商业和 31 层住宅，其中标准层层高为 3 米。建筑设计要求应对 8 度抗震设防烈度，基本地震加速度为 0.20g。由于该建筑位于 III 类场地，且建筑特征周期为 0.55s，设计团队面临较大的抗震压力。为确保建筑结构在地震作用下的稳定性，剪力墙结构构成了设计中的核心方案之一。

在设计初期，建筑采用了传统的框架结构方案，但由于框架结构的抗震性能无法满足高烈度地震的要求，设计团队决定采用剪力墙结构来增强抗震能力。利用数值分析，设计团队对剪力墙的布置进行了优化。在建筑核心筒区域，剪力墙采用了矩形和 T 形结合的形式，优化墙体分布，增强剪力墙的承载能力和刚度。特别地，设计中考虑了建筑功能需求与空间利用问题，部分剪力墙进行了开洞处理。为确保开洞部分的抗震性能，设计师还通过加固周围墙体和引入抗弯、抗剪能力较强的钢筋配置，从而保证墙体的整体稳定性。

通过剪力墙的优化设计，该建筑的抗震性能得到了显著增强。抗震模拟结果显示，优化后的剪力墙结构使得建筑在强烈地震作用下的最大位移减少了约 20%，显著提高了建筑的安全性。最终，建筑在符合国家抗震设计规范的同时，其抗震等级也达到一级标准。

结语

剪力墙结构作为高层建筑抗震设计的核心组成部分，其抗震性能受到多种因素的影响。通过深入分析，本文提出了针对性的优化设计方法。在几何形状优化方面，通过调整纵横比、选择合适的形状以及合理布置剪力墙，能有效提高剪力墙的抗震能力；在剪力墙与框架耦合优化方面，对两者刚度匹配与连接方式的进行调整，可确保它们协同分担地震荷载；在材料性能与构造优化方面，选择高强度和高延性的材料，并合理配置钢筋，能够确保剪力墙具备足够的强度与变形能力。未来，随着建筑技术的进步和地震力学研究的深化，剪力墙结构的抗震设计将趋于更加精细化和高效化。

参考文献

- [1] 罗宜健. 高层建筑剪力墙结构优化设计分析 [J]. 房地产世界, 2023, (11): 40-42.
- [2] 李晨. 剪力墙结构抗震设计及施工技术应用研究 [J]. 新城建科技, 2024, 33 (08): 146-148.
- [3] 陈光华. 高层建筑剪力墙结构优化设计分析 [J]. 低碳世界, 2024, 14 (03): 88-90.
- [4] 徐丽丽, 陈建辉. 基于抗震概念设计的剪力墙高层住宅计算控制研究 [J]. 工程抗震与加固改造, 2023, 45 (02): 71-76+82.
- [5] 于志强. 某高层建筑剪力墙结构抗震性能不足与加固措施分析 [J]. 四川水泥, 2024, (08): 177-179.