

高层建筑钢板剪力墙结构抗震性能研究

罗宇淳

广州市设计院集团有限公司, 广东 广州 510620

DOI:10.61369/ADA.2025010001

摘要： 本研究重点研究高层建筑中钢筋混凝土钢板剪力墙结构的抗震性能，选取一栋21层公寓为研究对象，从剪力墙布置原则、厚度设计、构造措施、弹塑性力学响应等方面进行分析。通过构建钢板混凝土剪力墙和普通混凝土剪力墙的对比试验模型，结合静力动力加载模拟，科学评估钢板剪力墙在地震作用下的受力特性。研究对比表明，钢板混凝土剪力墙在抗压强度、抗拉性能及延性指标方面均优于传统剪力墙结构，其承载力提升达20%以上，滞回曲线饱满，刚度退化率更低，表现出较强的变形协调能力。研究成果表明，该结构体系能够增强高层建筑在强震作用下的整体稳定性，比普通混凝土剪力墙结构拥有更好的结构延性，为复杂高层结构抗震设计优化提供参考。

关键词： 高层建筑；钢筋混凝土剪力墙；钢板混凝土剪力墙；抗震性能

Research on Seismic Performance of Steel Plate Shear Wall Structure in High-Rise Buildings

Luo Yuchun

Guangzhou Design Institute Group Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510620

Abstract： This study focuses on the seismic performance of reinforced concrete steel plate shear wall structures in high-rise buildings. A 21 story apartment building is selected as the research object, and analysis is conducted from the aspects of shear wall layout principles, thickness design, structural measures, and elastic-plastic mechanical response. By constructing a comparative experimental model between steel plate concrete shear walls and ordinary concrete shear walls, combined with static dynamic loading simulation, the stress characteristics of steel plate shear walls under earthquake action are scientifically evaluated. Research comparison shows that steel reinforced concrete shear walls are superior to traditional shear wall structures in terms of compressive strength, tensile performance, and ductility indicators. Their bearing capacity is increased by more than 20%, the hysteresis curve is full, the stiffness degradation rate is lower, and they exhibit strong deformation coordination ability. The research results indicate that this structural system can enhance the overall stability of high-rise buildings under strong earthquake action, and has better structural ductility than ordinary concrete shear wall structures, providing reference for seismic design optimization of complex high-rise structures.

Keywords： high-rise buildings; reinforced concrete shear wall; steel plate concrete shear wall; seismic performance

引言

随着我国城市化进程持续推进，高层建筑数量迅速增长，结构抗震性能成为工程设计中的关注点。剪力墙作为高层建筑中承担水平地震作用的重要构件，其受力性能、延性表现、承载能力直接关系到整体结构的安全性。传统钢筋混凝土剪力墙在强震作用下容易出现脆性破坏模式，表现为墙体底部剪切破坏、钢筋屈曲、混凝土压溃等现象，严重限制其在高烈度设防区的应用，所以研究具有高抗侧刚度的新型剪力墙体系已经成为结构工程领域的重要方向。钢板混凝土剪力墙作为一种复合结构形式，通过在混凝土墙体中设置钢板，有效提升了结构在循环荷载下的滞回性能，在提高极限承载力的同时，有效增强结构延性。基于此，本文将某13层高层公寓项目作为研究对象，根据钢板混凝土剪力墙的布置策略、截面厚度匹配原则及构造细节优化方法展开分析，探讨其在地震作用下的受力机理，在形成可复制的设计流程。

一、工程概况

本项目为一栋21层高层建筑，总高度81m，项目位于广州市海珠区，抗震设防烈度为7度（0.1g），设计地震分组为第一组，场地类别为II类，基本风压0.55kN/m²。结构体系采用钢筋混凝土剪力墙结构，结构平面布置见（图1），工程设计依据JGJ3-2010《高层建筑混凝土结构技术规程》其中剪力墙全部按照二级抗震要求进行设计，确保在地震作用下的结构安全性。基础形式采用筏板基础，提高地基承载力，实现上部荷载的有效传递，满足复杂受力工况下的稳定性需求。结构构件设计中要充分考虑刚度、强度、延性等要素，通过合理配置墙体厚度、配筋率、连梁刚度、控制结构变形模式，避免出现局部破坏引发的连续倒塌效应。同时，结合GB50011-2010《建筑抗震设计规范》对于地震作用进行多遇地震验算，确保结构在不同地震动输入下的安全性。

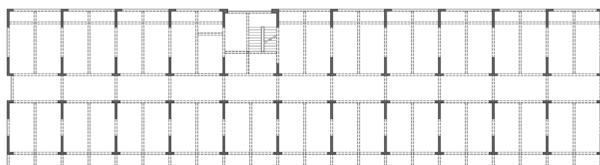


图1 项目平面图

二、设计要点

（一）结构布置

本项目为21层钢筋混凝土剪力墙结构，总高度81m，其横向抗侧力体系主要由沿Y向纵深方向布置的剪力墙构成，形成主控受力方向的刚度支撑系统，能够满足JGJ3-2010《高层建筑混凝土结构技术规程》的结构体系要求，有效增强建筑在地震作用下的变形协调能力。在剪力墙之间采用等宽连梁连接，形成连续的空间受力体系，全面加强结构整体性，并通过合理的刚度分布控制楼层位移角，避免出现局部应力集中现象。此外，结合场地7度设防烈度要求，在设计中充分考虑风荷载、地震作用下的协同响应，优化剪力墙平面布局，使其在水平力作用下具备良好的抗扭性能。

在材料选型与构造措施方面，本项目底层、标准层剪力墙均采用C60高强混凝土，墙体厚度统一设定为400mm，纵向受力钢筋采用HRB400级螺纹钢，箍筋选用HPB400级螺纹钢，用于提高节点区抗剪能力。对于结构关键部位，如建筑角部，楼梯等大开洞周边竖向构件插入型钢板，通过在混凝土墙体中设置高强度钢板，全面加强构件在反复荷载下的耗能能力。钢板厚度根据各楼层受力分析结果进行差异化配置，通常设置20~40mm，钢板与混凝土之间采用锚固件进行协同工作，防止界面滑移降低其承载力。但值得注意的是，在设计过程中整体结构需满足《高层建筑混凝土结构技术规程》规范中对位移比，层间位移角，周期比，有效质量参与系数等整体指标要求，同时也要满足构件配筋

率、轴压比、剪跨比等限值要求，确保结构同时满足正常使用承载力要求和极限状态承载力要求。

（二）厚度选择

在本工程中，通过盈建科软件计算出剪力墙满足规范要求的最小厚度为650mm，但在实际应用中由于建筑空间限制，无法设置650mm厚的剪力墙，因此本项目采用钢板混凝土组合剪力墙形式，在传统混凝土墙体基础上设置高强度Q345钢板，形成钢-混凝土协同工作机制，增加剪力墙的抗弯、抗剪、延性应用效果。本工程剪力墙总厚度设定为400mm，其中钢板厚度20mm，两侧各设置20mm混凝土保护层，其他核心区域由C50高性能混凝土填充，在保证施工可操作性的基础上，有效加强墙体的抗压强度。在确定剪力墙厚度时，设计人员采用公式分析底部加强区剪力墙的抗弯承载力：

$$M_c = M_c + M_s \quad (1)$$

其中： M_c 表示混凝土部分贡献的抗弯能力， M_s 则为钢板部分的力学贡献。研究表明，引入钢板有效增强墙体在反复荷载作用下的滞回耗能能力，能够提高剪力墙在塑性铰区的承载能力。在本工程中，混凝土强度等级为C60，屈服强度与弹性模量均优于普通C30~C40混凝土；钢板材料选用Q345型碳素结构钢，其屈服强度达345MPa，极限抗拉强度不低于410MPa，具备良好的焊接性能与变形协调能力。通过有限元建模与Pushover分析，验证该类剪力墙在地震作用下抗弯承载力超出设计基准值1.5倍以上，满足现行《建筑抗震设计规范》的要求。

（三）钢板混凝土剪力墙的构造

1. 边缘构造

本工程在剪力墙端部增设型钢混凝土边柱作为受力构件，采用H400×200×8×13规格型钢（屈服强度345MPa），通过型钢与混凝土的复合效应显著增强墙体边缘区域抗剪抗弯性能。该构造和钢板剪力墙形成协同作用机制，在提升结构稳定性的同时，全面优化抗震延性指标。工程人员通过实测发现，型钢混凝土柱与钢板墙的组合设计使结构耗能能力提升25%，且未增加施工复杂度。技术人员为了提升边缘构件对抗集中应力的能力，采取了多项构造强化措施，在节点区域设置加强型钢筋网片，箍筋采用封闭式构造并按100mm间距布置，钢筋直径12mm，形成抗剪性能优异的约束体系；钢板和边缘构件通过6mm预埋连接板实现可靠锚固，焊接工艺采用连续焊缝处理，焊缝厚度控制3mm，确保钢板和边缘构件之间应力的相互传递。这种构造优化方案通过增强节点区约束效应和界面传力效率，显著提升了结构薄弱部位的整体稳定性。考虑到施工可操作性，每米范围内箍筋和连接板的接触点数量控制在8个以内，避免焊接密集度过高带来的热影响区叠加问题。墙体分布钢筋采用直径10mm、间距200mm的配筋方案，依据规范要求的关键部位进行局部加密处理，有效加强墙体裂缝控制。

2. 墙身构造

为了防止二者之间出现滑移现象，本工程依据GB50011-2010《建筑抗震设计规范》要求，在钢板和混凝土之间设置抗剪

栓钉，有效增强界面传力能力，提高建筑的整体受力性能。栓钉采用直径16mm、长度80mm的圆柱头焊钉，按照梅花形布置，水平和竖向间距均为300mm，形成均匀的剪力传递路径，有效提升墙体在地震作用下的变形协调能力。同时，墙身配置双层分布钢筋网片，纵向横向钢筋直径均为8mm，间距150mm，提高混凝土对于钢板的约束效应，科学优化裂缝控制机制。针对水平竖向拉筋的连接问题，钢板预留直径10mm连接孔，钢筋穿孔后和钢板间隙控制在2mm以内，提高连接的可靠性。结合钢板截面面积 A_s 和屈服强度 f_y ，依据公式计算钢板部分的抗剪承载力，结果表明其抗剪能力较普通混凝土剪力墙提高近2倍，大幅度增强墙体在罕遇地震下的耗能表现^[1]。

$$V_s = A_s f_y \quad (2)$$

式中： A_s 表示钢板截面面积； f_y 为钢板的屈服强度。

三、试验分析

（一）试验内容

本试验采用1:2比例缩尺模型进行静力动力加载分析，分析墙体在复杂受力状态下的力学响应。剪力墙厚度设定为400mm，采用C60高强混凝土，配筋方案中水平分布筋为HRB400E级 $\Phi 10$ 钢筋，竖向分布筋为 $\Phi 12$ ，间距统一控制为200mm，确保钢筋骨架的整体工作能力。为了提升抗剪承载力，在试验模型中引入Q345B型钢及20mm厚钢板剪力墙，在关键部位形成钢-混凝土组合构造，增强构件在循环荷载作用下的耗能能力。抗剪栓钉按竖向300mm间距焊接于钢板表面，将钢板和混凝土进行连接，防止界面滑移产生承载力下降。墙体底部采用嵌固式基础模拟实际工程中的边界条件，提高试验结果的工程适用性^[2]。

（二）钢板混凝土剪力墙 N-M 曲线及剪压比分析

本文基于JGJ3-2010《高层建筑混凝土结构技术规程》相关计算方法，结合有限元模拟，分析第1层墙体进行N-M曲线，验证其在不同受力状态下的承载能力^[3]。本研究构建的剪力墙模型截面尺寸为2000mm×3000mm，纵向钢筋配筋比2.2%。技术人员在墙体中部嵌入20mm厚Q345B级钢芯，抗剪连接件采用竖向间距300mm的栓钉布置方案。通过N-M曲线对比分析发现，没

有配置钢芯的普通混凝土墙承载力曲线明显内缩，和规范要求的内力包络线存在较大偏差；而组合构造墙体在相同轴力作用下，极限抗弯能力提升50%，抗压承载力增强40%（见图2）。特别在大震条件下，墙体轴向拉力承载力增幅达470%，抗压承载力亦提高45%，体现出良好的滞回耗能能力。进一步分析剪压比变化趋势，发现扣除钢板贡献后，混凝土部分的剪压比下降20%，显著改善了墙体在剪切控制工况下的受力稳定性，科学降低脆性破坏风险^[4]。

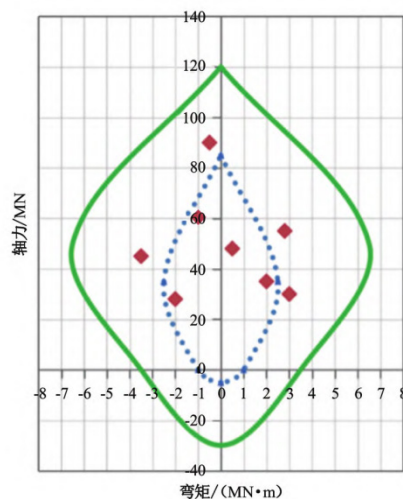


图2 钢板混凝土剪力墙的 N-M 包络曲线

四、结语

通过优化钢板布置方式，加强边缘构件构造，不仅增强了剪力墙的抗侧刚度和变形协调能力，也提高了结构体系在复杂受力状态下的稳定性。本研究基于理论分析、数值模拟、试验验证相结合的方法，提出了高层建筑的钢板混凝土剪力墙设计技术路径，为工程实践提供了可操作的技术支撑。然而，该类结构在实际工程应用中仍然存在各种问题，需要进一步开展精细化设计研究。在未来研究中，设计人员要结合BIM建模和AI辅助优化算法，推动剪力墙结构设计由经验向数据化方向发展，提升结构安全性，为高烈度区高层建筑提供系统化的抗震解决方案。

参考文献

- [1] 方兆平. 高层建筑钢筋混凝土剪力墙结构设计分析[J]. 中国住宅设施, 2024(5):41-43.
- [2] 杨磊. 高层建筑钢筋混凝土剪力墙结构设计[J]. 新材料新装饰, 2020, 2(14):39-40.
- [3] 李永淳. 探究高层建筑钢筋混凝土剪力墙结构设计[J]. 新材料·新装饰, 2023, 5(9):123-126.
- [4] 高扬. 高层建筑工程中的钢筋混凝土剪力墙结构设计分析[J]. 中国水泥, 2025(3):76-79.
- [5] JGJ3-2010. 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [6] GB 50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [7] GB 50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.