

高层建筑剪力墙结构设计关键技术研究

何 飞

天津房鉴院建筑工程质量检验检测有限公司 天津 300074

【摘要】：高层建筑框架-剪力墙结构需兼顾空间灵活性、抗震能力与复杂环境适应性，设计与施工面临多重技术挑战。以某大型商业综合体为研究对象，聚焦结构安全与功能融合核心目标，采用剪力墙协同布置、关键构件参数优化及“钻孔灌注桩+筏板”基础选型的设计方案，结合模板体系升级、钢筋定位精准控制及混凝土工艺革新等施工技术，实现结构刚度均衡、沉降有效控制与抗震性能达标。相关技术路径与实践经验，为同类工程提供了可靠参考。

【关键词】：框架-剪力墙结构；结构设计；施工技术；沉降控制；抗震性能

DOI:10.12417/2811-0536.26.04.003

城市化进程加速，核心区域商业综合体朝着高层化、多功能化方向发展，对结构体系的空间适配性、抗震可靠性与复杂环境适应性提出严苛要求。框架-剪力墙结构兼具框架的空间灵活性与剪力墙的强大抗侧力性能，已成为高层建筑的主流选型，但在临近敏感设施、复合地层等复杂条件下，仍存在刚度匹配失衡、基础沉降超限、构件功能冲突等技术难题。此类问题若处理不当，易引发结构安全隐患，制约建筑功能的充分发挥。本文以核心商圈某商业综合体为工程载体，聚焦结构与施工的关键技术痛点，系统探析剪力墙布置、构件优化、基础选型及施工质量控制的技术路径，为同类高层建筑框架-剪力墙结构工程提供技术支持。

1 高层建筑剪力墙结构设计核心问题剖析

1.1 结构刚度均衡与抗侧力需求的矛盾解析

结构刚度均衡与抗侧力需求的矛盾贯穿高层建筑剪力墙结构设计全过程，核心源于建筑高度提升与水平荷载作用显著增强。风荷载、地震作用等水平力影响下，高层建筑结构侧移控制成为关键指标，剪力墙作为主要抗侧力构件，布置密度与分布方式直接决定刚度分布状态^[1]。剪力墙集中布置易导致局部刚度突变，引发结构应力集中；分散布置则可能削弱整体抗侧能力，难以满足高宽比超限侧移限值要求。不同楼层刚度需求存在差异，底部需抵御更大水平剪力与倾覆力矩，需强化刚度，上部过度刚度会增加结构自重与地震响应，通过剪力墙层级化布置与刚度梯度调整，实现整体刚度均匀过渡，平衡抗侧力性能与结构动态响应，是技术层面需破解的核心矛盾。

1.2 构件尺寸优化与建筑功能适配的核心难点

高层建筑设计中，构件尺寸优化与建筑功能适配冲突突出。剪力墙厚度、框架梁柱截面尺寸选择，需

在结构承载需求与建筑使用功能间寻求平衡。增加剪力墙厚度可提升抗侧刚度与承载力，却占用大量空间，影响楼层净高、区域布局灵活度及设备间适配；框架梁按传统比例设计易超出净高标准，制约空间利用效率。核心筒剪力墙边缘约束构件尺寸设计面临困境，过大挤压空间，过小无法满足抗震构造要求。通过截面形式优化、材料强度升级等技术，保障构件承载能力与延性同时缩减占用空间，实现结构与功能适配，是需重点攻关的难点。

1.3 复杂地质条件下基础沉降控制的关键挑战

复杂地质条件下，高层建筑基础沉降控制面临诸多技术难题。此类建筑地下结构深、荷载集中，需应对软土-砂砾复合地层、临近敏感设施等复杂工况：软土高压缩性与不均匀性易引发差异沉降，导致上部结构开裂、节点失效；砂砾地层影响桩基成孔质量与承载力稳定性。项目紧邻地铁隧道时，沉降需严格控制在安全阈值内，避免对隧道产生附加应力与变形。基础选型需综合地层承载力、荷载传递路径及沉降控制目标，单一基础形式难以适配，通过桩筏组合体系、隔离桩设置、后浇带工艺等技术，协调地基变形、降低差异沉降、保障基础长期稳定与承载可靠，是该类区域高层建筑设计的关键挑战。

1.4 抗震性能达标与结构自重平衡的突出问题

高层建筑抗震性能达标与结构自重平衡矛盾，核心是抗震延性要求与结构轻量化技术冲突。建筑抗震需遵循“强柱弱梁、强剪弱弯、强节点弱构件”原则，关键构件需增加配筋率、设置边缘约束构件、优化节点构造提升延性与耗能能力，这些措施直接增加结构自重^[2]。自重增大会提升地震惯性力，加大结构破坏风险，同时增加基础承载压力、提高造价。选用高强度材料、优化构件截面与配筋方案，借剪力墙与框架协

同受力设计合理分配地震作用，实现二者动态平衡，是设计需重点解决的技术问题。

2 高层建筑剪力墙结构设计关键技术应用

2.1 剪力墙协同布置与抗侧力体系优化技术

剪力墙协同布置与抗侧力体系优化技术以整体刚度均衡与受力协同为核心，科学规划剪力墙分布位置与框架柱网参数实现抗侧性能提升。将剪力墙集中安置于塔楼核心地带，把电梯井、设备间以及消防楼梯整合起来，构建出高效的抗侧力单元，沿主楼核心区域呈环向均匀分布，于塔楼四角额外增设 L 形翼墙，增强结构的抗扭性能。框架柱网依据建筑功能的不同需求进行差异化设定，采用 8.4m×8.4m 的标准柱距以及 9m×9m 柱距，在塔楼底部配置 1.8m×2.2m 的巨型柱以强化竖向承载能力，框架梁高度严格按照跨度的 1/12 至 1/15 加以控制，以此确保商业楼层净高能够达标。运用 ETABS 三维有限元模型与 SATWE 双软件协同开展分析工作，对剪力墙与框架的刚度匹配关系进行优化，使结构在小震作用下 X、Y 向最大层间位移角分别被控制在 1/890、1/870，扭转位移比降低至 1.18，实现抗侧力体系与建筑功能深度融合，技术路径为大空间高层建筑抗侧力体系设计提供精准优化方法，刚度梯度优化思路对同类工程具有直接参考价值。见图 1。

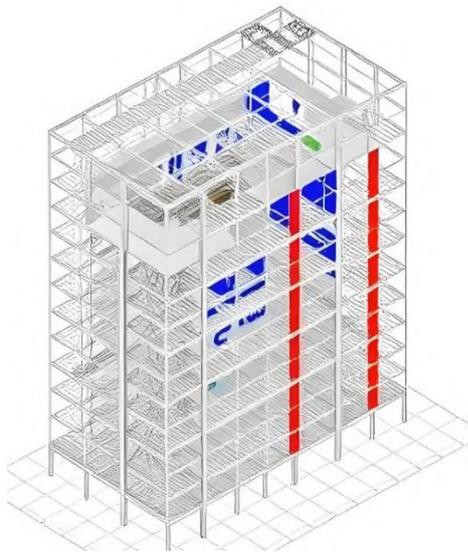


图 1 三维有限元模型

2.2 核心构件截面参数与边缘约束设计技术

核心构件截面参数与边缘约束设计聚焦承载能力与延性提升，依托精细化参数设计与强化约束构造实现性能优化。核心筒剪力墙实施厚度梯度优化策略，自底部 800mm 逐步缩减至顶部 400mm，在协调刚度

需求与结构自重关系时，设置 600mm×800mm 端柱以及 1m 宽暗梁构建强约束边框，有效增强延性与耗能能力，外框架柱首层采用 1.2m×1.2m 截面规格并使用 C50 高强混凝土，将角柱配筋率提升到 3%，全程加密箍筋以强化约束效果与抗震性能^[3]。转换层选用 1.8m 高实腹转换梁衔接巨型柱与核心筒，于梁端设置 2000mm×2500mm 大尺寸加腋，改善应力传递途径，缓解应力集中状况，核心筒转角采用斜向拉筋办法，经过 ABAQUS 节点精细化模拟验证，能够使应力集中系数降低 0.28，削减混凝土受压损伤面积达 35%。该技术借构件截面与约束构造协同优化，为关键构件设计提供量化指标与构造范式，参数取值与构造细节对提升构件抗震可靠性具有重要学术价值。

2.3 适配复杂工况的基础选型与沉降控制技术

适配复杂工况的基础选型与沉降控制技术，面对复杂地质条件以及敏感环境的约束，搭建“钻孔灌注桩+筏板+隔离桩+后浇带”协同控制体系，基础选型依据地质勘测报告来确定，将中风化砂砾岩层选为持力层，在塔楼区域采用桩径为Φ1200mm、桩长 45m 的钻孔灌注桩，单桩承载力特征值能达到 18000kN，裙房区域则选用桩径Φ800mm、桩长 38m 的灌注桩，同时在桩顶设置 2.5m 厚 C40 钢筋混凝土筏板，在板底铺设 200mm 厚素混凝土垫层以协调地基变形情况，为控制地铁振动影响和差异沉降问题，于筏板边缘设置 1.5m 宽后浇带并延迟封闭处理，还沿地铁侧布设 30 根 Φ600mm 隔离桩从而形成减震屏障，以此保障建筑在复杂环境下的稳定性与安全性。通过建立桩-土-地铁隧道耦合模型预测沉降，技术实现复杂工况下基础沉降与振动双重控制，组合体系设计思路与参数优化方法，对临近敏感设施、复合地层条件下的高层建筑基础设计具有重要借鉴意义。

2.4 抗震性能强化的节点构造与应力优化技术

抗震性能强化的节点构造与应力优化，依托节点精细化设计与应力传递路径优化提升结构整体抗震可靠性^[4]。在转换梁和框架柱的交接部位，运用柱筋穿孔以及梁筋分层的工艺，预埋 Φ40mm 的 PVC 套管，以此防止钢筋碰撞造成应力集中现象，于核心筒连梁和翼墙转角之处，采用放射状拉结筋来取代传统的矩形箍，增强节点协同承受荷载的能力。对于梁柱节点区域，选用同强度的自密实混凝土，借助高位溜槽灌注，规避混凝土离析问题的出现。核心筒剪力墙边缘约束构件采用加密箍筋与端柱组合构造，形成强节点弱构件模式。大震弹塑性时程分析显示，核心筒剪力墙塑性铰集中于底部 1~5 层，框架柱无严重损伤，结

构最大弹塑性层间位移角 1/145。技术为高层建筑抗震设计提供技术支撑，具备重要工程应用与学术推广价值。

3 高层建筑剪力墙结构设计技术实践验证

3.1 结构整体刚度与抗侧力性能验证

结构整体刚度与抗侧力性能验证依托三维有限元建模与双软件协同分析技术，构建反映结构实际受力状态的 ETABS 模型，结合 SATWE 软件交叉验证，确保分析结果可靠。验证选取 2 组天然波与 1 组人工波开展大震弹塑性时程分析，重点监测水平荷载作用下层间位移角、扭转位移比及塑性铰发展规律。计算结果显示，在小震影响时，X 向最大层间位移角达到 1/890，Y 向为 1/870，扭转位移比被控制于 1.18，达成刚度均衡设计的标准。大震来袭，结构最大弹塑性层间位移角达到 1/145，核心筒剪力墙塑性铰主要集中在底部 1 至 5 层，契合“强墙弱梁”的设计预期，塔楼四角额外增设的 L 形翼墙，让结构扭转周期比降低至 0.82，抗扭性能提升 25%，验证方法通过多软件、多工况系统分析，为结构整体性能评估提供科学依据，测试指标与分析流程对同类工程具有重要参考价值。

3.2 关键构件承载能力与延性达标检测

关键构件承载能力与延性达标检测采用实体钻芯检测、节点精细化模拟与现场荷载试验结合的技术路径，全面验证核心构件力学性能^[5]。对核心筒剪力墙、框架柱及转换梁等关键构件随机钻芯取样，检测结果显示混凝土强度满足设计要求，碳化深度控制在合理范围。借助 ABAQUS 软件对核心筒转角节点精细模拟，验证斜向拉筋方案对比传统箍筋，可以把应力集中系数降低 0.28，减少混凝土受压损伤面积 35%，显著提升节点延性。框架柱现场检测显示，配筋率达标且全高加密箍筋约束效果良好，构件延性系数满足抗震设计规范要求。转换梁加固构造经荷载试验验证，应力传递路径合理，无明显应力集中，竖向承载力完全达标。该检测技术借助多维度验证手段，确保关键构件性能可靠性，检测方法与评价标准为构件质量控制提供技术支撑。

3.3 基础沉降与差异沉降控制效果评估

基础沉降与差异沉降控制效果评估依托专门建立的桩-土-地铁隧道耦合模型，充分复刻复杂地质条件下地基、基础与周边敏感设施的相互作用机理，实现对施工全过程沉降的动态预测与实测验证。在基础施工阶段，围绕塔楼核心区域、地铁侧筏板边缘及隧道顶部等关键风险位置，科学布设高密度、高精度沉降

观测点，采用自动化监测设备与人工复核相结合的方式，对沉降数据进行持续采集与实时分析，确保及时捕捉沉降变化趋势。针对复杂工况下的差异沉降与振动影响难题，通过筏板边缘后浇带延迟封闭技术，有效协调地基不均匀变形，大幅降低结构差异沉降风险；沿地铁侧布设的隔离桩形成专属减震屏障，显著减弱施工及运营期振动对隧道的不利影响，使施工期隧道收敛变形严格控制在规范允许范围。该评估技术通过数值模拟的前瞻性预测与现场实测的精准校验协同分析，实现对基础方案沉降控制效果的量化评估，所构建的监测体系与确立的评价指标，为同类复杂地质条件、临近敏感设施的高层建筑沉降控制设计与施工提供了科学且可行的参考依据。

3.4 实际工程应用中的技术适配性验证

实际工程应用技术适配性验证聚焦结构与施工技术在紧邻地铁、结构改造与工期协同三重复杂工况下的实际应用效果，以现场实测数据为核心支撑，结合动态调整机制，全面确保技术方案的可行性与场景适配性。验证过程贯穿项目施工全周期，重点针对模板体系、钢筋工程及混凝土工艺三大关键环节展开系统校验。模板工程经优化升级后，墙体垂直度偏差、表面平整度均严格契合规范限值，梁柱节点区混凝土浇筑密实无缺陷，构件截面尺寸合格率达到行业较高水准；钢筋工程中，通过精准定位与工艺管控，钢筋保护层厚度合格率、连接接头一次验收通过率均满足既定质量标准，保障了钢筋工程的稳定性与可靠性；混凝土工程采用分层浇筑、差异化养护等针对性技术措施，有效控制核心筒墙体冷缝产生，确保筏板无贯通裂缝，提升了混凝土结构的整体性与耐久性。该验证过程依托施工现场实时监测与动态技术适配，充分验证了设计方案的工程实用性，积累的技术调整与场景适配经验，为类似复杂工况下的高层建筑工程实践提供了宝贵借鉴。

4 结语

框架-剪力墙结构的设计与施工质量直接决定高层建筑的安全性能与功能价值，需充分协调结构刚度、承载能力与建筑需求的关系。科学的剪力墙协同布置、核心构件精细化设计及适配复杂工况的基础选型，可有效解决刚度失衡、沉降控制等核心难题。模板、钢筋、混凝土等关键施工环节的技术优化，能进一步保障结构施工质量与整体性能。相关技术路径与实践经验，实现了结构安全、功能适配与环境协调的统一，为同类高层建筑框架-剪力墙结构的设计与施工提供切实可行的参考，具备显著的工程应用与推广价值。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 仇玉龙.剪力墙结构在高层住宅建筑中的优化设计与施工技术[J].城市开发,2025,(15):132-134.
- [3] 刘美林.某高层建筑框架剪力墙结构设计及关键施工技术[J].砖瓦,2025,(11):140-142.
- [4] 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.
- [5] 张凡.剪力墙结构高层建筑施工技术[J].居舍,2022,(15):63-65.