

浅析高层建筑结构选型设计及建筑结构优化设计

彭永洪

四川博达控股集团有限责任公司 四川 内江 641000

摘要：高层建筑结构选型设计需综合考量安全性、经济性、适用性与美观性，结合场地、功能及地质条件等要素。优化设计则聚焦提升抗震抗风性能、降低材料成本、缩短施工周期及兼顾全生命周期经济性。通过参数化设计、拓扑优化等技术路径，结合结构布置、构件截面等优化策略，实现结构性能与经济性的平衡。同时，需应对复杂结构分析、多目标优化矛盾及规范约束等挑战，以推动创新设计落地。

关键词：高层建筑；结构选型设计；建筑结构；优化设计

引言：随着城市化进程的加速，高层建筑如雨后春笋般涌现，其结构选型设计与优化成为保障建筑安全、经济与功能适用的关键。结构选型需兼顾安全性、适用性、经济性与美观性，同时受场地条件、建筑功能、地质状况等因素制约。而结构优化设计则致力于在满足安全的前提下，提升材料利用效率、缩短施工周期并降低全生命周期成本。本文旨在探讨高层建筑结构选型与优化设计的策略及协同机制，为实践提供参考。

1 高层建筑结构选型设计基础

1.1 结构选型原则

(1) 安全性是核心前提，需通过合理结构体系抵御重力、风荷载、地震作用等，确保在极端工况下不发生倒塌；经济性要求在满足安全的基础上，优化材料用量与施工成本，避免过度设计，同时兼顾全生命周期运维费用；适用性需匹配建筑功能需求，保证内部空间满足使用舒适度，如层高、开间尺寸等符合各类场景要求；美观性则需协调结构形态与建筑造型，使结构构件与立面设计、空间美学相融合，避免结构与建筑外观冲突。(2) 场地条件直接影响结构选型，如软土地基需考虑结构抗沉降能力，山地场地需结合地形优化基础形式；抗震设防要求需严格遵循当地抗震规范，高烈度区应优先选择侧向刚度大、延性好的结构体系，如剪力墙结构、筒体结构，同时通过抗震等级划分、构件配筋设计等满足设防目标。

1.2 常见结构体系分析

(1) 框架结构适用高度有限，一般民用建筑中，钢筋混凝土框架结构适用高度约30m，钢结构框架可达60m；空间布局灵活，可实现大跨度、大开间，适合商场、办公楼等对空间分隔需求高的建筑，但侧向刚度较弱，抗侧移能力较差。(2) 剪力墙结构侧向刚度大，抗侧移性能优异，适合住宅等小开间建筑；但空间限制明显，难以满足大跨度、灵活分隔的需求，墙体布置密集

也会增加建筑自重。(3) 框架-剪力墙结构通过框架与剪力墙协同工作，框架承担竖向荷载，剪力墙承担水平荷载，兼具框架结构的灵活性与剪力墙结构的抗侧性能，适用范围广，是多高层办公、住宅建筑常用体系。

(4) 核心筒结构空间利用率高，抗侧刚度强，但外围构件受力较大；框筒结构由外围密柱深梁形成抗侧筒体，内部空间灵活，适合超高层建筑；束筒结构由多个筒体组合而成，抗扭性能优异，但设计与施工复杂度高。

(5) 巨型结构体系通过巨型梁、柱、桁架等构件形成主要受力体系，内部可布置次结构，创新性强，能满足大跨度、复杂造型需求；但施工难度大，对材料性能与施工技术要求高，成本也相对较高。

1.3 结构选型影响因素

(1) 建筑功能需求决定结构布局，如商业建筑需大跨度无柱空间，宜选框架或巨型结构；住宅建筑注重私密性与小开间，剪力墙结构更合适；混合用途建筑需平衡不同功能区域的空间需求，框架-剪力墙结构较为适配。(2) 地质条件影响基础与结构选型，软土地基需控制结构自重，优先选钢结构；地震高发区需增强结构延性，避免选用刚度突变的体系；风荷载大的地区（如沿海）需提高结构抗风性能，筒体结构或巨型结构更优。

(3) 施工技术与材料可获得性制约选型，偏远地区若难以获取大型施工设备，不宜选巨型结构；若当地钢结构加工能力不足，钢筋混凝土结构更实际，同时需考虑材料运输成本与施工周期。(4) 建筑造型需与城市空间协调，异形、大悬挑造型需通过巨型结构或特种结构实现；高度较高的建筑需考虑对城市天际线的影响，结构体系也需适配造型的力学需求，避免为追求美观牺牲结构安全^[1]。

2 高层建筑结构优化设计方法

2.1 优化设计目标

(1) 结构安全性提升需聚焦抗震与抗风核心性能：抗震优化通过增强结构延性，如合理设置抗震缝、优化构件配筋率，避免地震作用下出现脆性破坏；抗风优化则针对风振响应，通过调整结构刚度分布、增设阻尼器，减少强风下的结构振动位移，确保高层建筑在极端风荷载下的稳定性。(2) 材料用量与成本降低需在安全阈值内精准控制：通过优化构件受力路径，减少冗余材料消耗，如在受力较小区域减小构件截面；同时对比不同材料性价比，在满足力学性能的前提下，优先选用低成本、高利用率的材料组合，避免因过度设计造成的成本浪费。(3) 施工效率与周期缩短需结合施工工艺优化：通过简化构件连接方式、减少复杂节点数量，降低现场施工难度；同时优化构件预制率，如采用装配式剪力墙、预制梁柱，减少现场浇筑作业量，缩短施工工期，提升整体施工效率。(4) 全生命周期经济性需兼顾短期建设与长期运维：除控制建设阶段的材料、施工成本外，还需考虑后期运维费用，如选用耐久性强的材料减少维修频次，优化结构布局便于设备检修，实现建筑全生命周期内的成本最优。

2.2 优化设计技术路径

(1) 参数化设计以BIM技术为核心支撑：通过建立包含结构尺寸、材料性能、荷载参数的BIM模型，实现参数实时联动调整，可快速模拟不同参数组合下的结构性能，如改变柱距、梁高后即时查看结构应力变化，大幅提升设计效率与精度。(2) 拓扑优化与形状优化方法聚焦结构形态优化：拓扑优化通过算法在给定区域内寻找最优受力路径，确定构件最优布置方案，减少无效结构区域；形状优化则针对构件轮廓进行调整，如优化梁的折线形截面、柱的异形截面，在保证强度的同时减少材料用量。(3) 性能化设计基于位移或能量准则开展：以结构位移限值为核心，优化构件刚度分布，确保正常使用与极限状态下的位移满足要求；基于能量准则时，通过调整结构耗能构件布置，提升结构抗震耗能能力，减少主体结构损伤。(4) 多目标协同优化平衡安全、经济与可持续性：建立多目标优化模型，通过算法求解最优方案，如在提升抗震性能的同时，控制材料用量与碳排放，兼顾结构安全性、经济性与环境可持续性，避免单一目标优化导致的整体性能失衡^[2]。

2.3 典型优化策略

(1) 结构布置优化注重平面与竖向规则性：平面布置避免不规则形状，减少应力集中区域，如将核心筒居中布置，优化抗扭性能；竖向布置保持刚度均匀变化，避免楼层刚度突变，降低地震作用下的薄弱层风险，提

升结构整体稳定性。(2) 构件截面优化精准调整梁、柱、墙的尺寸与配筋：根据构件受力大小，优化截面尺寸，如受力较大的框架柱采用大截面，受力较小的次梁减小截面；配筋优化则根据内力计算结果，精准配置钢筋，避免配筋过量，在保证强度的同时减少材料消耗。

(3) 连接节点优化合理选择刚接、铰接与半刚性连接：框架梁与柱优先采用刚接保证整体刚度，次梁与主梁可采用铰接减少节点复杂度；对于大跨度结构，采用半刚性连接平衡刚度与变形需求，提升节点抗震性能，降低施工难度^[3]。(4) 新型材料应用聚焦高性能混凝土与钢结构：采用C60及以上高性能混凝土，提升构件强度与耐久性，减小截面尺寸；推广轻量化钢结构，如钢框架-支撑体系，降低结构自重，同时钢结构可回收利用，符合可持续发展要求，尤其适用于大跨度、超高层结构。

3 高层建筑结构选型与优化设计的协同分析

3.1 选型对优化的约束作用

结构体系与优化空间的关联性显著，不同结构体系为优化设计划定了核心边界。例如，框架结构因侧向刚度较弱，优化空间多集中于构件截面调整与节点强化，难以通过优化突破抗侧性能上限；而筒体结构虽抗侧能力强，但优化受限于核心筒与外框的受力协同关系，若初始选型确定核心筒位置，优化时仅能微调尺寸，无法大幅改变布局。此外，结构体系还决定优化参数的可调范围，如剪力墙结构优化中，墙体间距与厚度需匹配体系受力逻辑，过度缩减墙体尺寸可能破坏整体刚度，相比之下，框架-剪力墙结构的优化空间更灵活，可通过调整框架与剪力墙的比例平衡性能与成本。

3.2 优化对选型的反馈调整

通过性能分析可修正初始选型，避免体系与实际需求脱节。在抗震性能分析中，若初始选用的框架结构在地震作用下位移超标，可通过增加剪力墙数量优化受力，但当优化后剪力墙占比过高时，需反馈调整选型为框架-剪力墙结构；在抗风性能分析中，若框筒结构的风振响应超出限值，优化外框柱间距效果不佳时，需考虑将选型调整为抗扭性能更强的束筒结构。此外，经济性分析也会推动选型修正，如初始选型的巨型结构优化后成本仍过高，且施工周期远超预期，可反馈调整为框架-核心筒结构，平衡性能与经济性^[4]。

3.3 案例分析：某超高层建筑实践

(1) 工程概况与结构选型依据：该建筑高度280m，功能为办公与酒店，地处7度抗震设防区、沿海强风区域。初始选型基于功能需求（大跨度办公区与小开间酒店客房）及抗风抗震要求，确定为框架-核心筒结构，核

心筒承担主要水平荷载,外框柱与梁承担竖向荷载及部分水平荷载。(2)优化设计过程:首先调整核心筒尺寸,原设计核心筒宽度12m,经受力分析后缩减至10m,同时加厚核心筒墙体边缘构件,保证抗侧刚度不降低;其次优化外框柱布置,将原均匀布置的外框柱调整为角部柱截面加大、中部柱截面减小,减少冗余材料,且通过BIM模型模拟验证,确保受力均匀。(3)优化前后性能对比:刚度方面,优化后结构顶点侧移由35mm降至30mm,满足规范限值;用钢量方面,外框柱用钢量减少8%,核心筒墙体用钢量减少5%,总用钢量降低6.5%;经济性方面,材料成本减少约720万元,同时因构件尺寸优化,现场施工效率提升10%,施工周期缩短15天。

4 高层建筑结构优化设计的挑战与对策

4.1 主要挑战

(1)复杂结构体系的分析难度显著提升:随着高层建筑造型愈发异形(如大悬挑、扭转形体),以及巨型结构、混合结构体系的应用,传统分析方法难以精准模拟结构受力状态。例如,束筒结构的多筒体协同工作机制、大跨度桁架与主体结构的连接受力,需考虑非线性、动力响应等多因素耦合,现有分析软件的计算精度与效率难以兼顾,易导致优化设计缺乏可靠数据支撑。

(2)多目标优化的矛盾性突出:刚度与成本的平衡尤为典型,提升结构抗侧刚度需增加构件尺寸或配筋量,直接导致材料成本上升;又如缩短施工周期可能需采用预制构件,但预制构件的定制化生产可能提高前期成本。此外,安全性与经济性、环保性与施工效率间也常存在冲突,单一目标优化易引发其他指标失衡,增加优化决策难度。(3)规范约束与创新的冲突明显:现行结构设计规范多基于传统体系制定,对新型结构(如模块化钢结构、自复位抗震结构)的设计要求尚不明确。若严格遵循现有规范,可能限制创新结构的应用;若突破规范尝试创新,又面临结构安全性验证难、审批流程复杂的问题,导致创新设计难以落地。

4.2 应对策略

(1)引入人工智能算法破解分析与优化难题:遗传算法可通过多代迭代求解多目标优化的最优解,平衡刚

度、成本等矛盾指标;神经网络能基于海量工程数据,快速预测复杂结构的受力性能,提升分析效率。例如,在框架-剪力墙结构优化中,AI算法可自动筛选构件截面尺寸与布置方案,兼顾安全性与经济性。(2)建立多学科协作团队打破专业壁垒:结构工程师与建筑设计师协同优化建筑造型,避免因造型复杂导致结构成本激增;与设备专业配合,优化管线布置,减少结构构件开孔对刚度的影响。通过定期跨专业沟通会,提前解决各专业间的冲突,如在核心筒设计中,同步考虑电梯井、管道井的布局与结构抗侧需求,提升整体设计合理性。(3)加强全生命周期设计理念化解短期与长期矛盾:在优化阶段综合考虑建筑施工、运维、拆除阶段的成本与环境影响,例如选用耐久性强的高性能混凝土,虽前期成本略高,但可减少后期维修费用;采用可回收钢结构,降低建筑拆除后的资源浪费。通过全生命周期成本分析,选择性价比最优的优化方案,避免仅关注短期建设成本而忽视长期效益。

结束语

高层建筑结构选型设计与优化设计是相互关联、彼此促进的有机整体。选型为优化划定边界,优化则推动选型完善。在实际工程中,要综合考虑多重因素,运用先进技术与策略实现结构性能与经济性的最优平衡。面对复杂结构分析、多目标优化矛盾等挑战,需借助人工智能、多学科协作及全生命周期理念等手段积极应对。如此,方能为高层建筑的安全、高效、可持续发展筑牢根基。

参考文献

- [1]武兆魁.高层建筑结构设计及某工程结构选型探讨[J].中国新技术新产品,2023,(04):34-36.
- [2]陈徐霞.高层建筑结构选型设计及建筑结构优化设计策略[J].门窗,2021,(07):89-90.
- [3]胡海波.高层建筑结构设计及优化方法研究[J].新材料·新装饰,2023,(14):119-122.
- [4]曹允佳.高层建筑结构设计及优化方法研究[J].工程与建设,2022,(16):164-166.