

高层建筑钢筋混凝土结构设计关键问题探究

朱秒兴

九易庄宸科技（集团）股份有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：高层建筑钢筋混凝土结构设计是一项系统工程，关键在于合理选择结构体系、优化布置，确保抗震抗风性能；处理超限结构挑战，通过精细化计算与分析保障安全；严格控制楼板应力集中与裂缝，以及短肢剪力墙与结构超高问题。设计需遵循安全可靠、经济合理原则，采取有效优化策略，如采用高强材料、细化抗震构造措施、设计优化转换层结构等，以提升高层建筑的整体性能和使用寿命。

关键词：高层建筑；钢筋混凝土结构设计；关键问题

引言：随着城市化进程的加速，高层建筑已成为城市建设的标志性元素。高层建筑钢筋混凝土结构设计作为确保其安全稳定的关键环节，面临着诸多挑战。从结构体系选型、抗震抗风性能优化，到超限结构处理、楼板应力与裂缝控制，再到短肢剪力墙与结构超高问题的解决，每一环节都需精心设计。本文旨在深入探究高层建筑钢筋混凝土结构设计中的关键问题，提出有效的优化策略，为提升高层建筑的安全性、经济性提供理论依据与实践指导。

1 高层建筑钢筋混凝土结构设计概述

1.1 钢筋混凝土结构的基本概念与特点

钢筋混凝土结构是将混凝土的抗压强度与钢筋的抗拉强度有机结合的建筑结构形式，广泛应用于高层建筑领域。（1）混凝土结构与钢筋的结合优势。混凝土抗压性能优异，但抗拉能力较弱；钢筋抗拉强度高，却易受腐蚀且抗压易失稳。二者结合后，混凝土可有效承受压力，避免钢筋直接暴露于外部环境，减少腐蚀风险；钢筋则能弥补混凝土抗拉短板，共同抵御结构在荷载作用下产生的拉、压、弯、剪等内力，实现性能互补，大幅提升结构承载能力，满足高层建筑对结构强度的核心需求。（2）钢筋混凝土结构的稳固性与耐久性。在稳固性方面，钢筋与混凝土间存在良好的粘结力，能协同工作，使结构整体刚度大，在风荷载、竖向荷载等作用下变形小，保障建筑使用过程中的稳定性。耐久性上，混凝土可包裹钢筋形成保护层，隔绝水分、氧气等腐蚀性介质，且优质混凝土本身密实度高、抗渗性强，在正常维护下，结构使用寿命可达数十年，契合高层建筑长期使用的要求。

1.2 高层建筑钢筋混凝土结构设计原则

（1）结构精简性原则。设计时需简化结构体系，减少冗余构件与复杂节点，降低施工难度与成本。例如，

避免过多设置不规则的支撑或转换构件，确保力的传递路径清晰，便于施工操作与后期维护，同时减少材料浪费，提升结构经济性。（2）结构组成合理性原则。结构各部分构件尺寸、布置需匹配，如梁、板、柱的截面尺寸应根据受力情况合理确定，构件布置需均匀对称，避免因局部构件受力过大或布置失衡，导致结构整体受力不均，影响承载能力与稳定性。（3）抗震性原则。高层建筑易受地震作用影响，设计需遵循“小震不坏、中震可修、大震不倒”的目标。通过合理设置抗震缝、选用延性好的构件材料、优化结构抗侧力体系（如框架-剪力墙结构）等方式，提升结构抗震能力，减少地震灾害损失。（4）耐久性设计原则。需结合建筑所处环境（如沿海高湿度环境、工业区腐蚀性环境），确定混凝土保护层厚度、选用抗腐蚀钢筋、优化混凝土配合比（如添加抗渗剂）等。同时，考虑后期维护需求，预留检修通道或设置防护措施，确保结构在设计使用年限内保持良好性能，降低维护成本^[1]。

2 高层建筑钢筋混凝土结构设计中的关键问题

2.1 结构体系选型与布置

（1）抗震与抗风性能良好的结构体系选择。需结合建筑高度、抗震设防烈度及风荷载等级选型：低烈度区10-20层建筑可选用框架-剪力墙结构，兼顾空间灵活性与抗侧力能力；高烈度区或20层以上建筑，优先采用框架-核心筒结构或剪力墙结构，核心筒可集中承担水平荷载，提升抗风抗震效率；超高层建筑则需考虑带加强层的框架-核心筒结构，通过加强层传递水平力，增强整体抗侧刚度。（2）平面与立面布置的规则性要求。平面需避免凹凸尺寸过大（凹凸比 $\leq 1:3$ ）、局部突出，防止水平荷载下产生应力集中；严禁出现“L”“T”形等不规则平面，若无法避免需设置抗震缝分隔。立面需控制刚度突变，避免楼层缩进过大（上层缩进尺寸 $\leq$ 该层对

应尺寸的1/4), 杜绝竖向构件间断, 确保力的传递路径连续。(3) 结构刚度与抗震能力的协调。刚度需与抗震等级匹配: 抗震等级高的建筑(如8度设防), 刚度不宜过大(避免地震作用集中), 可通过优化剪力墙数量调节; 抗震等级低的建筑(如6度设防), 需保证足够刚度抵御风荷载。同时, 层间刚度比需控制在0.7-1.5范围内, 防止薄弱层出现, 提升整体抗震延性。

2.2 超限高层建筑的结构设计挑战

(1) 超限判定依据与标准。依据《高层建筑混凝土结构技术规程》, 超限包括高度超限(如8度设防区框架-剪力墙结构高度超100m)、规则性超限(如位移比 >1.5 、扭转位移比 >1.2)、构件超限(如短肢剪力墙占比超30%)。需通过专项论证确定是否属于超限建筑, 方可开展后续设计。(2) 超限高层建筑的结构计算与分析方法。需采用“多软件对比+精细化分析”: 主软件用PKPM、YJK计算, 辅软件用ETABS验证; 补充弹性时程分析(选取3组以上地震波)模拟地震响应, 采用结构弹塑性动力时程分析(SAUSAGE)评估结构抗震性能; 对关键构件(如转换梁、加强层)进行应力复核, 确保计算结果可靠^[2]。(3) 特殊类型高层建筑的设计考虑。连体建筑需加强连体部位刚度, 采用刚性连接时设置抗扭构件; 错层建筑需在错层处增设剪力墙, 控制层间位移; 大跨度悬挑建筑(悬挑长度 $>8\text{m}$)需采用预应力混凝土楼板, 同时验算风振舒适度, 避免共振问题。

2.3 楼板应力集中与裂缝控制

(1) 楼板在高层建筑中的作用。承担竖向荷载(楼面活荷载、恒荷载), 传递水平力(地震、风荷载)至抗侧力构件, 同时约束梁、柱变形, 保证结构整体协同工作, 是连接各竖向构件的“水平纽带”。(2) 应力集中问题的产生与解决方案。成因: 大开洞楼板(洞口尺寸 $>1/3$ 楼板宽度)、楼板与竖向构件衔接处荷载集中。解决方案: 洞口周边设置加强筋(配筋率 $\geq 0.8\%$)或暗梁, 洞口尺寸过大时增设型钢梁; 构件衔接处采用渐变截面, 避免刚度突变。(3) 板裂缝的成因与预防措施。成因: 混凝土收缩(早期干燥收缩)、温度变化(温差 $>25^{\circ}\text{C}$)、荷载过大。预防措施: 选用低热水泥, 添加膨胀剂(掺量3%-5%); 设置温度缝(间距 $\leq 30\text{m}$), 楼板内配置双向通长筋(配筋率 $\geq 0.25\%$); 控制混凝土浇筑厚度($\leq 150\text{mm}$), 浇筑后覆盖养护 ≥ 7 天。

2.4 短肢剪力墙与结构超高问题

(1) 短肢剪力墙的设置限制与优化策略。限制: 短肢剪力墙(肢长比3-8)占比不得超30%, 严禁用于9度设防区; 墙厚需 $\geq 200\text{mm}$, 轴压比 ≤ 0.6 。优化策略: 将

部分短肢剪力墙延长为普通剪力墙(肢长比 >8), 或在短肢墙端部设置端柱, 提升抗剪能力。(2) 结构超高问题的应对策略。高度超限时, 优先升级结构体系(如框架-剪力墙改为框架-核心筒); 增设加强层(每15-20层设1层), 采用钢桁架加强层连接核心筒与外框架; 优化材料性能, 选用C60以上高强混凝土, 减少构件截面尺寸, 降低自重。(3) 结构稳定性与变形控制的措施。采用“刚度控制+变形验算”: 层间位移角需满足规范要求(剪力墙结构 $\leq 1/1000$); 对超高建筑进行整体稳定验算, 确保刚重比 ≥ 1.4 ; 设置防屈曲支撑, 吸收地震能量, 减少结构变形; 施工中采用分段浇筑, 控制竖向变形差 $\leq 20\text{mm}$ 。

3 高层建筑钢筋混凝土结构设计的优化策略

3.1 抗震结构功能设计的优化

(1) 抗震等级确定与抗震措施选择。抗震等级需结合建筑高度、抗震设防烈度及结构类型综合判定, 例如8度设防区100m高的框架-剪力墙结构, 抗震等级应定为一级。对应措施需分级匹配: 一级抗震构件(如框架梁)需增大箍筋加密区长度(≥ 2 倍梁高), 提高纵向钢筋配筋率(梁端顶面、底面配筋率 $\geq 2.0\%$, 必要时可以设置型钢); 二级抗震构件可适当放宽, 箍筋加密区长度 ≥ 1.5 倍梁高, 配筋率 $\geq 1.5\%$, 确保抗震措施与等级适配。(2) 多道抗震防线的设置。优先构建“剪力墙+框架”双重防线, 其中剪力墙作为第一道防线, 通过合理布置承担80%以上水平地震作用, 框架作为第二道防线, 在剪力墙受损后接力抗侧; 对于连体、错层等复杂结构, 需增设第三道防线, 如在连体桁架两端设置黏滞阻尼器, 地震时通过阻尼器耗能减少主体结构受力。同时, 同一防线内构件刚度需均匀过渡, 如剪力墙间距控制在30m以内, 避免因局部刚度突变导致荷载集中, 保障抗倒塌能力^[3]。(3) 抗震构造措施的细化与强化。梁柱节点严格遵循“强节点弱构件”原则, 节点核心区箍筋需全高加密, 体积配箍率比梁端提高20%且不低于0.9%, 若节点区钢筋过密, 可采用并筋或机械连接优化排布; 剪力墙边缘构件区分约束边缘构件与构造边缘构件, 一级抗震底部加强部位需设约束边缘构件, 纵向钢筋配筋率 $\geq 1.2\%$; 楼板与墙体衔接处, 除设置通长筋(配筋率 $\geq 0.3\%$)外, 还需在墙两侧各延伸1.5倍板厚范围加密钢筋, 减少地震时楼板与墙体脱离风险。

3.2 高强混凝土与高强钢筋的应用

(1) 高强材料对结构性能的提升作用。C60-C80高强混凝土抗压强度比普通C30混凝土提高2-3倍, 可减小柱截面尺寸30%-40%, 增加建筑使用空间; HRB500高强钢

筋抗拉强度比HRB400提高25%，相同受力下可减少钢筋用量15%-20%，降低结构自重。同时，高强材料弹性模量更高，能提升结构整体刚度，减少风荷载与地震作用下的变形。（2）材料选择与使用中的注意事项。高强混凝土需严格控制配合比，水胶比 ≤ 0.38 ，添加3%-5%硅灰改善界面过渡区性能，同时掺入10%-15%矿粉降低水化热，避免浇筑后因温差产生裂缝；骨料选用5-25mm连续级配碎石，且需进行碱活性检验，确保非碱活性骨料占比100%。高强钢筋使用时，直径 $\geq 22\text{mm}$ 优先采用直螺纹套筒连接，接头需进行抗拉强度试验，合格率需达100%；梁柱节点处，通过BIM技术提前模拟钢筋排布，采用“隔一错一”方式避让，保证混凝土浇筑时振捣棒能深入核心区，密实度达标^[4]。（3）经济性与可行性分析。从成本看，高强混凝土单价虽比普通混凝土高20%-30%，但减少的构件截面可降低模板用量与施工工时，综合造价降低5%-8%；高强钢筋虽单价高10%-15%，但钢筋用量减少与施工效率提升，可使结构造价降低3%-5%。可行性方面，目前国内高强材料生产技术成熟，施工设备（如高压振捣棒）普及，多数施工单位具备应用能力，适用于30层以上高层建筑。

3.3 梁式转换层结构的设计与优化

（1）梁式转换层结构的作用与特点。主要用于“上层住宅+下层商业”的高层建筑，通过转换梁将上层剪力墙荷载传递至下层框架柱，实现建筑功能转换。其特点是转换梁承受荷载大（需承担上层数层墙体重量），截面尺寸大（梁高常为1.5-3.0m），对结构整体刚度影响显著，设计需重点控制梁的抗剪与抗扭性能。（2）设计要点与优化措施。设计时转换梁需采用“强剪弱弯”原则，受剪承载力需按计算值提高1.2倍，箍筋采用复合箍，体积配箍率 $\geq 1.2\%$ ；梁端设置暗柱，纵向钢筋锚固长度 $\geq 1.2\text{倍}LaE$ （抗震锚固长度）。优化措施：采用预应力混凝土转换梁，通过预压应力抵消部分荷载产生

的拉应力，减少裂缝；将转换梁与上层墙体形成整体，通过墙体参与受力降低梁的负担；控制转换梁高宽比 ≤ 4 ，避免发生剪切破坏。（3）优化转换层位置：尽可能降低转换层设置高度，甚至创造条件避免设置转换层。转换层越高，内力重分布越复杂，加强范围越大，造价激增。与建筑专业紧密配合，通过调整建筑功能布局（如将需要大空间的商业、大堂等功能置于塔楼投影范围外或最底部），争取将转换层设置在地下室或第1、2层。（4）优化上部墙体与柱的布置：上部墙体布置保持同一轴线，上部剪力墙的重心与下部框支梁、框支柱的重心重合，形成直接的传力路径，避免转换梁承受过大的扭矩和弯矩；上部剪力墙布置优先考虑大开间布置，做大板，减少转换^[5]。

结束语

综上所述，高层建筑钢筋混凝土结构设计是一个复杂而精细的过程，涉及众多关键问题的考量与优化。通过合理选择结构体系、精细抗震设计、控制超限与变形、优化材料与构造细节，可以有效提升高层建筑的安全性、稳定性与经济性。未来，随着科技的进步与建筑需求的变化，高层建筑钢筋混凝土结构设计将不断面临新的挑战与机遇，需持续探索创新，以适应时代的发展。

参考文献

- [1]张浩.高层建筑钢筋混凝土结构设计的现状及策略分析[J].中国住宅设施,2020,(10):102-103.
- [2]王浩.钢筋混凝土高层结构设计的常见问题和处理[J].现代物业(中旬刊),2020,(07):62-63.
- [3]李喜乐.钢筋混凝土结构设计中的常见问题及优化措施[J].居业,2020,(06):57-59.
- [4]林建文.高层建筑钢筋混凝土结构设计问题探究[J].河南建材,2020,(05):59-60.
- [5]高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ3-2010 [S].北京:中国建筑工业出版社,2011.