

# 高层建筑混凝土结构抗震设计要点分析

杨白雪

湖北省建筑科学研究设计院股份有限公司 湖北 武汉 430060

**【摘要】**：高层建筑混凝土结构抗震设计需聚焦结构体系合理性、构件延性、刚度分布及关键部位构造推进。结构高度增加带来地震响应复杂，刚度突变形成薄弱楼层，梁柱节点与剪力墙边缘构件易破坏，需优化框架剪力墙体系、核心筒结构及转换层受力设计，强化钢筋锚固、箍筋加密、混凝土浇筑质量与变形缝控制。性能化抗震设计与震后功能保持理念的应用，能提升结构安全性、稳定性及韧性。

**【关键词】**：高层建筑；混凝土结构；抗震设计；结构延性；构造措施

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.067

## 引言

高层建筑混凝土结构整体体量庞大、竖向荷载繁重、使用功能繁杂，内部力流传递形式繁杂。强震环境中结构会发生侧移加剧，部分承重部件会累积损伤，隐蔽薄弱区域会丧失稳定性能。结构抗震设计匹配基础承载标准，统筹整体布局形态、抗力系统配合、核心构件韧性及现场建造工艺，梳理这类建筑抗震设计核心内容，梳理管控核心内容，强化建筑抵御震动的安全底线与灾后正常使用水平。

## 1 高层建筑混凝土结构抗震设计的主要问题识别

(1) 结构高度增加导致地震响应复杂化问题：高层建筑混凝土结构高度提升，自振周期随之拉长，地震环境里会受到高阶振型干扰，楼层位移、层间位移角和顶部加速度的分布状态都会出现多样改变。建筑平面与竖向布局存在偏差，扭转作用会加大局部构件负荷，边跨柱、角柱和核心筒边缘区域会承载更大内力数值。风荷载叠加地震外力，建筑整体会出现大幅水平偏移、层间位移角波动与顶部晃动现象，整体侧向变形的管控难度持续上升。建筑平面布局失去平衡，质量排布、刚度中心和承载力中心出现明显差值，地震催生的惯性力无法均衡传导，额外扭矩不断生成，让整体结构发生扭转变形。边柱、角柱、剪力墙端部以及楼板开孔周边区域，长期承受多重拉压与剪切外力，裂缝会提早出现延展，节点破损问题持续加重，建筑整体抗震水平会受到不良干扰。

(2) 刚度分布不均引发薄弱楼层破坏问题：高层建筑常会设置底部大空间、设备层、转换层及局部收进构造，这类区域引发楼层刚度的急剧变化，地震能量会汇聚在个别楼层完成释放<sup>[1]</sup>。单层抗侧性能弱于周边楼层，层间位移角持续扩张，框架柱、剪力墙和

连梁易产生剪切裂缝，构件形变破损与节点区域损伤接连显现。刚度排布失衡打乱建筑楼层的协同变形状态，侧向偏移聚集在局部范围，其余楼层结构无法有效消耗地震产生的外力影响。竖向构件荷载出现非均匀调整，部分墙体立柱及支撑结构承受超额内力，裂缝蔓延、混凝土破损与钢筋形变都会提早发生，竖向楼层刚度差距悬殊，建筑传力形式产生异动，地震能量无法顺着竖向结构平稳疏导，薄弱层不断生成，建筑整体抗震防护能力大幅降低。

(3) 关键构件延性不足影响整体抗震性能：高层混凝土结构抗震性能依托自身承载极限，也依托核心构件进入塑性阶段后的形变水准，框架柱、剪力墙边缘构件、梁柱节点与连梁缺少足量箍筋束缚，钢筋锚固尺寸不达标，配筋比例把控失衡，震动影响下会产生脆性损坏现象。构件延性短板，会让自身无法充分消耗地震能量，提前丧失承载基础，局部破损持续蔓延造成整体性能持续下降。建筑转换层、底部加固地带及结构外围区域受力条件繁杂，多种内力荷载会同步汇集叠加，箍筋布设区间有限，钢筋搭接施工存在缺陷，节点拼接工艺粗糙，混凝土自身束缚强度降低，强震往复作用会催生裂缝延展、钢筋形变、墙体碎裂等多种破损问题。楼层转换位置会随竖向力传递形式改变形成应力堆积，底部加固区域承担更多地震剪切作用，建筑外围位置极易出现压弯破损，不断降低整体结构抗震防护基础。

## 2 高层建筑混凝土结构抗震体系的合理选择

(1) 框架剪力墙体系抗震协同作用分析：框架剪力墙体系可抵御高层混凝土结构内部水平地震作用，剪力墙提供充足侧向刚度与抗剪承载能力，框架依托梁柱衔接维系空间整体形态，维持结构后期形变能力。

设计阶段把控剪力墙布设数量、所处位置及墙肢长度,贴合建筑平面完成均匀排布,降低结构偏心引发的扭转现象,框架梁柱自身刚度保持合理范围,缩小和剪力墙的性能差距,避免地震内力堆积在局部墙段与少数柱体。各类构件搭建稳定连贯的传力渠道,梁柱、剪力墙结合楼板一同分担外部受力,楼板承担水平方向荷载传导工作,板面整体性能满足基础标准,把地震带来的水平力平稳输送至剪力墙、框架柱及核心筒等抗侧构件。楼板开孔尺寸超标、厚度参数不足或是配筋排布不合理,会弱化整体传力路径,造成各类构件受力分配失衡,强化楼板和墙柱衔接位置的构造做法,让整体结构在震动环境下保持协同运作,缓解局部形变堆积带来的不良影响。

(2) 核心筒结构抗侧刚度配置优化方法:核心筒结构大多整合设置在电梯井、楼梯间及设备管井范围,承担高层建筑抵御水平地震作用的关键抗侧力单元<sup>[2]</sup>。抗侧刚度排布参考建筑高度、平面形态与空间布局合理调控,筒体选址贴合整体结构质心,削弱偏心距带来的扭转加剧问题。筒壁厚度、墙肢长度、连梁规格与洞口排布维持受力连贯,过量开孔会弱化区域结构整体刚度,外围框架搭配核心筒依托楼板建立紧密衔接,楼板承载地震环境下的水平传导作用,把框架生成的惯性荷载输送至筒体各类抗侧构件。楼盖梁板、边缘构件与衔接节点匹配承载极限和形变适配条件,衔接缺陷会割裂内外结构统一受力状态,大开洞楼层、设备层及避难专属区域,加厚楼板尺寸、延续钢筋排布并优化洞口构造,框架与筒体组合为统一受力整体,强化建筑侧向约束与形变管控水平。

(3) 转换层结构受力复杂部位控制要点:转换层衔接高层建筑底部开阔区域与上层标准楼层,内部梁板柱墙受力状态繁杂,震动冲击下会出现内力堆积,整体传力形式发生改变。工程设计调控转换构件截面规格、配筋排布以及节点衔接强度,上层竖向荷载可平稳输送至下方支撑结构。转换梁与转换桁架周边楼层完善抗震构造细节,弱化刚度变化引发的楼层形变堆积问题。墙柱衔接位置、支撑端部及孔洞边界完成承载力校核并加固构造,转换层遭遇强震冲击时,可稳定维持自身抗剪、抗弯及抗压基础性能。

### 3 高层建筑混凝土结构关键构件抗震设计要点

(1) 框架梁柱节点区承载能力强化措施:框架梁柱节点区汇集地震产生的各类内力荷载,区域自身承载力,决定框架体系内部力流传递的完整状态。节点核心区域强化箍筋束缚作用,规范箍筋排布间距与构造尺寸,优化混凝土受压区间束缚条件,延缓剪切开

裂带来的结构承载力衰减。梁端钢筋锚固尺寸、柱体纵筋贯通形式与节点混凝土强度,贴合实际受力标准,规避钢筋位移松动与锚固失效问题,强柱弱梁设计标准融入截面核算和配筋布设工作,自然形成梁端塑性变形区域,降低建筑柱体端部出现破损的概率。

(2) 剪力墙边缘构件延性设计控制方法:剪力墙边缘构件长期承受压弯荷载,直接影响墙体塑性形变的调控水平,结合轴压比、墙肢长度与抗震等级划定约束边缘构件区间,搭配足量纵筋与封闭箍筋,稳固墙体端部混凝土受压状态。边缘区域加密箍筋布设范围贴合塑性形变发展区间,规避震动作用下混凝土碎裂、钢筋弯折与墙体表层脱落问题。底部加固区域及高轴压墙体位置提升构造约束条件,调整墙体厚度与配筋比例,帮助墙体在往复荷载作用下维持形变复原效果。

(3) 连梁耗能能力与配筋构造优化策略:连梁衔接两侧墙体构件,地震环境中承接剪力输送与能量消耗工作,长期承受高剪力及往复弯剪的复合作用。跨高比值偏小的连梁易滋生斜向裂缝,结构剪切损伤问题随之显现,结合实际受力特征搭配交叉斜筋、密集箍筋与复合配筋构造,强化构件斜截面抗剪水准。构件端头和墙体衔接位置稳固绑扎钢筋,往复荷载作用不会出现钢筋位移,杜绝表层混凝土挤压破损,合理调配洞口规格、梁体高度与配筋占比,维持构件滞回表现平稳,在强震环境里平稳消耗地震产生的破坏能量。

### 4 高层建筑混凝土结构抗震构造与施工质量控制

(1) 钢筋锚固连接与箍筋加密控制要求:钢筋锚固连接质量影响高层混凝土结构地震受力传递效果,梁端、柱端、剪力墙边缘区及转换构件连接处需达到规定锚固长度与搭接标准。受拉钢筋搭接不宜布置在塑性较集中发展区域,机械连接或焊接接头避开内力峰值区,按抗震等级管控接头面积百分率。箍筋加密范围覆盖梁柱端部、节点核心区、剪力墙底部加强区及连梁端部等受力敏感处,弯钩角度、平直段长度与闭合形式符合抗震构造标准,施工中需控制钢筋保护层厚度、间距偏差及绑扎牢固度,防止钢筋位移降低构件实际承载能力。

(2) 混凝土强度等级与浇筑质量保障措施:高层建筑混凝土结构各部位受力差异显著,柱、剪力墙、核心筒及转换层等竖向承重构件需采用较高强度混凝土,适配轴压、抗剪与抗弯需求;梁板与非关键部位结合结构受力及施工条件确定强度,规避材料强度配



置偏差<sup>[4]</sup>。浇筑作业需严控配合比、坍落度、入模温度与振捣密实度,杜绝蜂窝、麻面、孔洞及冷缝损害结构抗震表现。高强混凝土构件需关注水化热与收缩裂缝管控,分层浇筑、连续养护及温度监测可按需采用,节点密集配筋区域需保障混凝土顺利穿透钢筋间隙,让核心区域形成完整密实的受力结构。

(3) 结构变形缝设置与整体稳定控制方法:结构变形缝结合建筑平面长度、高度差异、结构单元刚度变化及地震位移需求布设,防止相邻结构单元震时碰撞。防震缝宽度需适配最大弹塑性位移,兼顾施工误差、温度变形及长期收缩徐变影响,平面复杂、体型不规则或高低跨相连的高层建筑,合理划分结构单元可降低扭转效应与约束应力。整体稳定控制聚焦结构倾覆力矩、二阶效应及竖向构件连续性,基础与上部结构需形成可靠传力衔接。楼盖平面刚度、抗侧力构件布置和竖向荷载传递路径需协调一致,避免局部失稳削弱整体抗震安全。

## 5 高层建筑混凝土结构抗震性能提升路径

(1) 结构规则性设计与抗震薄弱环节控制:结构规则性设计需兼顾平面形态、竖向布置与抗侧力构件连续性管控,高层建筑平面需缩减过长翼缘、凹凸突变及局部悬挑,减轻地震引发的扭转放大问题;竖向排布规避楼层刚度、质量与承载力突变,确保地震剪力沿建筑高度稳定传导。抗震薄弱区域集中于底部加强区、设备层、局部大开洞楼层及楼层收进处,结合层间位移角、剪重比与抗剪承载力核算做好针对性调控。结构排布越规整,构件受力越明确,薄弱区域也更易提前排查管控。

(2) 性能化抗震设计理念在工程中的应用:上海中心大厦塔楼整体高度632m,搭配巨型框架、钢筋混凝土核心筒与外伸臂组合而成的结构体系,建筑抗

震设防烈度定为7度,完成不同强度地震工况下的性能测算<sup>[5]</sup>。核心筒平面接近方形轮廓,整体边长保持30m左右,底层墙体厚度1.2m,墙体厚度顺着建筑层高逐步缩减至0.5m,适配各楼层实际受力条件。构件承载力不再作为性能化设计的单一考量,层间位移变化、构件破损情况、建筑稳固性与震后修复条件都会列为管控指标。弹塑性分析结合振动台试验手段,能够直观判定核心筒、外伸臂桁架及巨型柱遭遇强震时的运行状态。

(3) 震后功能保持目标下的安全优化策略:震后功能保持目标要求高层混凝土结构在地震作用结束后,不仅要彻底避免结构整体倒塌的风险,还需尽可能维持人员疏散、应急救援及建筑必要使用的基本条件。安全优化需重点聚焦楼梯间、电梯核心区、消防通道、避难层及设备机房等关键功能空间的结构保护等级,避免这些核心区域因构件破损、变形而阻碍人员快速转移与应急处置。结构设计过程中可适当提升重要竖向承重构件的承载储备能力,严格管控非结构构件与主体结构之间的连接形变幅度,减少幕墙、填充墙及各类管线系统因震动脱落、破损的情况发生。对于医院、写字楼等重要公共建筑,还需结合震后快速检查、及时修复的实际需求,合理设置可快速更换的耗能构件以及便于后期检测、维护的关键节点。

## 6 结语

高层建筑混凝土结构抗震设计围绕体系合理、构件延性稳定、力流传递顺畅与施工管控标准开展,妥善处理高度效应、刚度突变、节点缺陷及转换层受力复杂这类建筑隐患。规整化布局搭配关键区域构造加固与抗震性能推演,保障建筑整体抗震防护水准。行业后续设计融合数值演算、智能监测技术与震后使用保障思路,助力高层建筑实现安全稳固、韧性更强与长效发展的建设目标。

## 参考文献:

- [1] 肖阳,许晓梁,宾志强.某高地震烈度高风压地区高位连体耗能减震结构设计[J].结构工程师,2025,41(06):216-226.
- [2] 吕昕.超限高层结构设计及抗震性能分析[J].工程技术研究,2025,10(24):183-186.
- [3] 马振霄,李英民,唐均,等.消能减震标准视角下建筑结构抗震设计的对比研究[J].地震工程与工程振动,2025,45(06):194-202.
- [4] 崔灿.某超高层住宅结构设计及抗震性能分析[J].广州建筑,2025,53(12):35-40.
- [5] 金晓东,黄伟志,王申昊.某高位转换高层建筑结构分析[C]//北京市建筑设计研究院股份有限公司,浙江省建筑设计研究院有限公司,亚太建设科技信息研究院有限公司.第二十届高层建筑抗震技术交流会论文集(上册).浙江省建筑设计研究院有限公司;大象建筑设计有限公司;2025:23-28.