

高层建筑结构抗震设计关键技术研究

杜虹茜

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 高层建筑结构的抗震性能直接影响人民群众的生命财产安全以及城市的抗灾能力, 在建筑物越来越高、越来越复杂的情况下, 抗震设计面临的问题也越来越多, 比如结构布置不合理、抗震构造措施不到位、计算不够精确、新技术的应用相对滞后等。本文论述了高层建筑抗震设计的重要性和必要性, 并总结了目前存在的主要问题, 在此基础上提出了相应的建议, 以期对高层建筑抗震设计与实践具有一定的指导意义和参考价值。

[关键词] 高层建筑; 建筑结构; 抗震设计; 关键技术

DOI: 10.64635/ja.2026.1226

中图分类号: TU352.1

文献标识码: A

Research on Key Technologies for Seismic Design of High-Rise Building Structures

Du Hongqian

Hebei Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei 050000, China

Abstract: The seismic performance of high-rise building structures directly affects people's lives and property safety as well as a city's disaster resistance capacity. As buildings become increasingly taller and more complex, seismic design faces more challenges, such as unreasonable structural layout, inadequate seismic detailing measures, insufficient calculation accuracy, and relatively lagging application of new technologies. This paper discusses the importance and necessity of seismic design for high-rise buildings, summarizes the main existing problems, and proposes corresponding recommendations on this basis, with the aim of providing guidance and reference for the seismic design and engineering practice of high-rise buildings.

Keywords: high-rise building; building structure; seismic design; key technology

引言

高层建筑是现代城市空间的重要组成部分, 而其安全性则是衡量一个城市的抗震能力和保障人民群众的生命财产安全的首要条件。中国位于环太平洋地震带和欧亚地震带交汇区, 地震频发、范围广泛, 次次地震灾害充分印证, 抗震设计是高层建筑结构设计重中之重, 对建筑安全至关重要。高层建筑结构类型多样、振型繁杂并且高阶模态效应显著, 整体呈现较强的非线性力学特性。“抗硬”的传统抗震思想逐渐被“延性耗能”以及“隔震减震”等方法结合起来的综合性抗震理念所替代。随着高度不断增加, 结构风震耦合效应越来越大, 实际工程中仍普遍存在布局不规则、构造措施不足、非线性计算精度偏低等问题, 有必要对相关设计技术进行总结提炼。

1 高层建筑抗震设计的重要性

1.1 安全保障与韧性提升

高层抗震设防意义非常重大。高层建筑居住人口众多、功能复杂, 一旦发生地震时, 动力效应明显, 导致人员伤

亡惨重及巨额经济损失; 而且高层建筑在遭受地震损害的同时还伴发电梯停止运行、消防安全设施失灵、天然气泄漏、蔓延成灾等多种衍生事故的发生, 救援困难重重、逃生危险重重, 所以必须采取有效的抗震设计来保障建筑的安全系数。精准的抗震设计与完善的构造措施是落实我国抗震规范“小震不坏、中震可修、大震不倒”的根本保障, 更是提高建筑全生命期韧性的的重要途径。抗震工程设计中, 通过科学的布置侧力体系、优化结构刚度分布、规避结构出现薄弱区域、有效控制出现扭转效应, 能够提高结构的耗能能力和延性, 从而提升建筑物抵抗自然灾害的整体安全性。另外, 随着抗震性能化设计理念的发展, 抗震设计也由过去的仅仅符合国家规范标准的要求转变为现在的向目标性能方向精准把控的设计, 可确保结构在不同烈度地震作用下均能维持稳定、可控的服役状态, 有效提升建筑结构的抗震安全冗余。

1.2 经济效益与社会价值

从经济效益角度来讲, 高层建筑抗震设计是一项低投

入高产出的长远投资。在实际经验当中,应用隔震减震措施可以使上部结构受到地震的影响降低 50%~80%,虽然会使建筑初期建设成本提高 5%~10%,但是它在整座建筑物的整体寿命期间能够节省大量的维护费用以及经济损失,从而使得整个过程的成本减少了大约 15%~30%,具备显著的经济优势与工程推广价值。高层建筑作为城市核心地标与重要功能载体,广泛应用于商务综合体、办公核心区域等关键场景,它的抗震能力不仅涉及到一个建筑的安全,更直接影响城市的运行情况和震后重建的能力。一旦高层建筑在强震中发生严重损毁,将对城市形象、社会秩序稳定及区域经济可持续发展造成剧烈冲击。由此可见,提升高层建筑抗震能力是完善城市防灾减灾体系、筑牢城市安全防线的重要环节。

为了更好的规范高层建筑抗震设计的合理化和标准化,中国欧洲经济技术合作协会出台了团体标准《高层建筑结构抗震性能化设计方法与实施方案》T/CEATEC 021—2025,这个标准对高度不低于 60m 的高层建筑结构,给出了具体的性能化概念设计、分析计算、构造设计以及实施措施等要求,为高层建筑抗震设计提供了一个更为系统的、可执行的操作指导手册,对提升行业整体设计水平与工程施工质量具有重要推动作用。

2 高层建筑结构抗震设计存在的问题

2.1 结构布置不规则问题

结构布置不规则是高层建筑抗震设计中最常见也是最严重问题。而这种不规则又可以分为两类:一类为平面不规则(如凹凸不规则、楼板局部不连续、扭转不规则);另一类为竖向不规则(如侧向刚度不规则、抗侧力构件不连续以及承载力突变)。现有研究表明,部分超限高层建筑同时存在刚度突变、承载力突变等多重不规则特征,被界定为特别不规则建筑。此类结构在地震作用下,其传递动力路径极其复杂,局部构件易产生应力集中现象,极大提升结构局部破坏甚至整体结构连续坍塌风险。珠海某超限高层建筑具有扭转不规则、楼板不连续、局部穿层柱以及斜柱等多种类型的不规则情况,在对其进行楼板应力及屈曲稳定计算时需考虑这些因素的影响。结构的多重不规则特性,不仅大幅提升了弹塑性数值分析的难度,也对性能化抗震设计的精准度与适配性提出了严苛要求。

2.2 抗震构造措施不足问题

抗震构造措施是实现“强节点弱构件”、“强柱弱梁”的重要保证,在实际工程中却往往被严重忽视。当前工程现场普遍存在各类抗震构造缺陷:柱端箍筋加密区间距较

大、体积配箍率不符合一级、二级抗震等级要求,梁柱核心区箍筋缺失、纵向钢筋锚固长度不够等。剪力墙边缘构件作为保障结构整体延性的关键构件,常出现约束范围不足、与主体结构拉结不牢固等问题,是历次地震灾害中结构率先发生破坏的主要薄弱部位。最新的《建筑抗震设计标准》(GB/T 50011—2010, 2024 年版)对结构体系的多道防线以及良好的延性提出更高要求,但在工程实操中,部分设计人员为简化设计流程,将构件配箍率刻意控制在规范最低限值;施工阶段受梁柱节点钢筋密集、混凝土振捣难度大等因素影响,存在私自删减箍筋数量、简化构造工艺等违规操作,直接导致结构抗震安全储备不足,大幅削弱建筑整体抗震能力。

2.3 抗震计算精度不足问题

抗震计算精度不足主要表现在两方面:一是计算模型过于简化;二是缺乏弹塑性计算能力。在弹性设计中,大多数多高层建筑均使用振型分解反应谱法,在此方法下,由于考虑的是线性情况,所以不能准确地反映结构达到塑性以后的内力重新分配以及能量耗散作用。而对于一些超限高层或者有较多特殊平面、竖向不规则的建筑物,则需要做静力或者动力弹塑性时程分析。根据《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)的要求,对于高度不大于 150m 的建筑可以采用静力弹塑性计算;对于高度大于 200m 的建筑则必须用弹塑性时程分析;而对于高度大于 300m 的建筑除了上述两种方法外还须有另外两个不同的程序来进行复核^[1]。但是,目前行业尚未形成统一、量化的弹塑性分析结果判定标准,成果校核多依赖工程师主观工程经验,而不同的软件在相同的输入情况下得到的结果有 10%~30% 的差异,这给结构的安全储备度带来很大的不确定性。

2.4 新型抗震技术应用不足问题

新型抗震技术应用不足限制了高层建筑整体抗震能力的提高。虽然隔震技术和消能减震技术均大量工程实践验证,可以有效提高建筑抗震冗余度。其中基础隔震技术通过在建筑物上部结构与基础之间设置一层水平方向柔性隔震层,延长自振周期而大幅减少进入建筑物中地震能量,效果显著,但目前该技术在高烈度设防区、超高层建筑工程中的规模化应用占比极低。对于消能减震而言,屈曲约束支撑(BRB)、黏滞阻尼器(VFD)等装置在框支剪力墙结构中尚未形成成熟的理论体系与行业标准,因此消能减震技术推广使用还有很大空间^[2]。广州大学工程抗震研究中心主持研发的“具备振动与地震双重减隔震效果

可装配化集成式振-震双控技术”已达到国际先进，但是该种先进工艺在高烈度设防地区的大规模普及及应用还有很大的进步空间。

3 高层建筑结构抗震设计优化对策

3.1 优化结构体系设计

优化结构体系选型与整体布局是提高高层建筑抗震效能根本措施。随着建筑物高度持续增加，结构体系应由传统的框架—剪力墙、框架—核心筒发展到更为合理的组合体系。组合体应全面考虑材料选用、结构类型及其

布置，尽可能使主体结构具有良好的延性耗能。依据《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB 55002—2021)及抗震性能化设计理念，在超限高层或平面不规则建筑中，可有针对性加强一些重要竖向构件，适当增加钢骨梁柱或者转换桁架，防止由于局部刚度过大造成地震时应力集中现象发生^[2]。为直观对比各类高层结构体系的抗震性能、适配高度与应用场景，为工程设计人员提供参考依据，本文梳理总结各类结构体系核心参数，具体对比内容如表 1 所示。

表 1 常见高层建筑结构体系抗震性能对比

结构体系类型	适用高度范围≤60m	抗震性能特点	经济性及适用场景
框架结构	≤60m	延性好但侧向刚度小，大震下位移较大	适合多层及小高层住宅，造价相对较低
框架-剪力墙结构	≤120m	双重抗侧力体系，多道防线，抗震冗余度较高	综合性价比高，广泛应用于高层住宅及办公楼
框架-核心筒结构	≤300m	核心筒提供强大抗扭刚度，抗侧性能优越	超高层建筑首选，用钢量较大但空间利用率高
筒中筒结构	>300m	空间整体作用显著，抗侧及抗风性能极强	适合地标级超高层，结构效率高但对施工要求严格

3.2 完善抗震构造措施

完善抗震构造措施是将抗震设计理论落实到工程结构上有效手段。在施工过程中必须执行《建筑抗震设计规范》(GB/T 50011—2010,2024 年版)以及相关文件中提出的“强柱弱梁、强剪弱弯、强节点弱构件”具体要求。针对一、二级抗震等级框架结构，要保证柱子轴压比不超过规范要求；在加密区内箍筋体积配箍率不能低于规范最小值；箍筋弯钩角度为 135 度，平直部分不少于 10 倍箍筋直径并且大于等于 75mm，所有弯钩叠合处沿柱纵向钢筋错开设置。梁端、柱端箍筋加密区除了要满足抗震设防要求外，还要合理布置机械连接或者焊接接头位置，尽量避开塑性铰位置^[3]。边缘构件、连梁以及楼梯间与主体结构可靠拉结也是设计中需要重点关注内容，以保证整个建筑具有足够延性和多道抗震防线。

3.3 提高结构分析与计算精度

提高结构分析及计算准确性是保证抗震设计合理性和安全性的重要基础。在弹性阶段应使用 SATWE、YJK 等多种常用软件进行比较验证，在小震情况下周期比、层间位移角、刚重比等参数符合要求；而对于超高、超限以及特别不规则建筑应遵照《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)的规定，根据建筑物的高度及不规则程度选取相应的静力弹塑性或者动力弹塑性时程分析法；并且当建筑高度大于 300m 时，则需运用两种以上不同的程序进行复核。

建立弹塑性计算模型时，应依照构件性能以及分析精

度的要求选择合适的计算模型：梁、柱、斜撑可用一维单元，而墙、板可用二维或三维单元进行建模，结构的大小以及配筋均应依据实际情况考虑。此外，规程也提出可以使用简化的弹塑性分析方法辅助计算，但是这种简化的方法会有很多主观性和经验性的东西，在工程中要慎重对待其得出的结果是否合理。另外，场地地震动的选择应当考虑场地类型和设计地震分组，至少要有两组真实强震记录以及一组人工合成地震波，来提供给软件用于输入地震动频率特性和危险性水平有足够的可靠性。

3.4 推广隔震减震技术应用

规模化推广隔震减震新技术，是推动高层建筑抗震模式从传统刚性“抗震”向现代柔性“控震”转型升级的关键路径。而随着《建设工程抗震管理条例》的实施，在高烈度设防地区以及地震重点监视防御区内的“两区八类”的建筑越来越多地采用了隔震减震技术。山东省还规定了所有需要进行隔震减震处理的工程，都要通过信息化的方式对隔震减震装置的采购、进场检验、施工安装、竣工验收等情况进行记录并存档保存。基础隔震技术是在建筑物下部增设柔性隔震层来增大自振周期，从而降低地震波对上部结构影响。黏滞阻尼器、屈曲约束支撑等消能减震装置，可通过自身塑性变形耗散地震能量，显著提升超限高层建筑的抗震冗余度与震后功能快速恢复能力^[4]。消能减震技术用于高层框支剪力墙结构中，需要合理规划布置设备位置，由结构工程师提供相关技术资料，以保证消能减震技术能够在工程中得到良好应用。

3.5 加强施工质量与全过程管理

加强施工质量与全过程管理是保证抗震设计成果实现最后一道防线。施工阶段需严格把控核心工序质量,精准管控高强混凝土配合比,钢筋连接以及大截面柱、核心区复杂节点处箍筋绑扎质量,落实好柱端、梁端箍筋加密长度,特别是要重视梁柱节点区钢筋密集程度以及混凝土振捣情况,不得因施工不便,在现场擅自减少钢筋数量或者移动钢筋位置。对于采用减隔震技术的高层建筑;组织勘察、设计、施工、监理等相关单位制定质量可追溯机制,在信息化平台上收集并保存隔震减震装置自购买至最终验收所有相关文件资料,编写有针对性、可操作性强《建筑工程隔震减震装置维护管养说明书》在项目竣工之前一并移交给建设单位。超限高层建筑需在初步设计时开展抗震设防专项审查,通过对薄弱环节进行加强以及使用高强度钢筋等方式提高建筑物整体最大承载能力和抗震能力。

4 结语

高层建筑抗震设计是一项集结构体系选型、抗震构造实施、数值精准计算、新型技术应用于一体的系统性工程。本文系统阐述了高层建筑抗震设计的意义,深入剖析了结

构布置不合理、抗震构造措施不到位、抗震计算精度不高和技术进步应用不够等问题。针对上述行业痛点,从改善结构体系设计、加强抗震构造措施、提升计算准确度、推广隔震减震技术和加强对施工及全生命周期管理等五个维度,提出了系统性、针对性的优化改进对策。随着性能化抗震设计理念、振-震双控等新型抗震技术的持续迭代与成熟,我国高层建筑抗震设计将朝着精细化、韧性化、智能化的方向稳步发展,持续提升城市地震灾害抵御能力,为保障人民群众生命财产安全、维护城市安全稳定运行与高质量发展提供坚实的技术支撑。

[参考文献]

- [1]叶灿辉.高层建筑结构设计抗震性能优化关键技术研究[J].新城建科技,2025,34(07):87-89.
- [2]元新杰.高层建筑结构抗震性能优化的关键技术分析[J].居业,2025(07):133-135.
- [3]张晓艳.高层建筑抗震性能分析[J].工程技术研究,2026,11(04):226-228.
- [4]张伊伦.高层混凝土建筑抗震结构设计要点[J].住宅与房地产,2025(35):86-88.