

高层建筑抗震设计的优化方法研究

王圣峰

成都市市政工程设计研究院有限公司

DOI:10.12238/btr.v8i4.4726

[摘要] 本文研究了高层建筑抗震设计的优化方法并分析了现有设计中的主要问题和挑战,提出了基于性能的优化方法。本文先回顾了高层建筑抗震设计的基本原则和常见问题并深入探讨了抗震设计的力学理论与计算方法,接着研究了结构参数、形状以及性能优化方法并介绍了数值模拟与仿真技术在优化设计中的应用。通过分析典型案例展示了优化方法的实际应用效果和经济效益,展望了智能材料、减震技术等新兴技术在未来高层建筑抗震设计中的潜力和发展趋势。

[关键词] 高层建筑; 抗震设计; 优化方法; 结构优化; 数值模拟; 减震技术

中图分类号: TU761.6 文献标识码: A

Study on optimization method of seismic design of high-rise buildings

Shengfeng Wang

Chengdu Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] This paper studies the optimization method of seismic design of high-rise buildings, analyzes the main problems and challenges in existing designs, and proposes performance-based optimization technology. This paper first reviews the basic principles and common problems of seismic design of high-rise buildings and deeply explores the mechanical theory and calculation methods of seismic design. Then, it studies the optimization technology of structural parameters, shape and performance and introduces the application of numerical simulation and simulation technology in optimization design. By analyzing typical cases, the actual application effect and economic benefits of the optimization method are demonstrated, and the potential and development trend of emerging technologies such as smart materials and shock absorption technology in the future seismic design of high-rise buildings are prospected.

[Key words] high-rise building; seismic design; optimization method; structural optimization; numerical simulation; seismic reduction technology

引言

城市化进程加快,高层建筑数量不断增多,使得抗震设计在建筑工程中成为关键问题,且高层建筑抗震性能与建筑自身安全、周围环境稳定都有关系。然而传统抗震设计方法常关注结构强度和刚度,忽略了地震作用下建筑的性能需求。研究者为提高高层建筑抗震性能、减少地震灾害影响,逐渐采用像结构参数调整、形状优化、性能评估等更先进的优化设计方法,这些优化方法能提高建筑抗震能力并降低建设和维护成本,工程应用价值很重要。

1 高层建筑抗震设计概述

1.1 高层建筑抗震设计的基本原则

确保高层建筑在地震作用下结构安全、舒适且耐久是抗震设计的基本原则。要根据地震危险性分析合理选定抗震设防等级且设计地震动参数需符合规范要求,既要考虑建筑的结构强

度与稳定性,也要重视抗震性能以避免结构在地震中遭到破坏、失稳,可选用适宜的结构体系(像框架结构、剪力墙结构之类的)。作为抗震措施也可对构件进行抗震加固、改造,要重视建筑物的动力学分析并考虑建筑的固有振动特性以避免共振现象,高层建筑抗震设计需遵循结构安全、经济合理、技术可行的原则。

1.2 高层建筑抗震设计中的常见问题与挑战

在抗震设计中,高层建筑面临诸多特殊问题与挑战。建筑高度一增加结构柔性就增大,地震作用下容易有较大变形,或致使结构损坏或功能丧失。而且高层建筑地震中的动态响应复杂,震动频率、地震波传播路径等因素会影响它,常表现出非线性行为,土壤非线性效应、建筑内部人员和设备分布等多重因素。在抗震设计时得综合考虑,这让抗震设计更复杂,高层建筑结构体系多样,如何选出最合适的抗震结构形式、合理配置减震装置在

设计里也是难点,保证抗震安全的兼顾建筑功能性和经济性,在高层建筑抗震设计中仍是亟待解决的课题^[1]。

2 抗震设计的理论基础与方法

2.1 抗震设计的力学理论

抗震设计的力学理论基础主要包括弹性力学和塑性力学两方面内容,其中弹性力学多用于描述建筑受地震作用时的弹性变形以及恢复力学行为,按弹性理论建筑结构因地震产生的变形常能借由材料的应力-应变关系予以分析,而塑性力学方面建筑物遇大地震会出现塑性变形,部分结构也许会进入塑性阶段,这个过程中会产生较大的能量吸收从而让建筑物减轻受到的地震破坏程度,合理运用结构的弹塑性行为做抗震设计能有效提升建筑的抗震性能。动力学和振动分析在抗震设计里也是非常关键的,分析建筑结构的振动特性就能预测建筑在地震作用下的反应并优化设计方案。

2.2 抗震设计中的计算方法

抗震设计主要有等效静力法和动力时程分析法这两种计算方法,目前等效静力法在抗震设计中常用,它将地震作用简化并转化成静力荷载作用以方便计算建筑结构在地震时的反应,该方法适用于规则结构和低层建筑,虽然计算简单但对于结构复杂或高层建筑精确性较差。动力时程分析法是一种考虑地震波时间变化过程的动态分析方法,输入实际地震动记录就能模拟建筑在地震中的动力反应从而更精准地评估建筑结构的抗震性能,适合复杂结构和高层建筑,不过计算量很大需用数值模拟方法求解。近年来随着计算机技术的发展,这两种方法得到广泛应用且被优化,为高层建筑抗震设计提供了更精准的计算工具^[2]。

2.3 抗震设计的优化理论

抗震设计的优化理论主要包括多目标优化和遗传算法等方法。多目标优化法会把结构抗震性能、成本、施工可行性等多个设计目标一同考虑以便让设计人员在设计时作出最佳选择,在满足基本抗震要求的情况下这种方法可减少不必要的材料使用和结构加固从而降低建筑成本。遗传算法是一种典型的智能优化算法,已在抗震设计的参数优化中广泛运用且靠模拟自然选择和遗传学原理不断迭代优化设计方案在复杂设计空间找全局最优解,借助现代计算技术优化设计能在保证安全的基础上提高建筑抗震性能,减少能耗和资源浪费,从而实现高层建筑抗震设计的全方位优化。

2.4 抗震设计的规范与标准

建筑抗震安全的保证离不开抗震设计的规范与标准。国内抗震设计规范主要有《建筑抗震设计标准》(GB50011)以及《高层建筑抗震设计规范》(JGJ3),这些规范提供了高层建筑抗震设计所需的地震动参数选取、结构体系选择、构件设计要求等详细要求。国际上好多国家也有自己的抗震设计标准,如美国的《建筑抗震设计规范》(IBC)、日本的《建筑物抗震设计标准》(建物設計基準),不同地区地震风险等级不同,这些标准据此制定不同抗震要求,抗震设计理论和技术不断发展,相关规范和标

准持续更新以适应新型建筑结构和材料的需求。

3 高层建筑抗震设计的优化方法

3.1 参数优化方法

高层建筑抗震设计中,合理调整建筑结构参数(像层间刚度、质量分布和阻尼特性等)这种参数优化方法能提升建筑抗震性能,地震荷载下建筑物的抗震表现关键取决于其振动特性,优化结构刚度与质量的分布能减小地震致变形并防止共振现象在地震时出现。参数优化方法既考量建筑物强度也优化其动态响应,调整不同楼层的质量和刚度配置让建筑振动频率远离地震波主要频率区间从而大大提高抗震能力,现代计算机技术发展起来后数值模拟的参数优化方法在高层建筑抗震设计中就成了不可或缺的重要工具,设计人员利用优化算法结合复杂结构模型能高效进行参数优化,设计出更安全、经济且抗震性能好的建筑^[3]。

3.2 形状优化方法

在高层建筑抗震设计中应用形状优化方法主要靠调整建筑物几何形状提升抗震性能。地震时建筑物的形状、尺寸和结构形式会直接影响振动特性与地震响应,其高度、宽度、外立面形状、楼层布置方式等对抗震效果都有重要影响,某些不对称建筑结构地震时可能有较大扭转效应,而对称设计往往能避免。设计人员能在初期利用形状优化方法合理优化建筑物几何形状以减少地震中的振动响应,调整楼层分布、采用非对称或错层结构或者让建筑外形更流线型都有助于提高建筑在地震中的稳定性和抗震能力,并且结合现代计算机仿真和数值模拟技术,形状优化不但可用于静态分析,还能在动态荷载下全面优化以探索更广阔的设计空间。随着计算机技术和建筑设计软件不断进步,形状优化方法的应用范围和精度不断提高从而给高层建筑抗震设计提供了更灵活的方案。

3.3 基于性能的优化设计

建筑物在地震作用下的实际表现是基于性能的优化设计方法所关注的,而非仅靠传统力学分析来满足设计规范要求。这种方法重点考量建筑面对不同强度地震时的功能性、结构安全性和使用便捷性等综合性能,旨在全面评估建筑物整体性能以优化设计方案,进而确保地震时建筑物的安全性与可用性。能详细分析建筑物在不同地震情景下的响应,评估安全裕度、使用寿命以及震后能否快速恢复使用,基于性能的优化设计和传统抗震设计方法不同,更看重建筑后续功能性,尽力在地震时最大限度减少结构损伤、提升恢复能力,还对建筑物非结构部件(幕墙、隔墙之类)的影响加以评估以保证地震时整体功能不会严重受损。设计人员综合考虑建筑的安全性、功能性、舒适性和维修性等多方面并把数值模拟和优化算法相结合就能制定出更精确且具前瞻性的抗震设计方案,这样既能降低建筑地震风险又能削减灾后恢复成本。

3.4 数值模拟与仿真技术

高层建筑抗震设计中广泛应用的数值模拟与仿真技术已成为优化设计必不可少的重要工具。设计人员采用有限元分析、时

程分析等数值模拟方法能在虚拟环境全面分析建筑物地震作用下的动态响应,并且仿真方法可精确模拟建筑物地震中的振动、应力分布、变形和破坏模式,给设计人员提供更精准的参考数据。随着计算机计算能力提升、分析软件不断优化,数值模拟不但能分析线性结构,还可模拟像材料屈服、断裂、裂缝扩展这些实际现象的复杂非线性行为。数值模拟技术也支持多种复杂地震波输入分析,真实反映建筑物不同地震强度下的表现,多个设计方案经仿真分析后设计人员能评估不同抗震措施效果,进一步优化方案以确保建筑物有足够抗震能力。由于仿真技术不断进步,基于数值模拟的抗震设计方法让高层建筑设计更精确、可靠,极大提高设计效率并推动抗震设计领域技术创新发展^[4]。

4 高层建筑抗震设计优化的案例研究

4.1 典型高层建筑抗震设计案例

设计人员能从高层建筑抗震设计优化的应用案例中获取宝贵的实践经验,这些极具借鉴价值的典型抗震设计案例既详细阐述建筑抗震性能评估过程,又展现优化设计方法于实际项目的施行与成效。案例多方面进行优化,像结构形式的选定、材料的优化使用、建筑形状的调整等以提高建筑物抗震能力,部分高层住宅楼设计,选择合适框架结构形式、强化核心筒刚度、优化楼层质量分布、采用高强度建筑材料后建筑抗震能力明显增强。建筑形状优化调整,如非对称结构设计或楼层错位安排也能减少建筑地震时振动响应、防止共振现象,深入分析这些典型案例,设计人员可以更好地明白不同优化方案在实际工程中的具体成效,从而在面对不同建筑特征时能灵活选用最适宜的抗震设计技术。案例研究给设计人员提供成功经验与实践操作依据,是完善和创新抗震设计方法的重要参考,设计人员总结案例中的经验教训就能更科学地评估、优化建筑物的抗震性能,推动高层建筑抗震设计技术进一步发展和应用。

4.2 优化设计方法的应用与效果

研究高层建筑抗震设计优化方法的应用与效果就能评估优化设计对提高建筑抗震性能的实际成效。有些优化设计案例采用结构参数优化、形状优化、性能评估等综合性优化方法使得建筑在地震中的响应有显著改善,优化设计不但增强建筑物安全性还在一定程度上削减建筑成本。像某些案例优化楼层质量分布和刚度分布使建筑振动响应明显减少且抗震能力得以提升,而且优化设计方法能减少建筑物抗震时的非弹性变形从而延长建筑使用寿命,这表明优化设计在高层建筑抗震设计中有效可行。

4.3 新技术在抗震设计中的应用

高层建筑抗震设计应用新技术,如智能材料、减震技术等起了很大作用,抗震设计发展迅速。现代高层建筑抗震设计广泛应用智能材料(如形状记忆合金、压电材料)和新型减震装置(如阻

尼器、隔震支座),这些技术能有效减少地震荷载对建筑的影响且在建筑地震响应时可实时调节,智能材料自适应和自恢复能力佳,能使建筑物在地震后快速恢复原样,而减震技术吸收和消耗地震能量,降低地震波对建筑物的影响,使建筑物抗震性能更好,随着新技术不断进步应用,现代高层建筑抗震设计更加高效可靠^[5]。

4.4 高层建筑抗震设计的未来发展方向

高层建筑抗震设计在未来主要朝着智能化、绿色化和多功能化理念发展。随着建筑信息模型(BIM)、人工智能(AI)等新兴技术发展起来,会让未来抗震设计更智能、更自动化,能实时模拟分析建筑在地震中的状况并优化设计方案。而且随着环保意识增强,绿色建筑技术的引入会促使抗震设计往节能、环保方向发展,以后建筑既要具备抗震功能也要考虑能源效率、可持续发展等多方面要求。随着对建筑安全性要求的提高,抗震设计研究不断创新,高层建筑在地震中的表现不断提升,建筑物长期安全与耐久性就有保障了。

5 结论

高层建筑抗震设计优化研究中建筑技术不断发展创新,优化设计方法的应用已获显著进展,参数优化、形状优化、性能优化和数值仿真技术等手段让设计人员可有效提升高层建筑抗震性能、减少地震对建筑破坏。典型案例展示了这些技术的实际效果,证明优化设计既能提高建筑安全性又能在一定程度上降低施工成本和减少材料浪费。智能材料、减震技术及建筑信息模型等新技术不断引入使未来高层建筑抗震设计会更高效、智能和绿色化,为应对地震灾害挑战提供更可靠的解决方案,高层建筑抗震设计优化对确保建筑物安全、推动建筑行业可持续发展和提高城市抗震能力有着重要的积极作用。

[参考文献]

- [1]郑子超.高层建筑结构抗震设计与优化方法研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(13):71-73.
- [2]王生.高层建筑结构抗震设计优化措施[J].中国住宅设施,2024(10):31-33.
- [3]吴未.超限高层建筑抗震设计方法的探究[J].大众科技,2023,25(12):68-70.
- [4]李秋林.高层建筑钢结构抗震设计原则及优化研究[J].中国建筑金属结构,2023,22(10):151-153.
- [5]杨洪志.高层建筑结构抗震加固设计方法研究[J].砖瓦,2023(6):86-89.

作者简介:

王圣峰(1989--),男,汉族,四川省眉山市人,大学本科,中级工程师,研究方向:结构工程。