

Discussion on the seismic performance analysis and design method of high-rise buildings

Xiaodong Wang

Taohe Ecological Construction Management and Protection Center, Yeliguan National Forest Park, Lintan, Gansu, 747500, China

Abstract

With the acceleration of the urbanization process, the proportion of high-rise buildings in the modern cities is increasing day by day, but the seismic performance problem of high-rise buildings is still a challenge to be solved urgently. This paper discusses the seismic performance analysis and design methods of high-rise buildings, and analyzes the characteristics and seismic requirements of high-rise buildings, and studies the current common seismic analysis methods and design concepts, especially the application of dynamic analysis and statics analysis and seismic damping technology. Combined with relevant codes and standards, this paper summarizes the present situation and development trend of seismic design of high-rise buildings. Through the case analysis of typical high-rise buildings, the application effect of different design methods in practice and the improvement of seismic performance are verified. Finally, this paper proposes an optimization strategy to improve the seismic performance of high-rise buildings, to provide theoretical guidance and practical basis for the seismic performance of high-rise buildings, to provide theoretical guidance and practical basis for the seismic design of high-rise buildings in the future.

Keywords

high-rise building; seismic performance; design method; dynamic analysis; shock absorption technology

高层建筑结构抗震性能分析与设计方法探讨

王晓东

洮河生态建设管护中心冶力关国家森林公园, 中国·甘肃 临潭 747500

摘要

随着城市化进程的加速, 高层建筑在现代城市中的比重日益增加, 然而高层建筑的抗震性能问题仍然是一个亟待解决的挑战。本文探讨了高层建筑结构抗震性能分析与设计方法, 通过分析高层建筑结构的特点及其抗震需求, 研究了当前常用的抗震分析方法和设计理念, 特别是动力学分析、静力学分析及抗震减震技术的应用。结合相关规范和标准, 本文总结了高层建筑抗震设计的现状与发展趋势。通过对典型高层建筑的案例分析, 验证了不同设计方法在实际中的应用效果及其抗震性能的提升。最后, 本文提出了提高高层建筑抗震性能的优化策略, 为未来高层建筑的抗震设计提供理论指导与实践依据。

关键词

高层建筑; 抗震性能; 设计方法; 动力学分析; 减震技术

1 引言

高层建筑作为现代城市的主要建筑形式, 其安全性直接关系到人民生命财产的保护。随着高层建筑的高度不断增加, 建筑结构在地震等自然灾害面前所承受的负荷也日益增大, 因此, 如何提高高层建筑的抗震性能已成为建筑领域的重要研究课题。本文将重点分析高层建筑的抗震性能分析方法和设计技术, 探讨现有设计方法的应用现状, 并针对抗震设计中常见的问题提出改进意见, 为未来高层建筑的抗震设计提供参考^[1]。

【作者简介】王晓东(1977-), 男, 中国甘肃静宁人, 工程师, 从事建筑工程研究。

2 高层建筑结构抗震性能概述

2.1 高层建筑结构的特点

高层建筑结构通常具有较大的高度和复杂的功能分区, 常常设计为框架结构、剪力墙结构或框架-剪力墙组合结构。这些建筑由于其较高的自重和较大的空间跨度, 容易受到风荷载和地震荷载的影响。随着建筑物高度的增加, 结构的抗弯、抗扭和抗剪能力需求也随之增大, 尤其是由于风和地震引起的振动效应更加显著。高层建筑的结构常常需要考虑到柱、梁和楼板的连接方式以及抗震构件的合理布置, 以确保建筑物在强震条件下的稳定性与安全性。同时, 由于高层建筑楼层多, 结构的各个部分可能在不同频率的作用下产生共振现象, 因此, 抗震设计不仅要考虑建筑物的整体刚度, 还要考虑每层的震动特性。

2.2 高层建筑抗震性能的影响因素

高层建筑的抗震性能受多种因素的影响,主要包括建筑结构的形式、材料的特性以及建筑所处的地震环境。结构形式的选择直接影响建筑的刚度和强度,如框架结构和剪力墙结构在抗震性能上的表现不同。此外,材料的力学性能和耐震性能也对抗震设计产生重要影响,混凝土、钢材等材料的抗压、抗拉和抗剪能力在地震中起到关键作用。建筑的地理位置和地震带划分决定了地震荷载的大小和频率,地震活动频繁地区的建筑需设计为更高水平的抗震能力。建筑物的几何形状和质量分布也会对抗震性能产生重要影响,不规则形状的建筑容易导致震动能量集中,从而增加地震损害风险。

2.3 高层建筑抗震设计的发展趋势

近年来,高层建筑抗震设计理念逐渐从传统的刚性抗震转向柔性抗震和减震技术相结合的方向。随着对建筑物动态响应的研究不断深入,现代抗震设计更加注重结构的振动控制和能量耗散能力。减震技术的应用,如隔震层、阻尼器和自适应控制系统,已经成为提高高层建筑抗震性能的重要手段。除此之外,计算机模拟和有限元分析技术的进步,使得抗震设计能够更加精确地预测建筑在地震荷载下的表现,优化设计方案,减少设计成本。随着建筑材料的不断创新,新的高性能材料也在抗震设计中得到了应用,例如高强度钢材和复合材料,这些材料具有更好的延展性和抗震韧性,能够有效增强建筑的抗震能力。未来,高层建筑抗震设计将更加注重多学科的综合协作,实现更加精准、经济和环保的抗震设计^[2]。

3 高层建筑抗震性能分析方法

3.1 动力学分析方法

动力学分析方法是研究高层建筑在地震作用下响应的关键技术之一。通过建立建筑物的动力学模型,分析结构的自然频率、振型及地震激励下的振动特性,可以评估其在地震作用下的动态响应。该方法通常包括时程分析和反应谱分析,时程分析适用于考虑复杂地震波的作用,能够更精确地模拟建筑的非线性动态响应。反应谱分析则通过利用地震反应谱曲线,简化分析过程,适用于线性结构的分析。在动力学分析中,结构的质量、刚度及阻尼特性需要详细考虑。对于高层建筑,特别是高度较高的建筑,动力学分析显得尤为重要,因为它能够揭示建筑在地震中的振动特性和可能的共振现象,确保设计中能够有效控制振动并减少震害。

3.2 静力学分析方法

静力学分析方法是基于地震力作用下的建筑结构响应分析,通过假设建筑物在地震作用下的响应为静态平衡问题进行研究。这种方法通常采用等效静力法,假设建筑物在地震荷载作用下的变形可以通过一组等效的静力荷载来表示。在高层建筑抗震设计中,静力学分析可以为结构的刚度和强

度设计提供初步依据。尽管静力学分析方法较为简便,但它忽略了建筑物的动态效应,通常适用于地震荷载较小或建筑物较为简单的情况下。在实际应用中,静力学分析往往作为动力学分析的补充,尤其在设计初期,通过静力学分析可以初步判断建筑结构的承载能力和稳定性。

3.3 计算模型与软件工具

随着建筑设计的复杂性不断提高,计算模型和软件工具在高层建筑抗震性能分析中发挥着至关重要的作用。常见的计算模型包括有限元模型和集中质量模型,前者可以准确模拟建筑物的整体和局部响应,后者则用于简化分析,适用于较为理想化的建筑结构。在实际分析中,计算软件的选择非常关键,目前有许多专业的抗震分析软件,如 SAP2000、ETABS、ANSYS 等,它们可以处理复杂的结构模型和地震加载条件,提供精确的动态响应分析。通过这些软件,工程师能够对建筑结构的抗震性能进行深入分析,评估不同设计方案的效果,并根据分析结果进行优化设计。随着计算机技术的发展,未来抗震设计软件将更加智能化和精细化,能够提供更多基于实测数据和现场情况的定制化分析。

4 高层建筑抗震设计方法

4.1 基础抗震设计

基础抗震设计是确保建筑物抗震能力的关键环节。高层建筑的基础设计不仅要承受建筑物自重,还需抵抗地震带来的水平力和竖向力。在设计时,首先需要考虑地基土的承载力和变形特性。对于建筑物的基础类型,常见的有条形基础、筏板基础和桩基础等。在地震作用下,建筑物的基础需要具有足够的刚度与强度以避免基础下沉和倾斜。根据规范要求,对于位于 7 度及以上地震区的建筑,其基础设计抗震烈度需达到相应标准。例如,采用桩基础时,桩的数量、桩基深度和桩身材料需要根据地震区的土壤条件和建筑物荷载进行计算。数据表明,在 7 度地震区的高层建筑,基础的抗震设计应当使其抗震系数达到 0.15 以上,确保地震期间建筑物基础的安全稳定。此外,基础的沉降控制也是重要内容,常采用沉降差在 20mm 以内的设计标准,避免基础不均匀沉降导致建筑物破坏^[3]。

4.2 上部结构抗震设计

上部结构的抗震设计主要关注建筑物在地震荷载作用下的整体抗震性能。高层建筑的上部结构通常由梁、柱、楼板等组成,其中梁柱节点的抗震设计至关重要。地震荷载作用下,建筑物上部结构会产生一定的变形,设计时需确保结构的韧性,避免脆性断裂。高层建筑中,柱和梁的抗震设计应当考虑足够的抗剪和抗弯能力。根据《建筑抗震设计规范》的要求,抗震等级较高的建筑,柱的截面抗弯承载力必须达到规定的标准,且柱的最小尺寸需不小于 500mm×500mm。在高层建筑设计中,针对地震作用进行强度和刚度优化,通常要使建筑物的最大位移不超过建筑物

高度的 1/500，确保建筑物的变形不超过规定值。对于特定高度的高层建筑，设计中还应考虑建筑物的固有频率与地震频率的匹配，避免共振现象的发生。数据表明，在高于 15 层的建筑中，合理分配竖向与水平抗震构件的比例，有助于提高抗震性能，图 1 为高层建筑抗震性能提升框架示意图。

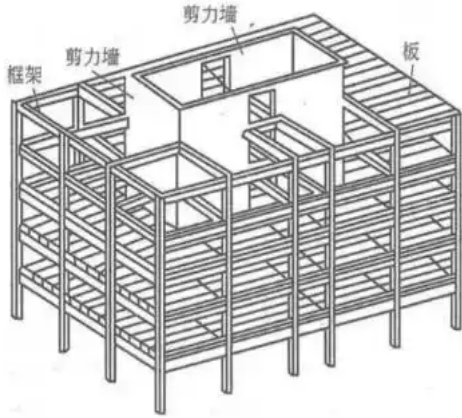


图 1 高层建筑抗震性能提升框架示意图

4.3 建筑物的减震与隔震技术

减震与隔震技术在高层建筑的抗震设计中得到了广泛应用，尤其是在高风险地震区域。减震技术主要通过引入阻尼装置来消耗地震能量，从而降低建筑物的振动幅度。例如，阻尼器可以安装在建筑物的结构节点之间，吸收震动能量，降低结构响应。常见的减震装置有粘滞阻尼器、摩擦阻尼器和调谐质量阻尼器等。在实践中，某些高层建筑的减震效果能够减少约 40% 至 50% 的结构振动。隔震技术则通过设置隔震层将建筑物与地面隔离，减少地震波传递至建筑物上部。隔震层通常由橡胶支座和金属支座组成，这些支座能够在地震发生时提供弹性变形，吸收地震能量，从而有效隔离地震波。在一些实际项目中，采用隔震技术的建筑物，其地震加速度能够减少 60% 以上。

4.4 风险分析与抗震设计优化

风险分析与抗震设计优化是高层建筑抗震设计的重要步骤。风险分析通过考虑建筑所在地区的地震历史、地质条件和建筑结构特点，评估建筑物在地震中的潜在风险。在进行抗震设计时，首先需要分析地震带及其对应的烈度等级，结合建筑物的抗震设防标准进行设计。根据不同地震强度的分布规律，设计时可以使用概率地震荷载模型进行优化，从

而为建筑物提供更合理的抗震保护。通过合理优化设计，建筑物的抗震性能可以提高 20% 至 30%。对于高度较高的建筑，还需要考虑施工周期和经济成本的平衡，通过多次分析和优化，使得设计方案既满足抗震要求，又具备经济可行性。

5 高层建筑抗震性能优化研究

结构优化方法通过对高层建筑的构件和布局进行合理调整，提高建筑的抗震性能。在高层建筑设计中，结构的刚度和强度对抗震能力至关重要，优化设计可以通过合理分配不同构件的承载能力来实现。通过运用拓扑优化、形状优化等先进方法，设计师能够根据建筑的使用需求和地震荷载条件，优化建筑物的结构配置。优化方案通常包括调整梁、柱的尺寸，改变楼板的布置方式，并通过增加剪力墙或核心筒来提高建筑的抗震性能。

在高层建筑抗震性能优化中，材料的选择和构造措施发挥着至关重要的作用。现代建筑常采用高强度钢材和高性能混凝土等材料，这些材料具有较高的延展性和抗震韧性，能够在地震中更好地吸收和消耗地震能量。结构的构造措施也对抗震能力起到重要作用，合理的构造设计可以有效防止震后结构的脆性断裂。通过综合应用新型高性能材料和精细化的构造措施，能够显著提升建筑物在地震中的抗震性能和韧性。

6 结语

高层建筑抗震性能的研究和设计是建筑工程领域的重要课题。随着城市化进程的不断推进，高层建筑数量逐年增加，抗震安全性问题日益受到关注。通过对高层建筑结构特点、抗震分析方法、设计技术以及优化策略的深入研究，可以为建筑物提供 stronger 的抗震保障，确保在地震发生时最大程度地减少损失。现代抗震设计逐步向智能化、精细化方向发展，结构优化、材料创新及减震隔震技术的广泛应用，已成为提升建筑抗震性能的有效手段。

参考文献

- [1] 龙露,张恒.钢结构高层建筑抗震加固技术研究与应用分析[J].工程技术研究,2025,10(02):95-97.
- [2] 叶浩.浅析超限高层建筑抗震结构设计——以南沙某盖板工程为例[J].中国建筑装饰装修,2024,(24):118-121.
- [3] 沈忠伟.消能减震技术在建筑抗震设计中的应用研究[J].工程与建设,2024,38(06):1410-1411+1416.