

高层建筑结构抗震性能与优化设计分析

●唐 健 孟改香 王有良 宋光强 汤礼朋



[摘要] 本文旨在深入探讨高层建筑结构的抗震性能与优化设计策略。随着城市化进程的加速,高层建筑作为城市天际线的重要组成部分,其抗震性能直接关系到人们生命财产安全。通过对高层建筑在地震作用下的受力特性、结构形式、材料选择及构造方式等方面的详细分析,本文揭示了影响高层建筑抗震性能的关键因素。在此基础上,进一步提出了包括增加结构刚度、优化结构体系、改进连接节点,以及采取防护措施在内的多项优化设计策略,旨在提高高层建筑的抗震能力。通过对比分析和实际案例研究,验证了这些优化设计策略的有效性和可行性。本文的研究不仅为高层建筑抗震设计提供了理论支持和实践指导,也为未来高层建筑抗震性能的持续提升奠定了坚实基础。

[关键词] 高层建筑;抗震性能;优化设计;结构形式;材料选择

地震作为一种突发性的自然灾害,其破坏力巨大,对高层建筑结构构成了严重威胁。随着城市化进程的加快和人口密度的增加,高层建筑作为城市的主要居住和办公空间,其抗震性能的好坏直接关系到人们的生命财产安全。因此,如何提高高层建筑的抗震性能,确保其在地震作用下的安全性和稳定性,成了当前工程界和学术界亟待解决的重要课题。本文将从高层建筑结构的抗震性能分析入手,通过对高层建筑在地震作用下的受力特性、结构形式、材料选择及构造方式等方面的深入研究,揭示影响高层建筑抗震性能的关键因素。在此基础上,本文提出了一系列优化设计策略,旨在通过科学合理的设计手段,提高高层建筑的抗震能力,降低其在地震作用下的破坏风险。本文的研究不仅具有重要的理论价值,而且为高层建筑抗震设计提供了实践指导,对于推动高层建筑抗震技术的进步和发展具有重要意义。

Q 高层建筑结构抗震性能分析

(一)地震频谱特性与高层建筑受力分析

(1)地震频谱曲线的获取与解读。地震频谱曲线是描述地震波在不同频率下能量分布的重要工具。它反映了地震波的特性,包括振幅、频率和持续时间等。在高层建筑抗震性能分析中,需要获取目标区域的地震频谱曲线,并根据其特性来解读地震对高层建筑可能产生的影响。这包括评估地震波对高层建筑结构的动力响应,以及确定结构在地震作用下的最大应力、应变和位移等。(2)高层建筑在地震作

用下的受力特点。高层建筑在地震作用下的受力特点主要表现为结构整体的动态响应。由于高层建筑的高度和重量,在地震波作用下会产生较大的惯性力和变形。这些力和变形在结构内部传播,可能导致结构构件的屈服、断裂或整体失稳。因此,高层建筑抗震设计需要特别关注结构的动力特性和整体稳定性,以确保在地震作用下结构的安全性和可靠性。

(二)高层建筑结构形式与抗震性能

高层建筑的结构形式多种多样,常见的包括框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构等。这些结构形式在抗震性能上各有特点。

(1)框架结构。框架结构主要由梁和柱组成,具有较大的灵活性和空间利用率。然而,由于框架结构的侧向刚度相对较小,其抗震性能相对较弱。在地震作用下,框架结构容易产生较大的侧向变形和层间位移,需要采取额外的抗震措施来提高其稳定性。(2)剪力墙结构。剪力墙结构由一系列混凝土墙组成,具有较高的侧向刚度和承载力。在地震作用下,剪力墙结构能够有效地抵抗侧向变形和层间位移,因此具有较好的抗震性能。然而,剪力墙结构的空間利用率相对较低,且施工难度较大。(3)框架-剪力墙结构。框架-剪力墙结构结合了框架结构和剪力墙结构的优点,既具有较大的空间利用率,又具有较高的侧向刚度和承载力。在地震作用下,框架-剪力墙结构能够充分发挥两者的优势,发挥较好的抗震性能。

(三)材料与构造方式对抗震性能的影响

在高层建筑抗震设计中,材料和构造方式的选择对结构的抗震性能具有重要影响。

(1)材料选择的重要性。材料的选择直接关系到结构的强度和刚度。高强度、高韧性的材料能够更好地抵抗地震作用下的变形和破坏。例如,钢材和混凝土等高强度材料在高层建筑结构中得到了广泛应用。(2)刚度设计。结构的刚度是影响其抗震性能的关键因素之一。通过合理的刚度设计,可以减小结构在地震作用下的变形和位移,提高结构的稳定性和安全性。这包括优化结构的几何尺寸、选择合适的截面形状和尺寸等。(3)连接节点优化。连接节点是结构中的薄弱环节,其性能直接影响到结构的整体稳定性和抗震性能。通过优化连接节点的设计,可以提高节点的承载力和延性,从而增强结构的抗震能力。这包括采用合理的连接方式、加强节点的构造措施等。

Q 高层建筑结构抗震优化设计

(一)增加结构刚度以提高抗震性能

在高层建筑结构抗震优化设计中,增加结构刚度是提升抗震性能的重要手段。这主要通过以下两个方面来实现。

1.材料选择与截面设计优化

(1)材料选择。选用高强度、高韧性的建筑材料,如高强度钢材、高性能混凝土等,以提高结构的整体刚度和承载能力。(2)截面设计优化。通过合理的截面形状和尺寸设计,如采用宽翼缘H型钢、矩形或圆形截面柱等,以增大结构的截面惯性矩和刚度,从而减小结构在地震作用下的变形。

2.合理的几何尺寸设计

(1)高度与跨度。在满足使用功能的前提下,合理控制建筑的高度和跨度,避免过高的建筑增加地震作用下的动力响应。(2)层间位移角控制。通过设计合理的层间位移角限值,确保结构在地震作用下能够保持足够的刚度,避免过大的层间位移导致结构破坏。

(二)优化结构体系以提高抗震性能

选择合适的结构体系对于高层建筑抗震性能至关重要。

1.选择合适的结构体系

(1)框架结构。适用于低层或中层建筑,对于高层建筑需结合其他结构形式以提高抗震性能。(2)剪力墙结构。具有较高的侧向刚度,适用于高层建筑,但需注意空间利用率的平衡。(3)框架-剪力墙结构。结合了框架和剪力墙的优点,适用于高层和超高层建筑,能够提供较好的抗震性能。(4)筒体结构。如核心筒、束筒等,具有极高的侧向刚度,适用于超高层建筑。

2.避免对高层建筑整体抗震产生不利影响的设计

(1)不规则形状。避免建筑形状过于不规则,以减少地

震作用下的扭转效应。(2)刚度突变。避免结构刚度在楼层间发生突变,以减少地震作用下的应力集中和破坏。(3)质量分布。合理控制建筑的质量分布,避免质量过大的楼层或构件对结构整体抗震性能的不利影响。

(三)连接节点的优化

连接节点是高层建筑结构中的薄弱环节,其性能直接影响结构的整体稳定性和抗震性能。

1.采用合适的连接方式和材料

(1)连接方式。如焊接、螺栓连接等,需根据结构形式和受力特点选择合适的连接方式。(2)材料选择。连接节点应选用与主体结构相匹配的高强度材料,以确保节点的承载能力和延性。

2.增强结构的整体稳定性

(1)节点加强。通过增加节点处的截面尺寸、设置加劲肋等措施,提高节点的承载能力和稳定性。(2)构造措施。如设置预埋件、采用焊接或螺栓连接的加强板等,以增强节点的连接强度和整体稳定性。

(四)防护措施的设计

为了进一步提高高层建筑的抗震性能,还需采取一系列防护措施。

1.设置防震减灾设施

(1)隔震层。在结构底部设置隔震层,通过隔震支座等装置隔离地震波对上部结构的直接作用。(2)耗能减震装置。如阻尼器、耗能支撑等,能够吸收和耗散地震能量,减小结构的地震响应。

2.采用阻尼控制技术

(1)主动控制。通过传感器、作动器等设备实时监测和控制结构的动态响应,实现主动减震。(2)半主动控制。结合主动控制和被动控制的优点,通过调整控制参数来优化结构的抗震性能。(3)被动控制。如调谐质量阻尼器(TMD)、调谐液体阻尼器(TLD)等,利用结构的动力特性来耗散地震能量。

综上所述,高层建筑结构抗震优化设计需要从增加结构刚度、优化结构体系、连接节点优化,以及防护措施设计等多个方面入手,以确保结构在地震作用下的安全性和稳定性。

Q 高层建筑结构抗震优化设计案例分析

(一)上海中心大厦抗震设计案例

上海中心大厦作为我国乃至世界著名的超高层建筑,其抗震设计堪称典范。以下是对其抗震设计特点的详细分析。

1.超限比设计理念的应用

上海中心大厦在抗震设计中采用了超限比设计理念,即

在设计时考虑了超过常规标准的荷载和变形要求,以确保结构在极端条件下的安全性和稳定性。这一理念的应用使得大厦能够抵御更强烈的地震作用,提高了结构的整体抗震性能。

2.特殊构造设计

(1)铅芯型摆设减震器。上海中心大厦采用了铅芯型摆设减震器,这是一种有效的耗能减震装置。在地震作用下,减震器能够吸收和耗散地震能量,减小结构的地震响应,从而保护主体结构不受损坏。(2)双层剪力墙。大厦还设计了双层剪力墙结构,这种结构形式能够进一步提高结构的侧向刚度和承载能力。在地震作用下,双层剪力墙能够有效抵抗侧向变形,保持结构的整体稳定性。

3.梁柱节点的优化设计

上海中心大厦在梁柱节点的设计上也非常注重优化。通过合理的节点构造和连接方式,提高了节点的承载能力和延性,增强了结构的整体稳定性。同时,节点处的加强措施也有效地防止了地震作用下的破坏和失效。

(二)其他高层建筑抗震设计案例

除了上海中心大厦外,还有许多其他高层建筑在抗震设计上也取得了显著成就。以下是对几个典型案例的对比分析。

1.尖山青年公寓

(1)设计特点。采用了层间剪力墙结构和反应质量调整技术,通过合理调整质量分布来减小建筑物的震动。(2)成功经验。成功抵御了多次地震的袭击,证明了其抗震设计的有效性和可靠性。

2.加拿大科技大楼

(1)设计特点。采用了混凝土框架结构,并在结构中加入了钢筋混凝土核心筒来提供额外的抗震支撑。(2)成功经验。通过一系列抗震分析和试验,确保了结构在地震时的稳定性和安全性。

3.日本东京电视台塔楼

(1)设计特点。增加了大量的钢结构材料,并加入了摇摆减震器来抵消地震产生的力量。(2)成功经验。这一设计大大提高了建筑物的抗震性能,使其成为地震频繁地区的标志性建筑之一。

4.综合对比分析

(1)共同特点。这些高层建筑在抗震设计中都注重结构的整体稳定性和承载能力,采用了有效的耗能减震装置和特殊构造设计来提高抗震性能。(2)成功经验。通过精确的地震监测、合理的结构布置、优化的材料选择和连接方式等措施,这些高层建筑成功地抵御了地震的袭击,保障了人员的生命安全和财产安全。(3)不足之处。尽管这些高层建筑的抗震设计取得了显著成就,但仍存在一些不足之处。

例如,在某些极端条件下,结构的抗震性能可能仍需进一步提高;同时,抗震设计也需要考虑经济性和可行性的平衡。

综上所述,高层建筑结构抗震优化设计是一个复杂且重要的任务。通过借鉴成功的抗震设计经验和手段,结合具体的工程实际情况,可以不断提升高层建筑的抗震性能,为人们提供更加安全和稳固的居住环境。

Q 结束语

城市化速度加快和人口密度增加导致高层建筑增多,其抗震性能分析与优化设计变得关键。本文全面探讨了高层建筑抗震性能,包括地震频谱特性、结构受力、形式、材料、构造方式的影响,以及抗震设计策略和案例分析。理论上,文章分析了地震频谱特性对高层建筑受力的影响,不同结构形式的抗震差异,以及材料和构造方式在提升抗震性能中的作用,为理解抗震机理打下基础。实践中,以上海中心大厦为例,提炼出超限比设计、特殊构造设计、梁柱节点优化等抗震设计策略,为其他建筑提供参考。高层建筑抗震性能分析与优化设计是一个持续复杂的过程,需不断更新理论和方法以适应更高抗震需求和复杂工程实际。期待未来高层建筑抗震设计更加注重结构整体性和协同性,通过精细化设计和优化实现最优性能,并加强跨学科合作、应用最新研究成果提升抗震性能。

参考文献

- [1]孙波,阚和顺,孙经纬,等.高层建筑结构抗震性能处理措施分析与设计[J].四川建材,2023,49(07):37-39.
- [2]舒丞.某山地高层建筑地震反应分析及抗震优化设计研究[D].昆明:昆明理工大学,2022.
- [3]彭茹.超限高层建筑结构抗震性能设计及受力分析[J].粉煤灰综合利用,2021,35(03):8-12,71.
- [4]张春明.高层建筑结构抗震性能处理措施分析与设计[J].房地产世界,2020(24):32-34.
- [5]曹维科,秦世奇,王浩屹.高层建筑结构抗震性能处理措施分析与设计[J].城市建设理论研究(电子版),2020(17):93.

作者简介:

唐健(1979—),男,汉族,陕西安康人,本科,高级工程师,陕西绿建森城检测技术有限公司,研究方向:工业与民用建筑。

孟改香(1984—),女,汉族,陕西西安人,本科,高级工程师,陕西朗宏项目管理有限公司,研究方向:工业与民用建筑。

王有良(1987—),男,汉族,陕西商洛人,本科,高级工程师,陕西中岩工程勘察有限公司,研究方向:测绘工程。

宋光强(1979—),男,汉族,陕西西安人,大学专科,工程师,陕西竹森建筑工程有限公司,研究方向:建筑工程。

汤礼朋(1981—),男,汉族,陕西安康人,本科,工程师,安康福顺意建筑工程有限公司,研究方向:工业与民用建筑。