

高层民用建筑结构的抗震设计要点研究

杨娟

广东省建筑设计研究院集团股份有限公司第二建筑设计研究院 广东深圳 518000

摘要: 随着城市化进程的加速,高层民用建筑在城市中越来越普遍。由于其规模大、结构复杂,如何确保高层建筑在地震等自然灾害下的安全性和功能性,成为了建筑设计中的一项重要课题。抗震设计不仅关系到人们的生命安全,还影响着社会的稳定和经济的发展。因此,深入研究高层民用建筑的抗震设计要点,对提升建筑抗震能力,降低震害损失具有重要的现实意义。针对这一背景,开展高层民用建筑结构抗震设计的研究,不仅能够为建筑行业提供理论支持,更为实际工程提供科学依据,推动建筑抗震技术的创新与发展。

关键词: 高层民用建筑; 建筑结构; 抗震; 设计要点

引言

近年来,全球范围内频繁发生地震灾害,尤其是在地震带区域,建筑物的抗震性能显得尤为重要。我国地处多地震带,面临着较高的地震风险。根据统计数据,地震所造成的破坏往往集中在高层建筑上,这些建筑因其高度和相对脆弱的结构形式,常常无法有效抵御强震的冲击。因此,加强高层民用建筑的抗震设计研究,提高其抗震能力,是保障人民生命财产安全和社会经济持续发展的重要措施。

一、高层民用建筑的特点

(一) 高层建筑的定义和分类

高层建筑一般是指高达到某一标准以上的建筑,该标准各地、各国都有差异。在我国的传统观念中,一般情况下,高度超出24米的建筑物通常被分类为高层建筑,但在某些国际规范里,高层建筑的高度限制可能被设定得更为严格。高层建筑按其建筑高度及使用功能可划分为若干类,主要有居住、办公、商业及综合性建筑。高层住宅建筑以城市居民居住空间为主,一般都有多层公寓以满足居住需求;办公大楼主要是为了提供办公场所,并常常配备先进的设备以确保企业的正常运营;商业建筑主要以提供零售和餐饮服务为核心,以吸引更多的消费者。

从技术分类来看,高层建筑可按结构形式及抗震设计要求分类。主要的结构类型有框架结构、剪力墙结构和筒中筒结构。框架结构由于其灵活性、经济性等特点广泛应用于高层建筑,剪力墙结构由于其抗震性能优异得到了普遍使用,筒中筒建筑适合超高层建筑使用,具有良好的抗风、抗震能力。伴随着建筑技术与材料的进步,高层建筑设计理念与结构形式不断发展变化,满足现代城市发展需要。

(二) 高层建筑的结构特征

由于建筑物的高度不断提高,其重量及风荷载等因素的作用也越来越显著,所以在设计中必须要考虑建筑物的整体稳定性及抗风性。高层建筑中一般都会使用框架、剪力墙以及筒中筒来提供充足的承载能力以及抗震性能。框架结构能有效地分担建筑物垂直荷载与水平荷载,灵活性好、适应性强、适用于不同功能要求灵活布置;剪力墙结构的设计目的是通过增强墙体的刚性和稳固性,从而提升建筑对地震的抵抗力,并降低在地震影响下的横向移位;筒中筒结构为超高层建筑提供了一种高效的抗风和抗震解决方案,通过将内外筒体紧密结合,使得整体结构更加稳固。

另外,高层建筑一般都安装有现代化电梯系统来适应垂直交通需求和促进空间利用效率。因高度及功能多样,高层建筑中管道、电气等设施布置还需精心设计才能保证使用安全方便。与此同时,因为高层建筑能源消耗比较大,为了达到可持续发展与环境保护的目的,愈来愈多新型节能技术与绿色建筑设计理念不断地被提出。这些结构特征使高层建筑成为现代城市的一个重要组成部分和城市景观。

(三) 高层建筑的抗震要求

高层建筑的抗震要求主要体现在其设计和构造的各个方面,以确保在地震发生时能够有效保护人员安全和建筑物的使用功能。按照《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010),高层建筑的抗震设计需要根据地震烈度、场地条件和建筑物的使用重要性等级进行分类。在中国,建筑抗震设计通常需满足达到6度到9度地震烈度的要求,具体标准依据建筑所在的地震带而定。

为了提高抗震性能,建筑的结构形式需合理选择,常用的抗震结构形式包括框架结构、剪力墙结构和混合

结构等。例如，剪力墙的设计在高层建筑中必须确保墙体的高度和厚度，通常剪力墙的厚度不应小于200毫米，以便提升其刚度和强度。同时，节点的构造也是抗震设计的一项关键内容，节点的强度和韧性需要通过合理的钢筋配置和混凝土强度等级来实现。一般情况下，混凝土的强度等级应达到C30及以上，以应对地震中的侧向力作用。

在基础设计方面，恰当的设计策略能够显著提升建筑物抵御地震的能力，常见的做法包括采用桩基或与之对比的天然基础，这些设计需严格符合沉降控制标准，以避免因土壤条件差异导致的长期不均匀沉降问题，这种沉降虽非地震直接引起，但可能影响结构在地震中的表现。同时，在建筑物的顶部或关键结构部位安装减震装置，如隔震支座和阻尼器，是有效减少地震波对建筑物影响的关键措施。这些抗震设计措施的综合应用，旨在增强高层建筑在地震条件下的稳定性和安全性，尽可能减小潜在的地震损害，特别是针对地震可能引发的土壤液化等特殊情况提供额外的防护。

二、抗震设计规范与标准

抗震设计规范与标准在高层民用建筑的设计中扮演着至关重要的角色，它们通过一系列具体参数和技术要求，确保了建筑物在地震等自然灾害中的安全性能。

首先，在地基处理上，规范通常要求高层民用建筑的地基应打在坚固的岩石深处，以便能够随着震动一起移动，减少地震对建筑物的影响。这一要求基于地基的稳固性对于抗震性能的重要性。

其次，在结构材料方面，高层民用建筑普遍采用钢筋混凝土等抗震材料，这些材料的抗震强度等级需符合国家规定的标准。例如，钢筋混凝土结构的抗震设计通常要求达到一定的强度和刚度指标，以确保在地震作用下的稳定性和安全性。

再者，对于结构形式与布置，规范强调高层民用建筑应采用合理的结构形式，如框架-剪力墙结构、剪力墙结构等，这些结构形式具有更好的抗震性能。同时，建筑结构的平面布置也应尽量简单、对称规则，以避免地震时产生过大的扭转效应。

此外，抗震设计规范与标准还引入了地震作用的设计地震动参数、结构的抗震设防烈度和结构的抗震性能要求等关键参数。其中，地震作用的设计地震动参数通常根据地震活动性质和建筑物的特点确定；结构的抗震设防烈度则根据地震烈度区划图确定，我国将地震烈度分为10度，其中8度以上为高烈度地震，高层建筑的抗震设防烈度应至少达到8度；结构的抗震性能要求则包括结构的延性、耗能能力等指标，这些指标对于评估建筑物在地震中的安全性具有重要意义。

最后，在结构连接设计上，规范通常要求使用高强度的连接件，并确保连接的可靠性和耐久性。这些连接件在地震时能够承担巨大的剪力和拉力，从而保持结构的整体稳定性。

三、高层建筑抗震设计要点

（一）结构体系选择

通常情况下，抗震性能较好的结构体系可以有效抵抗地震引起的横向力。常用的抗震结构体系主要有框架结构、剪力墙结构和框架与剪力墙相结合等。框架结构由于具有极好的延性与整体性而被广泛应用于低层建筑，但是高层建筑抗侧力能力比较弱，需借助于其他构造措施来增强抗震性能。剪力墙结构因其较高的刚性和承载力，能够有效地抵御风荷载和地震的影响，因此特别适用于高度较大的建筑物，特别是在地震频繁发生的地区。在框架与剪力墙的组合结构中，这一体系成功地融合了框架结构与剪力墙的各自优势，不仅维持了出色的延展性，还增强了对侧向力的抵抗力，具有很高的适应能力，特别是在高度超出50米的建筑物中，其表现尤为出色。

选用特定结构体系还要综合考虑建筑功能，所用材料和经济性等因素。比如在商业银行和医院这类重要建筑物中，为了安全起见，通常都会采取比较保守的抗震设计。针对不同建筑类型及地震烈度合理地选择和设计相关结构体系不仅能够提高建筑安全，而且能够从经济上达到有效控制成本的目的。所以，高层建筑抗震设计时，结构体系选择要和建筑物所有内外因素协调一致才能达到最佳抗震效能。

（二）材料的抗震性能

建筑材料的选用不仅关系到结构承载能力的大小，而且对抗震能力也有显著的影响。高层建筑通常采用混凝土与钢材作为主要结构材料，其抗压与抗拉性能好。依照《混凝土结构设计规范》(GB 50010)(2016年版)的规定，为了确保混凝土在地震荷载作用下具有良好的抗压性能，通常会选择C30或更高的混凝土强度等级。钢材选择则需要满足国家标准，常见钢材等级有Q235、Q335、Q355、Q390、Q420等。Q235、Q355等型号钢材在普通高层建筑抗震设计中被作为首选材料，而在一些重要建筑中会根据实际情况选用Q390、Q420甚至是Q390GJB、Q420GJB等。

实际设计中需要综合考虑材料延性与韧性等因素，这些因素对于能量耗散与塑性变形能力具有重要意义。如低延性材料容易在地震中产生脆性破坏，高延性材料能够在承受大变形情况下维持结构整体性与安全性。除材料力学基本性能之外，抗震设计时还要对材料在火灾、冻融及其他极端情况下耐久性进行评价，确保材料长期服役可靠。

结合规范要求合理地选择抗震性能优良的材料和正确地构造设计能有效地提高高层建筑地震作用下的抗震能力和确保建筑物安全稳定。合理运用材料会对高层建筑抗震效能产生直接的影响,所以在设计环节中,对材料进行严格把关是非常关键的。

(三) 地基与基础设计

地基及基础设计是高层建筑抗震设计的关键,它直接关系到建筑物整体的稳定性及抗震性能。地基的型式选择要结合地基土性质、建筑物荷载和周围环境等因素来考虑。在处理软弱土质的地基时,通常推荐使用深基础,例如桩基础,这样可以显著增强其抗震性能,并降低地震对建筑结构的潜在损害。根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)的规定,桩基础的承载能力需要根据现场的土质进行现场测试,以确保它能够承受建筑物施加的荷载,并具有足够的抗震能力。

在基础设计中,除考虑承载能力之外,基础的刚度是至关重要的。基础的刚度对地震力传递有直接的影响,刚度不足会使建筑物在地震作用下产生过大变形。对抗震设计而言,地基的沉降要限制在指定的范围之内,一般要求不得大于20mm,以免不均匀沉降对结构造成破坏。另外,基础-上部结构连接还需满足一定抗震性能要求,连接构件要有足够的强度及延性,以确保地震时不会出现脆性破坏。对地基和基础设计进行细致的分析以及合理的配置,可以有效地提高地震作用下高层建筑的安全性以及稳定性,保障人们的生命以及财产损失。

(四) 动力分析与模态分析

动力分析与模态分析是高层建筑抗震设计中的重要环节,旨在评估建筑物在地震作用下的动态响应特性。通过动力分析,可以确定建筑物的固有频率和振型,分析其在地震荷载作用下的变形和内力分布。依据《建筑抗震设计规范》(GB 50011),在进行模态分析时,建筑物的第一固有周期通常应控制在1.5秒以内,以避免与地震波的共振,降低可能造成的结构损伤。

模态分析一般采用有限元法,分析过程中需要综合考虑材料特性、结构形式和边界条件等影响因素。在实际操作中,建筑的模态数量通常设定为10到20个,以确保能够准确反映建筑的动力特性。在判断模态结果时,重点关注前几阶模态,因为这些模态通常对应于较低频率,影响建筑物在地震时的整体响应。

在高层建筑抗震设计中,分析建筑物的响应时,需考虑地震作用的时间历史及其对结构的影响。为此,可以利用历时分析法来模拟实际地震波,并评估其对建筑物的影响。通过分析,设计师能够进一步优化结构,提高抗震能力,同时确保建筑物在极端条件下仍能维持安

全性与稳定性。这种动力与模态分析的方法,已成为现代高层建筑抗震设计不可或缺的重要步骤,为工程的安全提供了有力保障。

(五) 非线性分析与极限状态设计

非线性分析和极限状态设计是高层建筑抗震设计的重要组成部分,旨在对极端地震作用下结构的性能进行更加精确的评价。

在非线性分析中需要应用非线性材料模型来描述材料软化及屈服后行为。在处理混凝土结构时,通常会使用多种不同的应力与应变关系模型,例如结合应变硬化和应变软化的模型,以便更准确地描述其在地震影响下的性能表现。同时在分析过程中还需要考虑构件间相互作用以及连接点处非线性特性等因素,才能更加完整的捕捉到结构整体响应。

极限状态设计理念则强调当考虑地震荷载作用时,建筑物要有一定的安全余度以确保结构不会遭受极端条件下的灾难性破坏。该设计方法既注重指定工况下结构使用性能,又需要对结构可能处于极限状态时的承载力作出评价。通常,在设计过程中,我们可以使用分项系数法来对地震的影响进行层次化的分析。对于需要满足强震标准的抗震设计,应当考虑的地震影响系数可以高达0.4g,以确保建筑物在遭受强烈地震时仍能维持其安全性。

结束语

综上所述,地基与基础的设计必须充分考虑地基土的特性,采用适当的基础形式来提高建筑物的稳定性和承载力。此外,非线性分析与极限状态设计的方法,为评估建筑物在极端地震条件下的行为提供了可靠的依据,使得设计能够更科学和合理。通过这些抗震设计要点的应用,能够显著提升高层建筑在地震中的安全性,减少潜在的财产损失和人员伤亡。

参考文献

- [1] 赵爽.关于民用建筑结构设计抗震设计的探讨[J].2023(20):333-335.
- [2] 弥涛涛.基于抗震理念的民用建筑结构设计探究[J].户外装备,2023(5):358-360.DOI:10.12277/j.issn.1673-9434.2023.05.120.
- [3] 崔言硕,李玉进.工业与民用建筑结构抗震设计优化[J].地产,2023(12):0070-0072.
- [4] 王道任.抗震理念以及民用建筑结构设计对策[J].河南建材,2022(2):48-50.
- [5] 刘超.抗震理念在民用建筑结构设计中的应用阐述[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(1):4.