

建筑结构设计抗震结构设计问题及策略

李玉爽¹ 王海亮²

1 河北大成建筑设计咨询有限公司, 河北 石家庄 050000

2 中交远洲工程咨询有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 建筑结构的稳定性一直是结构工程领域关注的核心问题之一。在各种自然灾害中, 地震对建筑结构的挑战尤为巨大。因此, 抗震设计至关重要, 成为确保建筑在地震中能够安全抵御外部力量的重要保障。文中旨在深入探讨建筑结构设计中的抗震问题及相应的优化策略, 以提高建筑在地震中的整体抗震性能。

[关键词] 建筑结构设计; 地震; 抗震性

DOI: 10.33142/aem.v6i3.11328

中图分类号: TU352

文献标识码: A

Seismic Structural Design Issues and Strategies in Building Structural Design

LI Yushuang¹, WANG Hailiang²

1 Hebei Dacheng Architectural Design Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

2 CCCC Yuanzhou Engineering Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The safety and stability of building structures have always been one of the core issues of concern in the field of structural engineering. In various natural disasters, earthquakes pose a particularly significant challenge to building structures. Therefore, seismic design is crucial and has become an important guarantee to ensure that buildings can safely resist external forces during earthquakes. The purpose of this article is to explore in depth the seismic issues and corresponding optimization strategies in building structural design, in order to improve the overall seismic performance of buildings during earthquakes.

Keywords: architectural structural design; earthquake; seismic resistance

引言

地震灾害的频繁发生给城市带来了巨大的风险, 尤其是在地震多发地区。历史上的一些地震事件表明, 建筑结构的抗震性能直接关系到人们的生命安全和财产安全。因此, 通过深入研究抗震结构设计中的问题和优化策略, 不仅有助于提高建筑结构的整体安全性, 也为未来城市建设提供了可持续的技术支持。

1 抗震结构设计的历史演进

抗震结构设计的历史演进是结构工程领域中深刻而不断演变的过程。随着对地震影响认识的深化和技术手段的不断进步, 人们对建筑结构的抗震性能提出了更为严格的要求。早期, 抗震设计主要以经验为依据, 结构抗震性能的提升主要通过增加结构的质量和刚度来实现。然而, 这种方法在应对大型地震时往往显得力不从心, 对于结构的可持续性和经济性也存在一定的挑战。20 世纪中期, 随着地震工程学科的逐渐确立, 抗震设计开始系统化, 理论体系逐渐丰富。结构动力学理论的引入使得人们更好地理解结构在地震中的响应机制, 从而提高了结构设计的科学性。结构控制技术、隔震技术等先进手段的应用也逐渐成为提升结构抗震性能的有效途径。近年来, 随着计算机技术的迅猛发展, 有限元分析等数值方法的广泛应用为抗震设计提供了强有力的工具。同时, 基于性能的抗震设计

理念逐渐崭露头角, 不再仅仅关注结构在强震下的安全性, 更注重结构在地震中的可控性和可修复性, 从而推动了抗震设计的进一步发展。抗震结构设计的历史演进经历了由经验主导到理论指导, 再到计算机技术和先进手段的应用的阶段。不断积累的理论知识、先进技术的引入以及实际地震事件的经验总结共同推动了抗震设计的不断创新和提升。

2 地震工程基础知识

2.1 地震的原理

地震, 又称地动或地振动, 是一种自然现象, 它是由于地球地壳中的板块相互挤压和碰撞而导致的快速能量释放, 形成振动和地震波。主要由于地球上不断运动的板块之间发生错动和破裂引起。在板块边缘和板块内部, 由于地壳的巨大应变能量积累, 当这种能量达到一定程度时, 就会引发地震。地震的起源地称为震源, 而正上方地面的点称为震中。在发生破坏性地震时, 地面振动最强烈的地区被称为极震区, 通常与震中所在地区相符。地震波在地球内部传播, 沿途传递能量, 导致地球表面上的振动。这些地震波以纵波和横波的形式传播, 造成地面的摆动和振动。

2.2 地震动力学基础

地震动力学研究地震对结构的作用和结构在地震中的动力响应以及结构在地震中的受力源自地震波在建筑

物中的传播与反射。地震波的基本特征是频率、振幅和波形。结构的固有振动频率决定了其对地震激励的响应。根据结构在地震中的动力学行为,可以分析和评估结构的抗震性能。动力学参数,如结构的阻尼、质量和刚度等,对结构的响应产生显著影响。

2.3 结构地震反应分析方法

结构地震反应分析是评估结构在地震中性能的关键步骤。常见的分析方法包括静力分析和动力分析。静力分析主要考虑结构在地震作用下的静力平衡,通常用于低层抗震设计。而动力分析则基于结构的动力学方程,可以更准确地模拟结构在地震中的动力响应。动力分析方法包括时程分析、反应谱分析和模态谱分析等,其中时程分析逐时模拟地震过程,反应谱分析通过地震谱的概念评估结构响应,模态谱分析则通过模态超级位置的线性组合来模拟结构的响应。

3 建筑结构设计中的抗震结构设计问题

3.1 抗震强度问题

在建筑结构设计中,一些建筑存在抗震强度不足的情况,即结构设计未能充分考虑并满足地震引起的强烈振动所需的抵抗能力。源于结构材料的选用不当、结构构件的设计不够坚固,或是整体结构强度计算不足。抗震强度问题的存在可能导致建筑在地震中发生过度变形、破坏或坍塌,从而危及人员生命安全,增加灾后恢复的难度和成本。因此,确保建筑结构的足够抗震强度是抗震设计中亟待解决的重要问题。

3.2 结构方案问题

结构方案在抗震设计中扮演着至关重要的角色,不合理的结构布局导致结构刚度分布不均匀,增加了结构在地震作用下的易损性。设计中忽视对结构动力特性的深入分析,导致在地震响应中未能充分考虑结构的共振和振型等关键因素。此外,一些结构方案可能在抗震设计中忽视了对结构非线性行为的合理估计,使得在强震下结构的变形和破坏程度难以准确预测。

3.3 抗震防线不达标

在抗震设计中,抗震防线的不达标是一项严重影响结构整体抗震性能的问题。抗震防线的不足可能表现为结构关键部位的抗震支撑不足,使得结构在地震作用下的整体稳定性受到威胁。缺乏足够的水平和垂直抗震支撑系统,导致结构在地震中难以有效地吸收和分散地震力,增加结构遭受破坏的风险。此外,未能合理设置抗震剪力墙、抗震支撑等结构元素,也可能使得整个结构的抗震性能无法达到规范要求。

3.4 未进行全面的抗震设计验证

在抗震设计中,缺乏全面的设计验证会导致结构在地震作用下的实际性能与设计预期存在较大偏差。未经过系统而全面的验证,结构的实际抗震能力难以得到准确评估,

增加了结构在地震中的风险。未进行全面的抗震设计验证可能意味着对结构的动力特性、位移响应、剪力、弯矩等关键性能参数的考虑不足,可能导致在地震发生时,结构的实际响应与设计阶段的理论预测存在重要差异,使结构容易受到破坏。

4 建筑结构设计中的抗震结构设计优化策略

4.1 提升抗震强度

提升建筑抗震强度是确保结构在地震中能够有效抵御地震力、减小损害程度的关键目标。选用高强度、高韧性的建筑材料,如高强度混凝土和抗震钢材,能够显著提高整体结构的抗震性能。合理布局和设计结构构件,确保其强度和稳定性,采用灵活、抗震性能良好的连接方式,有助于增加结构的整体韧性^[2]。通过在结构中设置加固梁柱节点、加筋板等方式,可以有针对性地增强结构的抗震能力,特别是对于已建成的建筑,采取适度的加固措施是防范地震危害的有效手段。根据建筑所在地区的地震烈度,调整抗震设防水平,确保建筑在不同地震作用下仍能够保持相对的稳定性,包括对设计地震加速度的合理估计,以及相应的抗震设防措施的采取。定期进行结构健康检测和评估,通过监测结构的变形、裂缝等情况,及时发现潜在问题并采取相应的维护和加固措施,可以确保结构的长期稳定性。

4.2 结构方案调整

在提升抗震强度的过程中,依据《GB55001-2021 工程结构通用规范》、《JGJ3-2010 高层建筑混凝土结构技术规程》、《GB50011-2010 建筑抗震设计规范》等规范,选取参数时要确保满足规范中的抗震要求。例如,可以设定抗震设计加速度为0.05g、特征周期为0.35。这些参数的选择应基于工程结构的特性,保障其在地震作用下具有良好的稳定性。在满足防烈度要求的前提下,可以调整建筑的平面布局,以更好地满足工艺需求和建筑布局的要求。在此过程中,需要特别注意严控不规则结构,避免出现薄弱环节和刚度突变,这些都是可能导致结构在地震中失稳的关键因素。调整结构方案时,应充分考虑规范中对结构形式和构造形式的要求,确保结构能够在地震中表现出良好的抗震性能。具体而言,《GB55001-2021》规范中关于工程结构通用规定,包含了工程结构的设计、施工、验收等多个方面的内容。《JGJ3-2010》则专注于高层建筑混凝土结构的技术规程,强调了高层建筑在设计 and 施工中的具体要求。而《GB50011-2010》则是建筑抗震设计规范,明确了在设计阶段应当满足的抗震性能指标和相关计算方法。在调整结构方案时,应当充分考虑这些规范的要求,以确保设计方案的科学性和合规性。只有在遵循规范的基础上进行结构方案的调整,才能够更好地提升建筑的抗震强度,确保其在地震中的安全性。

4.3 设计多道抗震防线

设计多道抗震防线是一种有效的抗震策略,旨在提高

建筑结构在地震作用下的整体韧性和稳定性。这一设计理念通过引入多个相互协同的抗震体系，分别响应地震力，从而降低结构的震动响应。

首先，我们考虑结构的总抗震力 A_g 的计算公式，其中涉及到抗震体系的数量 n 、各体系的地震力 F_i 、协同系数 R_i ：

$$A_g = \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i \cdot F_i)^2} \quad (1)$$

这里， R_i 表示 i 个抗震体系的协同系数，用于考虑各体系之间的相互协同作用。该公式反映了多道抗震体系的协同效应，使得整体抗震性能大于各个体系单独相加的效果。多道抗震的实际设计应当包括不同体系的选择和布置。例如，可以采用框架体系、核心筒体系等。框架体系主要通过框架结构吸收地震力，而核心筒体系则通过设置核心筒（Shear Core）来提供纵向抗震支撑。这两者的结合能够形成错位协同，有效地提高整体结构的抗震性能。为了进一步加强多道抗震防线的设计，建议在平面布局中避免出现过于规则或对称的结构形式，以确保各个体系在地震中能够更为均匀地受力。此外，在体系之间的连接部位，可以通过设置交联梁（Link Beam）等措施来促使各体系更好地协同工作。设计多道抗震防线不仅需要考虑抗震体系的选择和布置，还需合理确定各体系的协同关系，通过科学的计算和合理的设计，多道抗震防线将显著提升建筑结构的抗震性能，确保在地震中保持整体稳定性。

4.4 抗震设计验证

抗震设计验证是确保建筑结构在地震作用下具备可靠抗震性能的关键步骤。该验证过程旨在验证结构是否满足相关抗震规范的要求，通过适当的分析和计算，确保结构在地震中的稳定性。

4.4.1 截面抗震验算

截面抗震验算是建筑结构抗震设计中的重要环节，旨在评估结构构件在地震等荷载作用下的稳定性和性能。在截面抗震验算的计算过程中，需详细考虑各种效应，如地震效应、水平地震效应、竖向地震效应和风效应。截面抗震验算执行需要特别注意材料性能，确保所用材料参数符合规范要求。同时，选取适宜的设计荷载组合，以保证计算的科学可行性。验算结果的全面评估和结论提出是截面抗震验算的最后步骤，为整体抗震设计提供了科学的基础。通过详实的截面抗震验算，设计者能够全面了解特定截面在各类荷载作用下的性能，为确保建筑结构在地震等极端情况下的稳定性和安全性提供了科学依据。抗震验算的核心目标是确保计算得到的抗震能力 S 不超过建筑结构构件承载力设计值。具体抗震表达式以下公式：

$$S \leq R/r_{EV} \quad (2)$$

其中 R 指的是建筑结构构件承载力设计值， r_{EV} 指的是承载力抗震调整系数。

截面抗震验算主要聚焦于结构的强度和稳定性，通过

全面考察各方向上的地震作用效应，确保结构在地震中的整体安全性和抗震能力。该验算过程对于结构的合理设计和优化具有重要意义。

4.4.2 结构抗震变形验算

结构抗震变形验算是抗震设计中关键的步骤，通过对地震频发地带和地震罕遇地带的建筑结构弹性变形进行评估，确保结构在地震作用下不仅能够满足使用要求，还能保持稳定。

对于多遇地震：

弹性层间位移与层间弹性位移角限值之间的关系需满足以下公式：

$$\Delta u_e \leq [\theta_e] h \quad (3)$$

其中， Δu_e 为多遇地震作用标准值产生的楼层内最大的弹性层间位移； θ_e 为层间弹性位移角限值； h 为层高。

对于罕遇地震：

在地震罕遇情况下，除了考虑整体稳定性，还需明确变形的具体要求。在验算时，需关注结构的弹塑性变形，尤其是结构薄弱区的弹塑性变形。薄弱区弹塑性变形的计算方法如下：

$$\Delta u_p = n \cdot \eta_p \cdot \Delta u_e \quad (4)$$

其中， Δu_p 为薄弱层层间弹塑性位移， n 为放大系数， η_p 为薄弱区弹塑性变形的调整系数， Δu_e 为弹性位移。

在地震罕遇情况下，设计者还需明确建筑结构的整体弹塑性变形要求，以确保建筑在大型地震作用下不会倒塌。具体验算公式如下：

$$\Delta u_p \leq [\theta_p] h \quad (5)$$

其中， Δu_p 为建筑结构的楼层内最大弹塑性位移，而 θ_p 为相应的楼层弹塑性变形角限值， h 为层高。

通过以上公式的详细计算，设计者可以全面了解结构在地震作用下的变形情况，并明确地震罕遇情况下的整体弹塑性变形要求，为建筑整体的抗震设计提供科学的依据。

4.5 其他抗震结构优化策略

除了前述提到的抗震结构设计策略外，采用新型高性能的抗震材料，如高性能混凝土、高强度钢材等，可以有效提高结构的抗震性能。这些材料具有更好的强度、延性和耐久性，能够减小结构在地震中的变形，增加结构的抗震稳定性。采用隔震结构或减震结构技术是一项重要的优化策略。隔震结构通过设置隔震层，减小结构与地面之间的传力，降低地震作用对结构的影响。减震结构则通过在结构中设置减震器等装置，吸收和分散地震能量，从而减小结构的震动响应。这两种技术能够显著提高结构的抗震性能，降低地震造成的损害程度。对于现有结构，通过加固薄弱节点、修复裂缝等方式，提高结构的整体抗震能力，对于老旧建筑的改造和提升抗震性能至关重要^[3]。最后，采用先进的监测和控制技术也能够为结构抗震性能的实时监测和调整提供支持。结

合传感器和智能控制系统，可以实时监测结构的变形和振动，通过智能控制系统进行及时调整，以保证结构在地震中的安全性。这些抗震结构优化策略的整合和综合应用，能够有效提高建筑结构的整体抗震性能，从而在地震发生时减小结构受损的可能性，确保人员和财产的安全。

5 结束语

在建筑结构设计，抗震设计是确保建筑在地震中安全稳定的重要方面。通过严格遵循相关规范，优化抗震设计过程中的结构方案、抗震防线，提升抗震强度，设计多道抗震防线，并进行抗震设计验证等策略，可以有效地提高建筑结构的整体抗震性能。同时，采用新型抗震材料、隔震结构和减震结构技术，进行结构加固和修复，以及应用监测和控制技术，都是重要的抗震结构优化策略。不仅能够增强结构的抗震能力，降低地震风险，还有助于提高建筑在紧急情况下的整体安全性。在面对地震这一自然灾

害时，科学合理的抗震设计是保障人们生命财产安全的关键措施。通过不断总结经验、引入先进技术、加强规范制定和执行，将进一步推动抗震设计领域的发展，为建设更加安全可靠的建筑贡献力量。在未来，我们期待更多创新性、可持续性的抗震设计理念的涌现，为建筑结构的抗震性能提供更为可靠的保障。

[参考文献]

- [1] 翟晶晶. 建筑工程结构设计中抗震问题的分析[J]. 城市建筑, 2021, 18(5): 116-118.
 - [2] 孟天赐. 建筑工程结构设计中抗震问题的分析[J]. 中国建筑装饰装修, 2021(12): 178-179.
 - [3] 李刚. 建筑结构设计中的安全性问题及解决策略[J]. 房地产世界, 2023(10): 59-61.
- 作者简介：李玉爽（1978.8—），毕业院校：河北理工学院，所学专业：建筑工程，当前就职单位：河北大成建筑设计咨询有限公司，职务：主任工程师，职称级别：副高。