

# 建筑结构抗震设计原则及设计要点分析

邢金泉

中冶京诚工程技术有限公司, 中国·北京 100176

**摘要:** 论文全面探讨了建筑结构的抗震设计原则及其设计要点, 重点分析了地震学基础知识、建筑动力学入门、设计标准与规范以及主体结构的抗震考量。通过深入解析地震的成因、分类及地震波的传播特性, 论文为读者提供了坚实的理论基础。同时, 探讨了抗震设计中的核心目标, 即确保建筑在地震发生时能够保持结构完整性和最大限度地保护人员安全。此外, 论文详细介绍了钢筋混凝土结构、钢结构和木结构的抗震设计策略, 强调了使用高科技材料和创新技术以提高建筑的抗震性能。论文旨在为建筑师和工程师提供关于如何设计和评估抗震安全建筑的实用知识和策略。

**关键词:** 抗震设计; 建筑结构; 地震学; 建筑动力学

## Analysis of Seismic Design Principles and Design Points for Building Structures

Jinquan Xing

MCC Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

**Abstract:** This paper comprehensively explores the seismic design principles and design points of building structures, with a focus on analyzing the basic knowledge of seismology, introduction to building dynamics, design standards and specifications, and seismic considerations of the main structure. By deeply analyzing the causes, classifications, and propagation characteristics of earthquakes, this paper provides readers with a solid theoretical foundation. At the same time, the core objective of seismic design was explored, which is to ensure that buildings can maintain structural integrity and maximize the protection of personnel safety during earthquakes. In addition, the paper provides a detailed introduction to seismic design strategies for reinforced concrete structures, steel structures, and timber structures, emphasizing the use of high-tech materials and innovative technologies to improve the seismic performance of buildings. The paper aims to provide architects and engineers with practical knowledge and strategies on how to design and evaluate seismic safety buildings.

**Keywords:** seismic design; building structure; seismology; architectural dynamics

## 1 引言

在全球化迅速发展的今天, 城市化进程不断加速, 越来越多的建筑拔地而起。与此同时, 自然灾害, 尤其是地震, 时常给人类社会带来巨大的挑战和损失。在这种背景下, 抗震设计的重要性不言而喻, 它直接关系到人民的生命安全和社会经济的稳定。随着建筑技术的发展, 如何通过科学的方法提升建筑物的抗震能力, 保证在地震发生时建筑能够有效抵抗震动, 减少灾害带来的损害, 已经成为建筑学和工程学领域的一大挑战。

## 2 理论基础

### 2.1 地震学基础知识

地震, 作为一种自然现象, 其破坏性经常给人类社会带来极大的影响。理解地震的成因与分类, 以及地震波的传播特性, 对于防灾减灾具有重要意义。

地震的成因主要与地球内部的能量释放有关。这种能量的累积和释放通常与地壳板块的运动密切相关。地球的岩

石圈分为数块巨大的板块, 这些板块在地幔的流动作用下不断移动, 相互之间的碰撞、挤压或拉伸就是引发地震的主要机制。具体来说, 当两个板块相互挤压时, 它们之间的岩石由于长时间的应力积累而变形, 当这种变形累积到一定程度, 岩石的强度无法继续承受更多的应力时, 就会突然断裂, 从而释放出巨大的能量, 这就产生了地震。

地震的分类可以从多个角度划分。按照成因, 地震可分为构造地震、火山地震和塌陷地震三种。构造地震是最常见的一种, 由板块边界处的应力释放引起; 火山地震与火山活动有关, 通常发生在火山喷发前后; 塌陷地震则与地下空间塌陷有关, 如矿区的开采等。此外, 按照震源深度, 地震还可以分为浅源地震、中源地震和深源地震三类。浅源地震震源深度小于 70km, 这类地震的破坏力最大; 中源地震的震源深度在 70~300km; 而深源地震的震源深度超过 300km, 通常这类地震的破坏性较小, 但能感觉到的范围较广。而地震波的传播特性是地震学研究的另一重要领域。地震波按照其传播方式和介质的不同, 可以分为体波和面波。体波又分为 P 波 (纵波) 和 S 波 (横波)。P 波是速度最快

的地震波，能够通过固体、液体和气体传播，这种波的传播方式是颗粒间的压缩和膨胀；S 波传播速度慢于 P 波，且只能在固体中传播，其传播方式为颗粒间的剪切运动。面波则主要在地表附近传播，速度较体波慢，但由于其传播路径靠近地表，常常导致较大的破坏。面波中最主要的两种类型是拉利波和罗夫波，它们在地表附近传播时会引起地面的垂直和水平移动。

通过对地震波的监测和分析，科学家们可以更好地理解地震的传播过程，预测其可能带来的影响。此外，地震波的研究还帮助地质学家探测地下结构，包括地壳和上地幔的分布情况，从而更深入地了解地球内部的构造。

地震学的研究不仅关系到科学理论的发展，更直接关系到人类社会的安全。通过不断深化对地震成因、分类和地震波传播特性的研究，人类能够更有效地预防和应对地震灾害，减少自然灾害带来的损失。

## 2.2 建筑动力学入门

在建筑设计领域中，动力学的应用极为重要，尤其是在地震多发地区，对建筑物的结构动力响应分析显得尤为关键。建筑动力学入门通常从理解建筑物在动态荷载作用下的行为开始，特别是地震力这一自然现象的影响。

地震发生时，地面的震动会通过建筑物的基础传递到整个结构中。这种动态荷载要求建筑物具备足够的弹性和韧性，以承受不同频率和幅度的振动。结构动力响应分析就是评估建筑物在受到此类荷载影响时的反应和稳定性的科学方法。分析的第一步是建立建筑物的数学模型，通常包括建筑的质量、刚度和阻尼特性。质量是指建筑物的重量，直接影响到在地震作用下建筑的惯性力；刚度则描述了建筑材料和结构的抗变形能力；阻尼是指建筑结构抵抗振动的内在性能，帮助吸收和减少振动能量。结构动力学模型会用于模拟不同类型和强度的地震对建筑结构产生的影响。通过这些模拟，工程师可以预测在特定地震影响下建筑的动态响应，如何变形、如何震动，并且评估结构的潜在破坏点。这种分析对于识别那些在地震中可能首先失效的结构组件尤为重要，从而可以针对性地进行加固。地震力的抵抗机理涉及许多复杂因素，包括建筑布局、使用材料的类型以及施工的质量。例如，对于高层建筑，工程师可能会使用混凝土核心和交叉钢筋来增强结构的垂直和水平稳定性。此外，现代建筑技术如隔震支座和减震器也被广泛应用，这些技术能有效地隔断或减少地震波传递到建筑结构的能量。在设计抗震结构时，还必须考虑建筑物的使用功能和所在位置。例如，医院和学校等公共安全建筑在设计时对抗震性能的要求更为严格。此外，建筑物的地理位置决定了其需要抵抗的地震力类型和大小，这通常根据历史地震数据和地质调查来确定。

随着科技的进步，建筑动力学分析方法和工具也在不断发展。数字模拟和计算机辅助设计（CAD）技术使得建

筑动力学分析更加精确和高效。同时，对材料科学的深入研究也促进了新型抗震材料的开发，如高性能混凝土和智能合金，这些新材料在提高建筑物的抗震性能方面展现出了巨大的潜力。

## 3 抗震设计原则

### 3.1 设计标准与规范

在现代建筑设计中，抗震设计原则被视为保障结构安全与人员安全的核心因素之一。随着科技的进步和对地震活动认知的提高，建筑师和工程师们越来越重视这一领域的设计标准与规范。

抗震设计的核心目标是确保在地震发生时，建筑结构能够承受来自地面运动的冲击，最大限度地保护建筑的完整性和人员的安全。这一目标的实现基于一系列详尽的设计标准与规范，这些规范通常由国家或地区的相关部门制定，并根据地质研究、历史地震数据和先进的工程实践不断更新和完善。

设计标准和规范的制定，首先考虑的是建筑所在地的地震活动频率及强度。地理位置是决定建筑必须遵守的抗震设计强度的关键因素。例如，在地震带，如中国的四川、日本、加利福尼亚等地，建筑的抗震设计规范要求远高于地震活动较少的地区。这些高风险区域的建筑，需要采用更高标准的材料、更复杂的结构和更细致的施工技术。

在设计标准与规范中，不仅仅是结构的强度得到了强调，同样重要的是建筑的延性和冗余度。延性是指在极端应力条件下，建筑结构能够在不发生断裂的情况下进行形变的能力。冗余度则确保了即使部分结构组件在地震中失效，整个建筑仍能保持稳定，避免倒塌。这种设计思路背后的哲学是“先伤害、后破坏”，即在保障人员安全的前提下，允许建筑在地震中受到一定损伤。此外，现代抗震设计还包括使用高科技材料和技术来增强建筑的抗震性能。例如，隔震支座和减震器可以显著减少地面运动对建筑主体结构的直接冲击力，通过吸收和散布能量，减轻结构受到的损害。智能材料如形状记忆合金也在抗震设计中得到应用，这些材料在遭受变形后可以恢复原状，增强结构的恢复能力。

### 3.2 抗震设计理论

在现代建筑设计中，抗震设计理论是一项至关重要的考虑因素，尤其是在地震多发的区域。近年来，随着建筑科技的进步和对地震活动更深入的理解，抗震设计已经从传统的安全性要求转向更加精细和具有预测性的设计方法，其中“能力抗震设计法”（Performance-based design）是最具代表性的进步之一。

能力抗震设计法是一种创新的方法，它不仅仅满足传统的安全性需求，而且致力于确保建筑在地震发生时，能够按照预定的性能目标进行响应。这种设计方法考虑了建筑的

使用功能、重要性以及预期的服务年限,从而为建筑设定了不同级别的抗震性能目标。例如,医院和消防站这类关键设施,在设计时会设定为在大多数地震中都能保持功能运行的高级别抗震目标,以确保在紧急情况下这些设施依然可用。能力抗震设计法的实施,首先需要对建筑可能遭遇的地震活动进行科学的评估,包括地震的可能强度、频率及其对建筑结构可能产生的影响。基于这些数据,工程师会使用先进的计算模型来模拟建筑在不同地震作用下的响应。这些模型能够详细展现建筑结构在地震中的具体表现,如主要承重构件的变形、损伤以及破坏过程,从而为优化设计提供依据。

在实际设计过程中,能力抗震设计法强调整体与局部的抗震要求的平衡。整体设计需要确保建筑结构作为一个系统在地震中的稳定性和连续性,这包括合理配置结构的刚度、强度和延性,以及通过适当的结构布局 and 连接方式来分散和传递地震力。此外,局部设计关注于建筑的关键部分,如梁、柱、墙体等的抗震细节处理。例如,柱子的加固、梁与柱连接处的特殊设计等,都是为了在极端条件下保护建筑的关键承重部分,避免局部破坏导致整体结构的崩塌。此外,能力抗震设计法还涵盖了建筑材料的选用和创新技术的应用。现代建筑材料如高性能混凝土、钢材以及新型复合材料,因其出色的强度和延性特性,被广泛应用于抗震设计中。同时,一些高科技抗震技术,如基础隔震系统、阻尼器等,也被整合进建筑设计中,这些系统和设备能在地震发生时吸收和减少建筑结构受到的冲击力,极大地提升建筑的安全性和功能持续性。

## 4 设计要点

### 4.1 地基与基础设计

在现代建筑设计中,地基和基础设计是确保结构安全和功能性的关键。尤其在地震多发地区,选择合适的地基类型和实施有效的抗震基础设计策略是至关重要的。

地基,作为建筑物与地面的连接部分,其稳定性直接影响到上层建筑的安全。不同类型的土壤具有不同的承载能力和行为特性,因此地基类型的选择必须考虑地震力的作用。例如,砂土、黏土或岩石基底的地基在地震时的表现迥异。砂土可能因地震引发液化现象,导致建筑物失稳甚至坍塌。黏土虽然不易液化,但在震动下可能出现较大的塑性变形。而坚硬的岩石基底通常提供更好的稳定性,但也可能因震波的放大效应而加剧上层结构的震动幅度。

针对不同地基类型,抗震基础设计需要采取特定的技术措施。这些技术的目标是增加结构的弹性、提高承载力和改善地基与结构的整体行为。其中,隔震技术是一种有效的抗震基础设计策略。通过在建筑物和地基之间安装隔震装置,如橡胶支座或滑移系统,可以显著降低地震力传递到建筑结构的幅度。这种技术允许建筑物在地震期间相对于地面

进行一定范围的平滑移动,从而减轻结构受到的冲击和损害。此外,加固地基也是抗震设计中的一个重要方面。例如,通过深层搅拌和土钉墙技术可以增强松散土壤的稳定性,防止地震时的土壤液化。对于岩石基底,通过在关键区域注入水泥浆,可以填补裂缝和孔隙,提高其整体强度和抗震性能。

抗震基础设计的另一个关键技术是灵活的布局设计。建筑物的地基布局应考虑到地震力的方向和影响,以及可能的不均匀沉降。设计师需要根据地基条件和预期的地震活动,合理安排建筑物的形状和位置,以优化其对抗地震力的响应。

地基与基础设计在建筑工程中扮演着至关重要的角色,尤其是在地震多发地区。通过科学选择地基类型,并采用先进的抗震设计技术,可以显著提高建筑物的安全性和功能性。隔震技术、地基加固以及灵活的布局设计是提高建筑抗震性能的关键方法。这些措施不仅能保护建筑本身,还能保障人们的生命安全,因此在现代建筑设计中应得到广泛应用和深入研究。

### 4.2 主体结构设计

在现代建筑设计中,主体结构的稳定性是保障建筑安全的首要考虑因素之一。特别在地震频发的地区,如何通过有效的结构设计提高建筑物的抗震性能,成为设计师和工程师们必须面对的重大挑战。钢筋混凝土结构、钢结构和木结构是现代建筑中常见的三种结构形式,它们在抗震设计上各有特点和考虑。

钢筋混凝土结构由于其较高的强度和良好的塑性,被广泛应用于高层建筑和大型公共设施中。这种结构的设计核心在于确保结构在遭受地震动力作用时能够以一定的形变适应能量的输入,从而避免因刚度过大而导致的脆性破坏。在抗震设计中,工程师会通过增加横向支撑、设置足够的箍筋和纵筋以及采用高韧性混凝土等方式来提高结构的延性。此外,设计时还会考虑到楼层的加强和节点的特殊处理,确保在地震中这些关键部位能承受更大的力量和变形。

钢结构的主要优点在于其高强度和良好的延展性,使得它在面对地震时能展示出极佳的能量吸收和耗散能力。钢结构在抗震设计中常用的技术包括使用柔性框架、设置隔震层和应用能量耗散装置等。柔性框架能够在地震作用下进行相对位移,从而减少力的直接传递;隔震层的设置能有效隔离地面的震动,保护整体结构不受过大影响;而能量耗散装置如粘滞阻尼器和摩擦阻尼器等,可以在结构部件中消耗入射的地震能量,减轻结构损伤。

木结构则以其较轻的重量和较好的弹性而被认为是具有天然抗震性的建筑形式。木结构的抗震设计通常侧重于增强连接件的强度和韧性,以及优化结构的整体布局。通过使用高强度的金属连接件和精确的结构设计,可以使木结构在地震中展现出良好的稳定性和安全性。此外,现代木结构技

术如交叉层压木技术（CLT）的应用，更是提高了木结构在抗震性能上的表现，使其在多层甚至中高层建筑中的应用成为可能。

无论是钢筋混凝土结构、钢结构还是木结构，抗震设计的核心都在于通过合理的材料选择、精细的结构计算和科学的施工实践，来提升建筑的安全性能和延性。这不仅要求设计师具备高度的专业知识和实践经验，也需要与时俱进地采纳新材料、新技术的应用，以应对日益严峻的地震安全挑战。此外，抗震设计还应考虑到建筑的使用功能、经济成本 and 环境影响，实现多方面的优化和平衡，确保在保护生命安全的基础上，最大限度地发挥建筑的使用价值和社会效益。

#### 参考文献：

- [1] 刘梦瑶,袁东胜.建筑结构抗震设计原则及设计要点分析[J].四川水泥,2023(11):117-119.
- [2] 潘卫宁.高层建筑结构抗震设计原则及要点浅析[J].山西建筑,2017,43(33):3.
- [3] 杨乐天.建筑结构抗震设计的基本原则及措施分析[J].住宅与房地产,2018(1X):1.
- [4] 江会祥.房屋建筑结构抗震设计的原则及其要点分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022.
- [5] 陈峥,赵毅.建筑结构设计的抗震性能要点分析[J].建筑工程技术与设计,2016(7):631.