

# 现代建筑结构抗震设计及加固处理措施探析

程万腾

中冶京诚工程技术有限公司, 中国·北京 100176

**摘要:** 论文深入探讨了现代建筑结构抗震设计及其加固措施, 突出了在保证建筑安全性和功能性方面抗震技术的重要性。论文首先阐述了抗震设计的基本原则, 确保建筑在极端和中等强度地震中的稳定性和功能性。随后, 详细介绍了地震动力分析方法、结构系统选择以及关键结构组件的设计策略。此外, 论文还探讨了建筑抗震加固技术, 包括外包钢筋混凝土层、预应力技术、碳纤维加固, 以及使用隔震支座和阻尼器等先进技术。通过对这些技术的分析, 论文展示了它们在提升建筑物抗震性能、减轻地震影响方面的有效性。结论部分强调了合理应用抗震技术的重要性, 并指出了持续更新抗震设计标准和规范的必要性。论文的分析和建议为工程师和研究人员提供了宝贵的参考, 以优化现代建筑的抗震设计和加固实践。

**关键词:** 现代建筑; 抗震设计; 结构安全

## Analysis of Seismic Design and Reinforcement Measures for Modern Building Structures

Wanteng Cheng

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

**Abstract:** This paper delves into the seismic design and reinforcement measures of modern building structures, highlighting the importance of seismic technology in ensuring building safety and functionality. The paper first elaborates on the basic principles of seismic design, ensuring the stability and functionality of buildings in extreme and moderate intensity earthquakes. Subsequently, a detailed introduction was given to seismic dynamic analysis methods, structural system selection, and design strategies for key structural components. In addition, the paper also explores seismic reinforcement technologies for buildings, including external reinforced concrete layers, prestressing technology, carbon fiber reinforcement, and the use of advanced technologies such as seismic isolation bearings and dampers. Through the analysis of these technologies, the paper demonstrates their effectiveness in improving the seismic performance of buildings and reducing the impact of earthquakes. The conclusion emphasizes the importance of reasonable application of seismic technology and points out the necessity of continuously updating seismic design standards and specifications. The analysis and suggestions of the paper provide valuable references for engineers and researchers to optimize the seismic design and reinforcement practices of modern buildings.

**Keywords:** modern architecture; seismic design; structural safety

### 1 现代建筑抗震设计的基本原则

现代建筑抗震设计的基本原则核心在于确保结构在地震发生时能够保持稳定, 避免倒塌, 从而最大限度地保护人员安全和减少财产损失。这些原则不仅要求设计能够应对一定强度的地震冲击, 还要在设计和建造过程中考虑到结构的安全性和功能性的平衡。

抗震设计的目标是确保关键结构在极端地震活动下不会发生结构性失败, 同时在小到中等强度的地震中能保持结构的基本功能不受影响。这要求建筑师和工程师不仅要考虑建筑的使用寿命, 还要考虑地理位置、地质条件以及预期的地震活动。例如, 在地震多发区, 建筑设计需要特别注意抗震性能的提升。

结构安全与功能要求之间的平衡是抗震设计中的一项重要考量。这意味着在设计过程中, 不仅要确保建筑在地震中的安全, 还要保证其在没有地震时的正常使用功能。例如,

学校或医院等公共建筑, 即便在地震后也应尽快恢复运行, 提供必要的服务。这种平衡要求设计者采用合适的建筑材料和技术, 以及灵活的设计策略, 如使用能够吸收和分散地震能量的结构系统。

建筑抗震设计标准和规范是指导现代建筑抗震设计的法律和技术框架。这些标准和规范根据历史地震数据、科学研究和工程实践不断更新和完善, 以反映最新的科学发现和工程技术。例如, 国际建筑码 (IBC) 和欧洲抗震设计规范 (Eurocode 8) 等, 都详细规定了建筑设计必须考虑的地震荷载, 以及如何评估和加固既有结构。遵循这些标准不仅有助于提高建筑的安全性, 也是实现跨地区工程实践一致性的关键。

### 2 抗震设计方法

#### 2.1 地震动力分析方法

在现代建筑的抗震设计中, 地震动力分析方法是至关

重要的，它帮助工程师评估建筑在地震作用下的响应，从而确保结构的安全性和功能性。主要的地震动力分析方法包括模态分析和时程分析，每种方法都有其特定的应用场景和优势。

模态分析是一种基于建筑结构固有频率和振型的分析方法。在这种方法中，建筑结构被视为一个多自由度系统，通过求解其质量、刚度和阻尼的特征值和特征向量来计算。模态分析的核心在于识别结构的主要振动模式，这些模式是可能在地震中最先被激发的振动形态。通过分析这些主要模式，可以较为准确地预测结构在地震中的最大响应，从而为抗震设计提供科学依据。这种方法特别适用于结构相对简单且响应预测要求较高的情况。

时程分析则提供了一种更为详尽和现实的分析手段。时程分析通过将结构的动力方程与实际的或人工生成的地震记录输入相结合来进行。在时程分析中，结构在整个地震过程中的动态响应都会被模拟出来，包括各个时间点的位移、速度和加速度等参数。这使得工程师能够仔细观察结构在连续动力作用下的表现，特别是对于复杂或非线性结构，时程分析能够提供模态分析所无法提供的洞察。

结构响应除了与结构的自振周期和阻尼有关外，还与结构所处的场地类别有关，其中一类为岩石等坚硬场地土，二类为中等坚硬场地土，三类为软弱场地土。这主要是由于土层会使一些与土层固有周期一致的某些频率波群放大通过，而将另一些与土层固有周期不一致的某些频率波群缩小或过滤掉。由于表层土的滤波作用，使坚硬场地的地震动以短周期为主，而软弱场地土的地震动则以长周期为主，对于表层土的放大作用，使坚硬场地土的地震加速度幅值在短周期范围内局部增大，同理使软弱场地土的地震动加速度幅值在长周期范围内局部增大，由于隔震建筑的周期一般都比较大，对于长周期的隔震结构场地土越软弱，地震作用越大，隔震效果越差，所以新隔标 3.2.2 条规定隔震建筑的场地宜为 I、II、III 类，当场地土为 IV 类时，应采取有效措施。图 1 表示了结构在不同场地类别下的反应谱曲线。

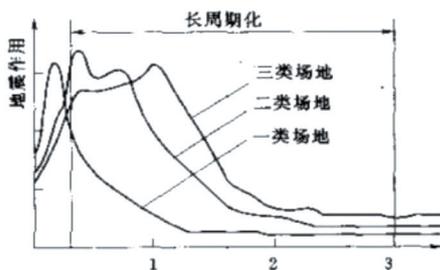


图 1 结构在不同场地类别下的反应谱曲线

## 2.2 结构系统选择

在现代建筑抗震设计中，选择合适的结构系统是确保建筑物在地震作用下能保持结构完整性和功能性的关键。主

要的结构系统包括框架结构和剪力墙结构，它们各有特点和适用条件。

框架结构，尤其是钢筋混凝土框架和钢框架，因其良好的延性和能量消散能力而被广泛应用于高层及超高层建筑中。钢筋混凝土框架通过柱和梁的弹塑性变形来吸收和耗散地震能量，这种结构在地震中表现出较好的灵活性和抗倒塌能力。钢框架则因其较高的强度和较轻的重量，常用于需要较大空间或高层建筑的情况。钢框架的节点设计对于确保其抗震性能至关重要，通常需要通过细致的工程设计来实现其抗震目标。

剪力墙结构是另一种常见的抗震结构系统，特别适用于承受侧向地震力的高层建筑。剪力墙由厚实的墙体构成，这些墙体在建筑的适当位置布置，以提供足够的刚度和强度，抵抗地震引起的侧向力。剪力墙系统可以有效地减少建筑的侧摆幅度，提高结构的整体稳定性。在多层建筑中，剪力墙通常与框架结构相结合，形成框架—剪力墙混合系统，这样可以利用框架的灵活性和剪力墙的刚度优势，实现更优的抗震效果。

还有一些特殊的结构系统如核心筒结构、框架—支撑结构等，这些结构系统通常用于特殊要求的建筑中。核心筒结构利用中心硬核心如电梯井或楼梯井提供刚性，而框架—支撑结构则通过增加交叉或斜向支撑来提高结构的横向刚度和稳定性。

## 2.3 重要组件的设计策略

在现代建筑的抗震设计中，重要组件如基础、柱子、梁和节点的设计策略是确保整体结构安全的关键。基础作为建筑的支撑平台，必须能够有效承载上部结构的重量并在地震中分散和传递地震力。为此，基础设计常采用加强型混凝土或钢筋混凝土桩基，以增加其抗弯和抗剪能力。浅基础和深基础的选择也需根据土壤条件和建筑物重要性综合考虑，以实现最优的抗震效果。

对于柱子，它们是传递垂直载荷的主要元素，因此必须具备足够的抗压和抗弯能力。在抗震设计中，常通过增加柱子的横截面尺寸、使用高强度材料和适当的纵向及横向配筋来提高其承载力和延性。此外，柱子的连接处需特别加固，以保证在地震作用下的整体稳定性。

梁的设计则侧重于承载和传递横向力。在抗震设计中，梁通常设计为较柱更具延性，以便在地震中发挥“弱梁强柱”的原则，防止因梁的破坏而引发整体结构的倒塌。梁的抗震设计包括合理的配筋、使用高韧性混凝土和考虑足够的横向支撑。

节点是梁和柱的交接部位，是整个结构中最容易损坏的部分。因此，节点的抗震设计至关重要，通常需要通过精确计算来确定节点区的配筋详图和施工方法。高强度焊接、钢筋锚固和混凝土加厚等方法常被用于加强节点的抗震能力。

### 3 建筑物抗震加固技术

#### 3.1 外包钢筋混凝土层

在建筑结构的抗震加固中,外包钢筋混凝土层是一种广泛应用的方法,特别适用于已存在的建筑物。这种技术主要是通过通过在原有结构的外侧增加一层钢筋混凝土层,以此来增强建筑的整体抗震性能。外包层的添加不仅增加了结构的刚度和强度,还能在一定程度上改变结构的动力特性,使其更能抵抗地震力的作用。

外包钢筋混凝土层的设计需考虑多方面因素,如加固层的厚度、钢筋的配置及混凝土的强度等。一般而言,加固层的厚度根据原结构的状况和所需的抗震提升程度来确定。钢筋的配置应保证加固后的结构能够有效地承受预期的剪力和弯矩,通常采用双向钢筋网来提高结构的整体性能。

混凝土的选择也至关重要。高强度混凝土因其良好的耐久性和较高的抗压强度,被广泛用于抗震加固工程。在施工过程中,需要特别注意混凝土的浇筑和养护,确保新加固层与原有结构之间有良好的黏结效果,这对加固效果的优化至关重要。

在实际应用中,外包钢筋混凝土层不仅用于加固柱子和梁,也可用于加固墙体。对于柱子的加固,通常在其四周加固钢筋和混凝土,以提高其抗弯和抗剪能力;对于梁或墙体,加固可以有效地提高其抗剪强度和延性,提升整个结构的延性和能量耗散能力,从而达到改善抗震性能的目的。

#### 3.2 预应力技术

预应力技术是一种增强混凝土或其他建筑材料结构性能的方法,通过事先施加应力来改善结构受力性能,使其能更好地抵抗各种负载的影响,尤其是在抗震加固中具有重要的应用价值。预应力技术的核心思想是通过引入预先张拉的钢筋或钢索来产生压应力,在使用过程中抵消部分或全部的拉应力,从而降低结构因受拉而破坏的风险。

在具体实施预应力技术时,可以采用两种基本方式:预张法和后张法。预张法是在混凝土浇筑前,先对钢筋或钢索进行张拉,并将其固定在模具中,然后浇筑混凝土,使钢筋或钢索与混凝土共同固化。一旦混凝土达到一定强度,释放钢筋或钢索的张拉力,将预应力传递给混凝土。后张法则是在混凝土硬化后,通过专门的张拉设备对钢筋或钢索进行张拉,然后通过锚具将预应力固定,使其有效地作用于混凝土结构。

预应力技术能显著提高结构的承载力和刚度,减少构件在使用过程中的变形,提高耐久性和使用寿命。在抗震设计中,预应力技术可以有效控制结构的动态响应,提高其抵抗地震作用的能力。通过预应力技术,结构在遭受地震冲击时可以保持更好的整体性和稳定性,减少因震动引起的损伤。

预应力技术还可以用于加固已有的建筑结构。例如,在老旧建筑的加固改造中,引入预应力可以恢复或增强结构

的原有承载力,改善其性能,延长建筑物的服务生命周期。尤其是在桥梁、大跨度建筑物等大型基础设施项目中,预应力技术因其经济性和有效性而广泛应用。

#### 3.3 碳纤维加固

碳纤维加固技术是现代建筑结构抗震加固中的一种先进方法,被广泛应用于提高建筑物的地震抗力和延长其使用寿命。碳纤维材料因具有高强度、低重量、良好的耐久性和抗腐蚀性而被选用于加固工程。该技术通常包括使用碳纤维增强聚合物来包裹或贴附于原有结构表面,以提高其承载力和变形能力。

在具体应用中,碳纤维加固可以采取多种形式。例如,碳纤维布可以贴在受力构件的表面,通过环氧树脂粘合剂固定,从而增加构件的抗弯、抗剪和抗压能力。碳纤维加固不仅适用于钢筋混凝土结构,也可用于加固砖石、木结构和钢结构等多种建筑材料。

碳纤维的使用提供了一个重量轻、安装快速的加固方案,特别适用于难以支撑传统重型加固材料的老旧建筑或文物建筑。由于其施工便捷性,碳纤维加固在紧急结构修复和抗震加固中尤为重要,能够在不对现有居住或使用功能造成显著干扰的情况下,迅速提升建筑的安全性。

#### 3.4 使用隔震支座和阻尼器

在现代建筑结构的抗震设计中,使用隔震支座和阻尼器是两种极为有效的技术。隔震支座主要工作原理是在建筑物的基础与上部结构之间增加一层隔震层,使得地震力传递到建筑结构时能显著减小,从而保护建筑结构不受地震破坏。这种技术能有效地延长建筑物的自然周期,减少结构响应,尤其适用于重要设施和高价值建筑的抗震加固。隔震支座的种类多样,包括橡胶支座、滑动支座等,各具特色,设计时需根据建筑的具体条件和抗震需求来选型。抗震结构与隔震结构遭遇大地震时的区别如图 2 所示。



图 2 抗震结构与隔震结构遭遇大地震时的区别

一般隔震结构是:较规则的多层结构的基础隔震或层间隔震(非悬臂柱顶部)处隔震的结构,其中基础隔震是最早研究并得到广泛应用的隔震类型,基础隔震技术可以最大限度的隔离地震能量,具有构造简单,受力特征明确,技术

相对成熟等特点,也是应用最多的一种隔震结构。层间隔震就是指隔震层设置在结构中间层的一种隔震技术,层间隔震技术是在基础隔震技术上发展起来的一种新型隔震结构形式,是基础隔震的拓展,可根据建筑结构自身的特点,灵活设置隔震层位置(见图3)。

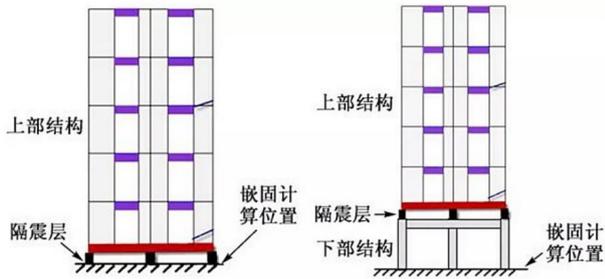


图3 基础隔震技术

阻尼器则是通过吸收或耗散结构在地震中的能量来降低响应的一种装置。它们通常安装在建筑的楼层间或结构关键部位,当建筑受到地震作用时,阻尼器可以有效地减少由地震引起的楼层间位移和加速度,从而保护结构免受严重损害。阻尼器的类型包括粘滞阻尼器、摩擦阻尼器和金属屈曲阻尼器等,每种类型的阻尼器都有其特定的工作机制和适用情况。

## 4 结论

在论文中,我们详细探讨了现代建筑结构抗震设计及加固处理措施,强调了抗震技术在确保建筑安全和功能中的关键作用。通过分析多种抗震设计方法和加固技术,我们发现,结合具体的结构特点和地理环境来选择合适的抗震措施至关重要。隔震支座和阻尼器作为抗震设计中的两种核心技

术,展示了它们在提高建筑物抗震性能、减少地震影响方面的显著效果。隔震技术能有效地隔离地震力,保护建筑主体结构不受损害,特别适合应用于医院、学校及其他公共安全设施中。而阻尼器的使用,通过吸收和耗散地震能量,减少建筑物的位移和振动,为建筑结构提供了另一层保护。尽管这些高效的技术需要较高的初期投资,但从长远来看,它们为建筑物的持久耐用性和使用安全提供了坚实保障,这种投资无疑是划算的。面对不断变化的环境和日益严峻的自然灾害挑战,持续更新和完善抗震设计标准及建筑规范显得尤为重要。此外,新材料和新技术的发展也为抗震设计提供了更多可能性,这需要工程师和研究人员不断探索和实验,以便更好地适应未来的需求。

通过论文的分析,我们认为将先进的抗震技术应用于现代建筑设计和加固中,不仅能显著提升建筑的安全性,还能在灾难面前保护人们的生命财产安全。因此,推广和实施这些技术,加强相关人员的培训和教育,对于建设一个更加安全的社会环境具有重大的实际意义和长远的发展前景。

## 参考文献:

- [1] 许宏.现代建筑结构抗震设计及加固处理措施[J].大众标准化,2023(14):90-92.
- [2] 郭华,江雄华.现代建筑结构抗震设计方法研究[J].中国新技术新产品,2010(16):176.
- [3] 程维志,孙天常.现代建筑结构抗震设计的方法分析[J].城市建设理论研究:电子版,2016(15).
- [4] 孙逊,夏仕洋,方立新,等.基于结构性能化的近现代建筑抗震加固设计方法:CN202010697894.X[P].CN111706111A[2024-04-19].
- [5] 孙柔光.浅谈建筑结构的抗震及加固措施[J].建材与装饰旬刊,2010.