

土木结构动力特性与抗震设计问题对策研究

邢玉强¹ 冯耀坤²

1. 山东大卫国际建筑设计有限公司; 2. 同圆设计集团股份有限公司

摘要: 本文对土木结构的动力特性和抗震设计问题进行了深入研究, 分析了动力特性的基本概念、影响因素和分析方法, 探讨了地震动的特性及其对土木结构抗震设计的影响, 提出了提高土木结构抗震性能的有效策略。通过一个具体实例的分析, 验证了这些策略在实际工程中的应用效果。研究表明结构的动力特性和地震动的特性对结构的抗震性能具有重要影响, 合理的抗震设计对策和方法能够有效提高结构在地震中的安全性和可靠性。

关键词: 动力特性; 抗震设计; 地震动特性; 结构体系选择

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.08.028

引言

在现代社会土木结构作为基础建设的重要组成部分, 其安全性和稳定性对于社会的发展和人民的福祉至关重要。随着经济的发展和技术的进步土木结构的设计和建造面临着越来越多的挑战特别是在抗震设计方面, 因此对土木结构动力特性与抗震设计问题对策的研究具有重要的理论和实际意义, 本研究旨在深入探讨土木结构的动力特性, 分析地震动的特性并提出有效的抗震设计问题对策, 以提高土木结构的抗震性能, 确保人民生命财产安全, 首先对土木结构的动力特性进行分析包括动力特性的基本概念和影响动力特性的因素, 并探讨动力特性分析的方法, 接着将对地震动的特性进行详细分析包括地震动的基本概念、地震动记录的选取和处理方法、地震动的频谱特性和持时特性, 在此基础上将对土木结构的抗震设计方法进行研究包括传统的抗震设计方法和基于性能的抗震设计方法, 并探讨动力法在抗震设计中的应用。

一、土木结构动力特性分析

(一) 动力特性基本概念

动力特性是土木结构设计中的一个关键因素, 它涉及结构在受到动态载荷作用时的响应行为。动力特性通常通过结构的固有频率、阻尼比和振型等参数来描述, 这些参数直接影响结构在地震等动力作用下的性能和安全性, 固有频率反映了结构的自然波动特性, 即结构在没有外部激励时自主振动的频率, 阻尼比则描述了结构在振动过程中能量的耗散速率, 阻尼比越大结构的振动衰减越快, 振型则是结构在振动过程中的形状和位移分布, 它反映了结构各部分之间的相对运动情况, 通过对动力特性的深入理解和分析, 工程师能够更好地预测和评估结构在动力作用下的响应, 从而确保结构的稳定性

和安全性。

(二) 动力特性影响因素

动力特性受到多种因素的影响这些因素包括但不限于结构的几何尺寸、材料属性、连接方式以及周围环境等。结构的几何尺寸包括梁、柱、墙体等的截面尺寸和楼层高度, 会对其刚度和质量分布产生影响, 进而影响结构的动力特性, 较大尺寸的结构通常具有较低的固有频率和较高的阻尼比, 这会使其在动力作用下表现出不同的响应行为, 材料属性如弹性模量、泊松比和质量密度也是影响动力特性的重要因素, 不同材料具有不同的刚度和阻尼特性这将直接影响结构的动力响应。高弹性模量的材料会使结构具有较高的刚度和较低的变形能力, 从而影响其振动特性, 此外结构的连接方式如刚接或柔性接头, 以及支撑条件, 都会对结构的振动特性产生显著影响, 刚接通常会导致较高的阻尼比和较低的振型, 而柔性接头则会增加结构的振动自由度, 改变其动力特性。最后周围环境如土壤类型、地下水位和相邻结构的影响也会对结构的动力特性产生影响。

(三) 动力特性分析方法

为了准确预测土木结构的动力特性, 需要采用合适的方法进行分析。目前常用的动力特性分析方法包括解析法、数值法和实验法。解析法基于结构的动力平衡方程, 通过求解方程得到结构的动力特性参数。数值法通常利用有限元分析软件, 通过模拟结构在动力载荷作用下的响应来预测动力特性。实验法则是通过实际测试结构在受动态载荷作用时的响应来确定动力特性参数, 在实际工程应用中通常会综合运用这些方法, 以获得更加准确和可靠的动力特性分析结果。

二、地震动特性分析

(一) 地震动特性基本概念

地震动是指地震发生时在地表或地下一定深度处产生的振动现象, 它是由地震震源产生的能量在地球表层传播和扩散所引起的。地震动的特性包括振幅、频率、持续时间和方向等, 这些特性对土木结构的抗震设计具有重要意义。振幅通常以地面运动加速度或位移来度量, 反映了地震动的强度和破坏力; 频率通常以赫兹(Hz)为单位, 描述了地震动中不同频率成分的分布, 高频成分对超高层建筑产生较大影响, 而低频成分则对一般建筑物的底部楼层产生显著影响; 持续时间即地震动从开始到结束的时间长度, 不同持续时间的地震动会对结构的疲劳和耐久性产生不同的影响。

(二) 地震动记录选取与处理

在进行地震动特性分析时, 首先需要选取合适的地

震动记录。地震动记录的选取应考虑地震动的类型、震级、震中距离、场地条件等因素。不同类型的地震动具有不同的特性和对结构的影响，震级和震中距离会影响地震动的强度和传播特性，而场地条件则会影响地震动的传播速度和衰减特性，选取合适的地震动记录后，需要对记录进行处理，包括去噪、滤波和归一化等，以提高分析结果的准确性和可靠性。

（三）地震动频谱特性分析

地震动的频谱特性是指地震动信号在不同频率范围内的能量分布情况。频谱特性分析可以帮助了解地震动的波动特性包括频率成分、幅值和相位等，通过频谱特性分析，可以确定地震动的卓越频率、频谱幅值分布和频谱能量重心等参数，这些参数对结构的抗震设计具有重要意义。卓越频率反映了地震动的波动特性，频谱幅值分布和频谱能量重心则可以帮助预测结构在不同频率范围内的响应特性。

（四）地震动持时特性分析

地震动的持时特性是指地震动信号在时间域内的持续时间特性。持时特性分析可以帮助了解地震动的持续性和衰减特性，对结构的抗震设计具有重要作用。地震动的持时特性通常通过计算持时参数来描述包括总持时、有效持时和脉冲持时等。这些参数反映了地震动的波动特性，可以帮助预测结构在地震动作用下的响应特性，包括加速度、位移和内力等，通过对地震动持时特性的分析，可以更好地评估结构的抗震性能和安全性。

三、土木结构抗震设计问题提出

（一）结构体系选择在抗震设计考量因素

在土木结构的抗震设计中结构体系的选择是一个至关重要的步骤，它直接关系到结构在地震作用下的性能和安全性。结构体系的选择需要考虑多种因素包括结构的用途、规模、地理位置、地震动特性等，不同的结构体系如框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构等，具有不同的抗震性能和破坏模式。因此如何选择合适的结构体系成为一个复杂的问题。需要综合考虑各种因素，进行全面的分析和评估，以确定最佳的结构体系，这涉及对结构体系的动力特性、屈曲和破坏模式、经济性、施工技术等方面的深入研究，此外结构体系的选择还应结合当地的地震动特性、建筑规范和设计师的经验，以确保结构在地震中的安全性和可靠性。

（二）抗震设防烈度与设计地震动参数确定问题

抗震设防烈度是指在抗震设计中预先设定的地震动的强度水平，它是决定结构抗震性能的关键参数。然而抗震设防烈度的确定是一个复杂的问题，它涉及地震动的统计特性、结构的安全性、经济性等多个因素，此外设计地震动参数，如地震动的幅值、频谱特性和持时特性等，也是抗震设计中的重要参数，它们的确定同样具有较高的复杂性。

（三）场地、地基和基础抗震设计问题

场地、地基和基础是土木结构抗震设计中的关键环

节，它们对结构的抗震性能和安全性具有重要影响。场地的地质条件、地形地貌和土壤类型等因素都会影响地震动的传播和变形特性从而影响结构的受力状态。地基和基础的设计需要考虑地震动的特性和土壤的特性，以及结构的特性和使用要求等多个因素，因此场地、地基和基础的抗震设计问题是一个复杂的问题，需要进行全面的分析和评估，以确保结构的稳定性和安全性。

（四）结构构件抗震设计问题

结构构件是土木结构的基本组成单元，其抗震设计是确保结构整体抗震性能的关键。结构构件的抗震设计需要考虑多种因素包括构件的尺寸、材料、连接方式等。不同的构件设计会导致不同的构件性能和破坏模式，因此如何进行结构构件的抗震设计是一个复杂的问题。需要根据结构的特性、地震动的特性以及地理位置等多个因素进行综合分析和评估，以确保结构构件的抗震性能和安全性。

四、土木结构抗震设计的策略探讨

（一）制定结构体系选择策略以提升抗震设计效能

在土木结构的抗震设计中结构体系的选择是一个关键的决策因素，它直接影响到结构在地震作用下的性能和安全性。为了确保结构体系在地震中表现出良好的抗震性能，设计师需要考虑多种因素包括结构的用途、规模、地理位置、地震动特性等，此外结构体系的选择还应考虑到地震动的特性，包括振幅、频率和持续时间。不同的地震动特性对结构体系的设计产生不同的影响，因此结构体系应能够适应这些特性，以保证在地震中的安全性和可靠性，因此结构体系的选择策略应基于全面的分析和评估，以确保结构体系能够适应不同的需求和环境条件。

（二）抗震设防烈度与设计地震动参数确定策略

抗震设防烈度是指在抗震设计中预先设定的地震动的强度水平，它是决定结构抗震性能的关键参数。为了合理确定抗震设防烈度，需要考虑地震动的统计特性、结构的安全性、经济性等多个因素，同时设计地震动参数，如地震动的幅值、频谱特性和持时特性等，也是抗震设计中的重要参数。因此确定合理的抗震设防烈度和设计地震动参数需要基于地震动的特性、结构的特性以及地理位置等多个因素的综合分析和评估。

（三）场地、地基和基础抗震设计策略

场地、地基和基础是土木结构抗震设计中的关键环节，它们对结构的抗震性能和安全性具有重要影响。为了确保场地、地基和基础在地震中能够有效地承担结构的荷载，设计师需要考虑地震动的特性和土壤的特性，以及结构的特性和使用要求等多个因素，因此场地、地基和基础的抗震设计策略应基于全面的分析和评估，以确保结构的稳定性和安全性。

（四）优化结构构件抗震设计以增强整体结构性能

结构构件是土木结构的基本组成单元，其在地震中的表现直接影响到整个结构的安全性。为了提高结构构

件的抗震性能，设计师需要考虑多种因素包括构件的尺寸、材料、连接方式等。合理的构件尺寸可以提高结构的刚度和强度，使其能够更好地承受地震力，选择合适的材料也很关键，不同材料具有不同的抗震性能，如钢材具有较高的强度和弹性模量，而混凝土则具有良好的韧性和耐久性，此外构件之间的连接方式也是影响结构整体抗震性能的重要因素，合理的连接方式可以确保构件在地震中能够相互支持，减少结构的位移和变形，因此结构构件的抗震设计策略应基于全面的分析和评估，以确保结构构件在地震中能够承受预期的荷载并避免不必要的破坏，这涉及对构件的尺寸、材料、连接方式等多个方面的深入研究。

五、实例分析

（一）实例背景介绍

以一个位于地震活跃区域的多层住宅建筑为研究对象，该建筑的设计采用了钢筋混凝土框架结构体系，共10层其中底部3层为商业空间，上部7层为住宅区。由于场地地质条件较差，土壤层主要由软土层和硬土层组成，这会对建筑的抗震性能产生不利影响，此外地下水位较高也可能对建筑的基础和地下结构造成潜在的威胁，考虑到该地区的地震历史数据显示抗震设防烈度为8度，设计地震动参数根据区域地震动特性进行了合理选取，设计师需要针对这些挑战制定相应的抗震设计策略这包括采用地基处理技术来提高土壤的稳定性，如桩基或地基注浆等，以及采用适当的设计措施来增强结构的抗震能力，如设置防震缝、使用弹性垫或减震器等，同时为了确保建筑在地震中的整体稳定性，设计师还需要考虑建筑的总体布局和构件的连接方式，通过优化框架的布置和选择合适的柱梁截面尺寸，可以提高结构的刚度和强度。

（二）动力特性分析结果

为了深入理解该实例建筑的动态特性，并为其抗震设计提供科学依据，进行了动力特性分析。分析过程中采用了频谱分析法这是一种常用的评估结构动力特性的方法，通过这种方法可以得到结构的自振频率、阻尼比等关键参数。分析结果表明，该建筑的结构固有频率处于0.5Hz至2.0Hz之间，这一频率范围可以有效应对地震波的频率特性。阻尼比则在0.05至0.10之间，这一阻尼比值表明结构在地震作用下能够吸收适量的能量，减少震动效应，进一步的振型分析显示，结构在各个方向上的振型分布较为均匀，这表明结构具有良好的动力平衡特性能够在地震中减少非均匀变形和响应，这些动力特性参数不仅是评估结构抗震性能的基础，也为后续的抗震设计提供了重要的参考和指导，确保设计能够充分考虑结构的动力反应，从而提高其在地震中的安全性和可靠性。

（三）抗震设计问题及对策应用

在实例的抗震设计过程中，面临了多个挑战。首先

由于场地地质条件较差，地基和基础的抗震设计成为一个关键问题，为了解决这一问题采用了深基础结合地基处理技术，以提高地基的承载能力和抗侧移性能，其次考虑到地震动的频谱特性和持时特性，采用了基于性能的抗震设计方法，以确保结构在地震动作用下的安全性和可靠性。此外还对结构体系进行了优化，以提高结构的整体抗震性能。

（四）抗震设计效果评估

通过对实例的抗震设计效果进行评估的结果显示，采用上述对策和方法的结构在地震动作用下表现出良好的抗震性能。结构的最大位移、加速度和内力均低于规范限值，表明结构能够承受设计地震动的作用，此外结构的破坏模式主要为轻微破坏，表明结构具有较好的延性和耗能能力，这些评估结果验证了所提出的抗震设计对策的有效性和可行性，为类似工程提供了有益的参考。

六、结论

（一）研究结论总结

本研究对土木结构的动力特性与抗震设计问题进行了深入的探讨，通过对一个具体实例的分析，揭示了动力特性分析在抗震设计中的重要性。研究表明，结构的动力特性参数如固有频率、阻尼比和振型等，对结构的抗震性能具有显著影响，此外实例分析还表明，采用合理的抗震设计对策和方法能够有效提高结构在地震动作用下的安全性和可靠性。

（二）研究不足与局限

尽管本研究取得了一定的成果，但仍存在一些不足和局限。首先本研究的实例分析仅针对一个特定的工程案例其结果具有一定的局限性。未来的研究可以通过更多的实例分析，以验证所提出的抗震设计对策的普遍适用性，其次本研究在动力特性分析中采用了频谱分析法，该方法在一定程度上能够反映结构的动力特性，但无法全面考虑地震动的随机性和不确定性，因此未来的研究可以探索更先进的动力特性分析方法，以提高分析结果的准确性和可靠性。

参考文献

- [1] 潮艺. 土木工程结构设计中的抗震问题探讨[J]. 电脑乐园, 2022(2): 0019-0021.
- [2] 付明芳. 土木工程结构设计中的抗震设计研究[J]. 建材与装饰, 2023.
- [3] 刘成清方登甲. 高层建筑斜交网格结构抗震研究进展综述[J]. 地震工程与工程振动, 2022, 42(3): 72-86.
- [4] 周金波. 土木工程结构设计中的安全性与经济性研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2022(4).
- [5] 郭晓建. 土木工程建筑结构设计问题及优化措施[J]. 工程管理与技术探讨, 2023.