

地震作用下结构设计的抗震性能评估

姚运

安徽晶天建筑设计有限公司

摘要：本文的主要目的是评估地震作用下结构设计的抗震性能，即在地震发生时，建筑物的结构是否能够承受住地震的力量，保障人们的生命财产安全。因此，本文介绍了地震灾害的严重性以及抗震设计的重要性，并分析了目前抗震设计中可能存在的问题和挑战。其中，存在的问题主要包括缺乏科学性、规范不够完善和设计水平不高。由于地震作为一种自然灾害，具有破坏性和不可预测性，因此如何提高结构的抗震性能一直是结构工程领域的研究重点。然而，目前抗震设计主要依赖经验公式和经验参数，缺乏有效的科学分析和计算方法；同时，抗震设计规范和标准仅仅是参考，还有待进一步完善和优化；设计师的整体水平、设计阶段的合理性、设计内容的完整性等因素都影响了抗震性能。

关键词：地震作用；结构设计；抗震性能；评估；改进方案

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.10.101

引言：地震作为一种自然灾害，具有破坏性和不可预测性。因此，如何提高结构的抗震性能，保障人们的生命财产安全，一直是结构工程领域的研究重点。目前，已经出现了很多抗震设计规范和标准，但是存在着一些问题，例如设计过程中缺乏科学性、存在的规范不够完善等^[1]。因此，本文旨在探讨如何评估地震作用下结构设计的抗震性能，并提出一些改进方案。

一、地震作用下结构设计的基本原理

地震作用下结构设计的基本原理包括结构强度、结构刚度、结构耗能和结构可靠性等方面。在抗震设计中，结构强度是至关重要的考虑因素。建筑物需要能够承受地震产生的巨大力量。确定结构强度等级时，需要考虑建筑物的使用性质、受力条件以及所处地区的地震烈度等级。根据这些因素，可以设计适当的结构尺寸、材料和连接方式，以保证建筑物具备足够的强度。另一个重要的考虑因素是结构刚度。结构刚度可以理解为建筑物在地震发生时的变形程度。通过合理设计支撑系统和稳定措施，可以提高建筑物的刚度和稳定性。这样可以减小地震引起的变形，保持建筑物的完整性。结构耗能是指建筑物在地震时吸收能量的能力。为了提高建筑物的耗能性能，可以采用一些措施，如添加减震器、阻尼器等。这些措施可以有效地吸收地震能量，减少对建筑物的影响。最后，结构可靠性是确保建筑物在地震发生时不会倒塌或破坏的重要指标^[2]。通过考虑安全系数、可靠度等因素，可以确保建筑物在地震作用下具备足够的安全性能。地震作用下结构设计的基本原理包括结构强度、结构刚度、结构耗能和结构可靠性等方面的考虑。通过合理的结构设计和采用相应的抗震措施，可以保障建筑物在地震作用下的安全性能。（如图1）

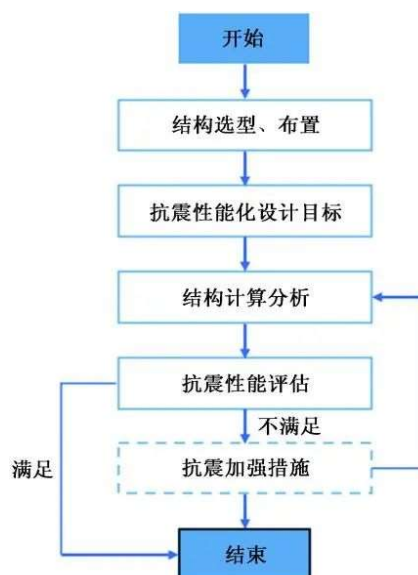


图1 抗震性能化设计的主要流程

二、当前结构工程领域，地震作用下结构设计存在的问题

1. 缺乏科学性

当前在结构工程领域，地震作用下的结构设计仍存在着一些问题，其中之一就是抗震设计主要依赖于经验公式和经验参数，而缺乏有效的科学分析和计算方法。传统的抗震设计方法通常采用经验公式和经验参数来确定结构的抗震性能。这些公式和参数是根据过去的地震事件和结构反应的观测数据所得出的经验性规律。尽管这些经验公式和参数在实践中有一定的可靠性，但它们并不能完全满足现代建筑设计的需求。部分人员通常是通过经验总结和简化假设得出的，并没有建立在坚实的理论基础上。这就使得其可靠性和适用性存在一定的局限性。

2. 规范不够完善

当前的抗震设计规范和标准在地震作用下的结构设计中起着重要的指导作用，但仍然存在一些问题需要进一步完善和优化。目前的抗震设计规范和标准主要基于历史地震数据和经验，以及对结构行为和地震力学的理论研究^[3]。例如，最近的研究表明，某些地区可能存在超出目前规范和标准所考虑的地震强度的潜在威胁。因此，抗震设计规范和标准需要通过不断的研究和实践经验的积累来不断完善和优化。另外，抗震设计规范和标准在实施和执行过程中可能存在一些问题。例如，设计人员和施工人员对规范和标准的理解和应用可能存在差异，或者在质量控制和检验方面存在不足。这可能导致建筑物在地震作用下的抗震性能不达标，无法有效保护人们的生命财产安全。因此，需要加强对抗震设计规范和标准的培训和宣传，以确保其正确地应用于实际工程项目中。最后，抗震设计并不仅仅是考虑结构的抗震性

能,还应综合考虑其他因素,如地质条件、建筑材料的性能、建筑物功能需求等。目前的抗震设计规范和标准主要关注于结构的抗震性能,但对于其他因素的综合考虑还有待进一步完善和优化。

3. 设计水平不高

在当前的结构工程领域,地震作用下结构设计存在以下几个问题,包括设计师的整体水平、设计阶段的合理性和设计内容的完整性等因素都影响了抗震性能。一些设计师可能缺乏足够的专业知识和技能,导致他们难以正确理解和应用抗震设计规范和标准,从而无法有效地设计出具有足够抗震性能的结构。另外,一些设计师可能过于追求设计的美观和经济性,从而忽视或削弱结构的抗震性能^[4]。这表明,设计师的整体水平是确保抗震设计质量的关键因素之一。在设计阶段,可能存在一些问题,例如,初步设计阶段的结构布置方案不合理、施工图设计阶段的材料选型不当等,导致结构抗震性能不足。此外,一些设计师可能会在设计过程中忽略一些关键的因素,例如,建筑地基的特性、地震波的频谱特征、地震波选取等,这也会影响结构的抗震性能。因此,设计阶段的合理性对于保证结构在地震作用下的抗震性能是非常重要的。设计内容的完整性也会影响结构的抗震性能。在设计过程中,应该充分考虑结构布置、材料选型、节点连接方式、抗震增强措施等因素,以确保结构具有足够的抗震能力。一些设计师可能会忽略这些因素,或者只考虑其中某些因素,这也会导致结构的抗震性能不足。

三、解决问题的措施

1. 引入结构动力学理论,采用更为科学的计算方法

在当前结构工程领域,为了提高地震作用下结构设计的抗震性能,引入了结构动力学理论,采用更为科学的计算方法。结构动力学是一种研究结构在外界动力作用下的响应和反应的学科。在地震作用下,结构受到的地震力往往是复杂的,具有随机性、非线性等特点。传统的静力分析方法难以准确模拟这些复杂的地震作用,并不能完全反映结构的真实响应。因此,结构动力学成了解决地震作用下结构设计问题的有效方法。结构动力学理论可以帮助工程师更准确地模拟结构在地震作用下的响应,预测结构的破坏形态和程度。采用结构动力学理论后,可以更好地进行结构设计和抗震评估,提高结构的抗震性能。在采用结构动力学理论后,需要采用更为科学的计算方法来求解结构的响应。常用的计算方法包括时程分析、频率响应分析、谱分析等。这些方法在计算过程中考虑到了地震波的频谱特征和结构的动态响应,能够更加准确地模拟结构在地震作用下的响应。

2. 进一步优化抗震设计规范和标准

在当前的结构工程领域,地震作用下结构设计中,进一步优化抗震设计规范和标准是非常重要的,以提高结构的抗震性能。对于现有的抗震设计规范和标准,可以通过不断的研究和实践经验的积累来进行修订和完善。可以结合历史地震灾害案例、大型试验数据和数值模拟结果等,对规范中的参数、计算方法和设计要求进行验证和修正,使其更加准确和可靠。可以引入最新的

科学研究成果和技术进展,将其应用于抗震设计规范和标准的更新^[5]。此外,还可以加强对抗震设计规范和标准的普及和培训,提高设计师和工程师的专业水平和意识。通过组织培训班、研讨会等形式,向设计师和工程师传授最新的抗震设计理论和技术,提高他们在地震作用下结构设计方面的能力和水平。当前结构工程领域,地震作用下结构设计中进一步优化抗震设计规范和标准是非常重要的。通过修订和完善现有规范、引入最新的科学研究成果和技术进展、加强国际合作和交流,以及加强对设计人员的培训和教育,可以提高结构的抗震性能,确保建筑物在地震发生时能够有效地保护人民的生命财产安全。

3. 加强设计师的专业水平提升

设计师深入了解地震工程的最新理论和技术,提高其专业水平。开展地震灾害案例的深入研究和分析,特别是对于那些在地震中表现出色的建筑物进行详细调查和评估。通过研究这些成功案例,设计师可以了解到有效的抗震设计策略、材料和构造方式,从而借鉴其经验,提升自己的设计水平。推广和培训设计师使用专业的结构分析和模拟软件工具,如有限元分析软件、地震波模拟软件等。这些工具可以帮助设计师更准确地模拟结构在地震作用下的响应,并评估结构的抗震性能。通过熟练掌握这些工具,鼓励设计师展示他们的创新设计和解决方案。激发设计师的积极性和创造力,促进他们在地震作用下结构设计中的不断探索和提高。鼓励采用更精细和更量化的建模与分析方法,评估结构在各地震水准特别是大震作用下的抗震性能。以此适当突破传统抗震设计方法因手段不足而只能强调概念设计(规则性要求等)、抗震构造措施并受到的各种束缚。建筑结构的抗震性能化设计,可根据结构的地震水准、受力特征、分析内容、评判标准及预期破坏等情况,选用静力或动力分析方法,根据分析对象选用弹性或弹塑性模型。让抗震设计尽量回归精准和真实,从而为技术创新提供依据。增强他们的创新和解决问题的能力,从而为建筑物的抗震性能提供更好的保障。这将有助于提高地震区域的建筑物安全性,保护人民的生命财产安全。

(如图2)

四、几种改进方案以提高抗震性能

(一) 采用新型材料

在建筑设计中,选择合适的材料对于提高建筑物的抗震性能至关重要。传统的混凝土建筑在地震中可能会出现裂缝、破坏等情况,因此采用新型材料可以增加建筑物的韧性和强度,使其更好地承受地震力量的冲击,并且更加耐久。一种常见的新型材料是钢筋混凝土。这种材料结合了钢筋的高强度和混凝土的耐久性,具有较好的抗震性能。在钢筋混凝土结构中,钢筋可以承担拉力,而混凝土则可以承受压力,二者相互协作,使得建筑物具有较高的承载能力和韧性^[6]。此外,钢筋混凝土还具有施工方便、成本较低等优点,因此在地震区域广泛应用。(如图3)另一种常见的新型材料是钢结构。钢结构具有高强度、轻质、可塑性好等特点,能够有效地吸收和分散地震力量,具有优异的抗震性能。相比之

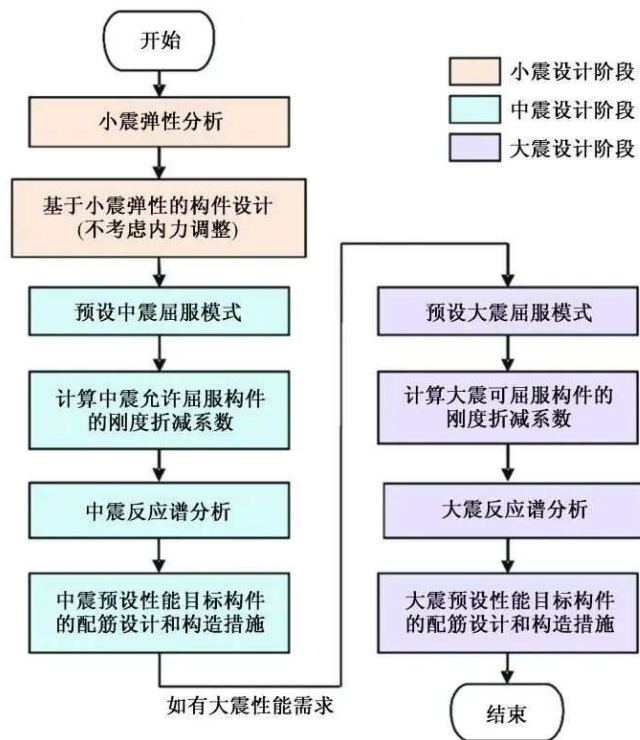


图2 基于预设屈服模式的抗震性能化设计流程

下，钢结构的韧性和延性更好，可以在地震中发挥更大的作用。此外，钢结构还具有可重复利用、施工速度快等优势，适合用于多层、大跨度的建筑设计。除了钢筋混凝土和钢结构，还有其他一些新型材料可以用于提高建筑物的抗震性能。例如，玻璃纤维增强塑料（GFRP）和碳纤维增强塑料（CFRP）等复合材料具有轻质、高强度、耐腐蚀等特点，适用于一些特殊的建筑结构。需要注意的是，选择合适的材料应该综合考虑多个因素，包括地震区域的地质条件、建筑物的类型和用途、成本等。同时，在选择材料时，还需要确保其符合相关的建筑标准和规范，以确保建筑物的安全性和稳定性。

编号	原X向面积配箍率	原Y向面积配箍率	目标X向面积配箍率	目标Y向面积配箍率
SRCZ1	0.20%	0.20%	0.22%	0.22%

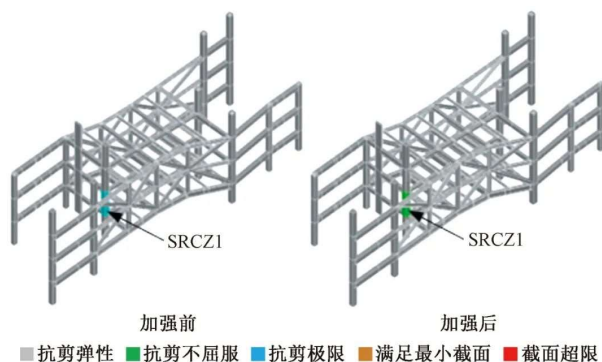


图3 超限型钢混凝土柱箍筋加强目标

(二) 加强节点连接

节点是建筑物中连接各个构件的关键部分，因此节

点的连接方式对于整个结构的抗震性能具有重要影响。通过加强节点的连接方式，可以增加建筑物的整体刚度，使其对地震力的承受能力更强。例如，采用钢板剪力墙、预制节点等方法来加强节点连接。

(三) 增加建筑物的自重

建筑物的自重可以增加建筑物的惯性力，从而减少地震力对其产生的影响。因此，在设计建筑物时应该尽量增加其自重，使其更加稳定。当然，增加自重也需要考虑到结构的承载能力，不能过度增加^[7]。

(四) 加强基础设计

建筑物的基础是支撑整个建筑物的关键部分，必须经过精心设计和加固。通过采用深基础、加强基础的承载力等方法，可以提高建筑物的抗震性能。此外，还应该考虑地基的巩固和排水等问题。

(五) 采用防震减灾技术

防震减灾技术是指通过科学合理的手段，减少地震灾害对人们生命和财产的影响。例如，采用减震支座、消能减震（粘滞阻尼器、金属阻尼器）等技术来降低地震灾害的损失。这些技术不仅可以提高建筑物的抗震性能，还可以在地震发生后起到减轻灾害的作用。因此，在高烈度区设计建筑物时应该充分考虑这些技术。并采取必要的措施来保障人们的安全。

结语

本文深入探讨了地震作用下结构设计的多方面原理，并针对当前设计中存在的科学性不足、技术措施不完善，提出了引入结构动力学理论、优化技术措施和提升设计专业水平等解决措施。同时，提出了采用新型材料、加强节点连接、强化基础设计、侧向支撑和应用防震减灾技术等具体改进方案，以期在实际工程中实现更高效的抗震性能。这些措施和技术的发展和应用，将有助于提升全球建筑物的抗震能力，减少地震灾害对人类生命财产的影响，为实现更加安全和可持续的社会发展做出贡献。

参考文献

[1] 高层建筑混凝土结构技术规程：JGJ 3—2010[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2011。
 [2] 建筑抗震设计规范：GB 50011—2010[S]. 2016年版. 北京：中国建筑工业出版社，2010。
 [3] 建筑结构抗震性能化设计标准：T/CECA 20024—2022[S]. 北京：中国建材工业出版社，2022。
 [4] 超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点：建质（2015）67号[A]. 北京：中华人民共和国住房和城乡建设部，2015。
 [5] 建筑消能减震技术规程：JGJ297—2013[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2013。
 [6] 建筑隔震设计标准：GB/T 51408[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2021。
 [7] 基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则：RISN-TG046—2023[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2023。

作者简介：姚运（1985年9月），男，高级工程师，研究方向：抗震，装配式。