

建筑结构设计抗震设计手段及方法探讨

刘 敏

鹤壁中矿工程设计有限公司 河南鹤壁 458000

【摘要】在建筑工程中，抗震设计是确保建筑物在地震发生时能够安全稳固的关键因素。随着城市化进程的加快和地震频率的增加，抗震设计的重要性日益突出，建筑结构抗震设计手段主要涉及承载力、能量、损伤等元素，通过增强结构的承载能力、降低地震输入能量、控制结构的损伤程度，有效提高建筑物在地震中的抗震性能。鉴于此，本文详细分析建筑结构设计抗震设计手段及方法，针对提高建筑结构抗震程度的有效对策进行全面总结，不断深化抗震设计方法的应用，为提高建筑结构的安全性和可靠性提供更坚实保障，推动建筑工程技术的持续进步和发展。

【关键词】建筑结构；抗震设计；承载力；能量；损伤

建筑结构设计是指在建筑工程中，为了确保建筑物在各种静载荷和动载荷作用下能够安全、稳定地使用，而进行的结构系统设计和分析过程。抗震设计是指在建筑工程中，针对地震力作用下的结构性能进行优化设计，提高建筑物抗震能力，保障人员生命安全和建筑物财产安全的工程设计过程。抗震设计不仅关乎建筑物的安全性和稳定性，还直接关系到人们的生命财产安全以及社会稳定。通过深入探讨和应用不同的抗震设计方法，可以有效减少地震灾害对建筑物造成的破坏和损失，保障城市和社区的持续发展和运转。

1 建筑结构设计抗震设计手段及方法

1.1 基于承载力的结构抗震设计

1.1.1 强化建筑结构的整体承载能力

选择合适的结构形式和材料，可以确保建筑在地震作用下，有效承担和分散地震力。钢筋混凝土结构在抗震设计中广泛采用，其具有优良的承载能力和良好的延性，能够有效吸收和消散地震能量。使用高强度混凝土及合理布置钢筋可以显著提升结构的抗震性能，减少地震灾害对建筑物造成的破坏程度^[1]。利用先进的结构分析方法如有限元分析，能够在建筑设计过程中精确预测结构在地震作用下的响应，指导具体的参数调整和优化，提升结构的承载能力和抗震性能。有限元分析通过将复杂的结构划分为许多小的有限元单元，模拟地震时的动态响应过程，能够有效评估结构在地震荷载作用下的变形、应力分布及其承载能力。在设计高层建筑时，有限元分析可以精确计算各个楼

层在地震中的位移响应，并识别出可能发生破坏的关键区域。基于分析结果，工程师可以调整结构的材料、截面尺寸及加固方案，提高结构的整体稳定性和抗震能力。

1.1.2 考虑结构在设计寿命内的耐久性和可靠性

在设计过程中，结合地震工程学和结构动力学理论，可以对结构进行全面的静动力分析和优化设计，确保其在多次地震循环下的稳定性和可靠性^[2]。采用适当的结构耐久性设计，如抗裂措施和预应力技术，能够显著延长建筑结构的使用寿命，并减少地震后的修复和维护成本。以预应力混凝土桥梁为例，预应力技术通过在混凝土中引入预应力钢筋，使其在受力之前产生压应力，抵消部分外部荷载引起的拉应力，避免裂缝的产生和扩展，增强结构的抗裂性能，提高整体的承载能力和耐久性。在某地震高发区，某高速公路桥梁采用了预应力混凝土技术，并在关键节点实施了抗裂措施，如加密钢筋网和设置膨胀剂。这些措施有效地提高了桥梁在地震作用下的稳定性和抗裂能力。地震发生后，该桥梁仅出现了轻微的表面裂纹，整体结构完好，基本无需大规模修复。相比之下，附近未采用预应力技术的桥梁则出现了严重的结构损伤，需进行昂贵且耗时的修复工作。

1.2 基于能量的结构抗震设计

1.2.1 减震技术的应用

减震技术通过在建筑结构中引入能量耗散装置，如阻尼器、摩擦器或液体阻尼器，来吸收和消耗地震能量，减少地震时结构的振动幅度和加速度，提升建筑物的抗震能力^[3]。液体阻尼器是一种有效的减震装置，利用流体的黏性和摩擦

力来耗散地震能量，降低建筑结构的动态响应。为了提高某超高层住宅建筑的抗震性能，设计团队在大楼的顶部安装了液体阻尼器，液体阻尼器系统包含两个巨大的水箱，水箱中的水在地震或强风作用下通过管道流动。水的流动产生的摩擦力和黏性阻力能够有效地耗散外部能量，减少建筑物的摆动幅度和加速度。当大楼受到地震力作用时，液体阻尼器的水流会产生反向力，抵消部分地震引起的结构运动，减小建筑物的动态响应。结合实时监测和控制系统，能够对减震效果进行实时调整和优化，提升抗震性能。

1.2.2 结构的耗能能力分析 with 优化

在设计阶段，通过结构动力学分析和数值模拟，评估建筑结构在地震作用下的能量吸收和耗散能力。优化结构的能量耗散机制，如增加材料的耗能性能或设计适当的结构连接方式，可以有效提高结构的耗能能力和抗震性能^[4]。采用高耗能材料如碳纤维增强聚合物（CFRP）加固和专用耗能构件，能够显著提升结构在地震中的能量耗散效果，减少结构损伤和修复成本，并延长建筑的使用寿命。某建筑在设计时考虑到了高地震风险区的特殊需求，采用了CFRP加固技术和专用耗能构件。建筑关键部位，如地基和梁端，应用了CFRP加固。CFRP具有高强度和高弹性模量，能够承受较大的拉应力和变形，在地震作用下有效地吸收和耗散能量。相比传统的钢筋混凝土加固，CFRP不仅重量轻、施工便捷，还具有优异的抗腐蚀性能，显著提高了结构的耐久性。建筑设计中还集成了专用耗能构件，如钢制阻尼器和剪切墙，这些构件能够在地震发生时，通过塑性变形和摩擦耗散地震能量，减少建筑主体结构的应力和变形，确保建筑在经历地震时，仅受到轻微损伤，主体结构完好无损，修复成本极低。

1.3 基于损伤的结构抗震设计

1.3.1 损伤预测与评估技术的应用

在设计阶段，通过结构动力学分析和有限元模拟，可以预测建筑在不同地震作用下的损伤模式和程度。利用层间位移角、主梁端部位移、柱截面变形等指标，准确评估结构的损伤状态，为后续的修复和维护提供科学依据^[5]。采用先进的损伤评估技术，如非线性时程分析和损伤指标法，能够有效预测结构在地震中的损伤程度，帮助设计师制定合理的抗震设计方案和应急响应策略，减少地震灾害

对建筑物的影响。在设计某建筑的过程中，工程师采用了非线性时程分析技术，通过模拟不同地震情景下建筑物的动态响应，精确评估了各关键构件的受力和变形情况，精确捕捉到结构在地震作用下的非线性行为，如材料的屈服和构件的局部失效，提供详尽的损伤分布信息。根据分析结果，工程师对建筑的抗震设计进行了优化，增加了关键部位的加固措施，调整了楼层间的刚度分布，确保在强震下建筑的整体稳定性。工程师还采用了损伤指标法，通过设定不同的损伤指标（如位移、应力、能量耗散等）来量化结构的损伤程度，如利用Park-Ang损伤指标，综合考虑了构件的最大变形和累积能量损失，评估结构在地震后的剩余承载能力。

1.3.2 损伤控制与修复策略的优化

通过设计和应用抗震加固技术，如增加混凝土覆盖层、加固柱节点、使用高性能钢筋等措施，可以有效控制结构在地震中的损伤扩展，减少关键构件的损坏率。结合实时监测系统，及时反馈结构损伤信息，可以调整和优化抗震设计方案，最大限度地保护建筑和其内部设施的安全性和完整性^[6]。合理设计的损伤控制与修复策略不仅可以降低地震对建筑物的直接影响，还能减少事后的修复成本和时间，提高建筑的可持续性和抗灾能力。某建筑在设计阶段采用了基于性能的抗震设计方法，明确了不同地震烈度下的目标性能水平。通过非线性时程分析，设计团队识别出潜在的薄弱环节，并采用高耗能材料如碳纤维增强聚合物（CFRP）进行加固。特别是在楼梯、核心筒等关键部位，设置了专用的耗能构件，这些构件能够在地震中有效吸收和耗散能量，减少结构的损伤。工程师在墙体和楼板连接处使用了可拆卸的连接件，这些连接件在地震中会优先发生破坏，保护主体结构。地震发生后，受损的连接件可以迅速更换，恢复建筑物的功能，设计还预留了维护通道和检测口，方便在地震后进行快速评估和修复。

2 提高建筑结构抗震程度的有效对策

2.1 建筑物结构设计

不同的结构形式在地震作用下表现出不同的抗震性能，框架结构以其强大的竖向和水平荷载传递能力被广泛应用于高层建筑，剪力墙结构则因其良好的承载和抗侧移能力在地震区域内备受青睐^[7]。在材料选择上，高强度混凝土

和钢材的使用不仅可以提高结构的整体强度和刚度，还能增强其抗震能力和耐久性。引入先进的抗震技术和工程措施，包括使用减震装置、增加结构耗能设施、优化结构连接节点等。减震装置如液体阻尼器和摩擦阻尼器能有效地消耗和分散地震能量，减少结构的振动幅度和加速度，保护建筑物及其内部设施的完整性。通过合理设计和加固结构连接节点，可以有效提高结构的整体刚性和耐久性，抵抗地震带来的冲击力。

2.2 混凝土结构设计

混凝土作为建筑结构中常用的主要材料，其质量和性能直接影响到结构的抗震能力。在抗震设计中，应根据具体的工程需求和地震区域的地质条件，选择合适的混凝土强度等级和配筋方案。在高地震频发区域，通常推荐采用高强度混凝土，增加结构的整体抗震能力^[8]。合理设计混凝土的配比和粒径分布，可以有效提升混凝土的抗压强度和抗拉强度，增加结构的承载能力和耐久性。优化混凝土配比能够显著改善结构在地震荷载下的变形能力和耐久性，减少结构的损伤程度和维修成本。在现有建筑的抗震改造和新建结构设计中，通过引入专用的抗震加固技术，如外包钢板加固、粘结钢板加固、预应力加固等，可以有效提升混凝土构件的整体抗震能力和承载能力。特别是在历史悠久或设计标准较低的建筑中，采用适当的加固技术能够显著提高其在地震中的抗震性能，降低结构的倒塌风险。优化和加强混凝土构件的连接技术，如采用预埋连接件、增加连接密度和优化构件间的传力方式，也能有效提升整体结构的抗震能力和整体稳定性^[9]。

2.3 隔震技术的应用

基础隔震通过在建筑物底部设置隔震支座或隔震垫层，将建筑物与地基直接接触的刚性联系减弱，有效隔离建筑物与地面的地震波传递。隔震支座一般采用橡胶、钢板等材料制成，具有良好的水平变形能力和耗能性能，能够有效吸收地震能量并减少地震对建筑物的影响。采用基础隔震技术可以显著降低建筑物的地震响应，减少地震引起的水平位移和加速度，有效保护建筑结构及其内部设施的完整性和安全性^[10]。在建筑底部设置隔震系统，如支座隔震系统或摩擦隔震系统，能够有效改善建筑的动态响应特性，降低结构的共振效应和震动幅度。采用隔震技术可以大幅减

少超高层建筑在强震中的振动幅度和动态响应，提高其在地震中的稳定性和安全性，为居民提供安全的生活和工作环境。

结束语：

通过对基于承载力、基于能量、基于损伤的抗震设计方法进行分析，可以得出以下结论：基于承载力的设计主要通过增强结构的承载能力来提高抗震性能，包括增加构件尺寸、提高材料强度等措施，适用于对结构刚度要求较高的建筑物。基于能量的设计侧重于通过阻尼器、隔震层等装置来降低地震输入能量和控制结构的动态响应，适用于需要考虑结构耗能能力和动态特性的建筑。基于损伤的设计通过预设塑性铰区域和采用适当的耗能装置，延缓结构的损伤进展和提高抗震性能，适用于需要考虑结构损伤累积和非线性行为的建筑。

参考文献：

- [1] 夏仕洋, 孙逊, 方立新, 等. 减震技术在优秀近代建筑更新中的应用研究[J]. 建筑结构, 2023, 53(2): 55-61.
- [2] 贾水钟, 苏朝阳, 石硕. 高烈度区某体育馆建筑隔震设计与应用研究[J]. 建筑结构, 2023, 53(1): 84-88, 28.
- [3] 王森, 魏璉, 刘冠伟, 等. 深圳恒裕前海金融中心B、C塔超大高宽比超高层建筑设计[J]. 建筑结构, 2023, 53(22): 20-25.
- [4] 关宇. 消能减震加固技术在既有建筑改造工程中的应用[J]. 建筑结构, 2023, 53(8): 90-94.
- [5] 薛红京, 束伟农, 高志斌, 等. P-TRC加固砌体结构历史建筑抗震性能研究[J]. 建筑技术, 2023, 54(10): 1166-1169.
- [6] 袁旭晨. 基于BIM的可视化技术在超高层建筑设计中的应用[J]. 信息记录材料, 2022, 23(01): 104-106.
- [7] 孔国飞. 高层建筑结构抗震设计策略研究[J]. 房地产导刊, 2021(33): 275-276.
- [8] 胡荣攀, 汪羽凡, 等. MEMS型加速度传感器在超高层建筑振动监测中的性能对比测试[J]. 震灾防御技术, 2022, 17(02): 348-359.
- [9] 王昊. 建筑工程结构设计中抗震问题的分析[J]. 建材与装饰, 2023, (5): 54-56.
- [10] 齐阳, 赵于博. 既有建筑结构抗震鉴定与加固设计分析[J]. 建设科技, 2023, (2): 27-30.