

现代建筑结构设计中的抗震性能优化方法研究

邓仕金

江西省河曦建设工程有限公司，江西上饶，334000；

摘要：在城镇化快速推进与地质灾害防御需求不断提高的背景下，现代建筑结构的抗震性能已成为工程安全评价的核心内容。本文针对建筑结构设计中的抗震性能优化这一关键问题，结合当代结构工程理论成果与新型材料技术发展现状，系统剖析影响建筑抗震能力的核心因素。通过梳理传统抗震设计方法在复杂建筑场景中的应用局限，重点探索基于性能目标的优化思路，详细阐述结构体系选型、材料性能提升及智能算法应用等方面的具体优化策略。研究成果可为建筑结构设计提供科学可行的抗震优化路径，有效提升建筑在地震作用下的安全稳定性，为实际工程实践提供有价值的理论参考。

关键词：现代建筑；结构设计；抗震性能；优化方法；性能目标

DOI：10.64216/3104-9664.25.02.006

引言

地震作为典型的突发性自然灾害，其强大的破坏力对建筑结构安全构成严重威胁。近年来，全球多地地震灾害的发生，使得传统建筑结构在强震下的倒塌、损毁问题愈发突出，凸显了抗震性能优化的迫切性。现代建筑正朝着高层化、复杂化方向发展，结构受力模式更为复杂，对地震作用的响应也更为敏感，给抗震设计带来新挑战。当前，建筑抗震设计已从单纯满足规范要求转向性能优化层面。

1 现代建筑结构抗震性能的核心影响因素

1.1 结构体系力学特性

结构体系作为建筑抗震的基础载体，其力学特性直接决定抗震性能的优劣。不同结构体系在抗侧刚度、延性及能量耗散能力上存在本质差异，这些差异会在地震作用下被显著放大。例如，纯框架结构延性较好但抗侧刚度不足，在强震中易出现层间位移过大问题；剪力墙结构抗侧刚度强，但延性相对较差，不利于吸收地震能量。合理的结构体系需能够将地震荷载高效传递至基础，同时通过自身变形分散应力，避免局部应力集中引发的破坏。

1.2 材料性能适配性

建筑材料是结构抗震能力的物质保障，其强度、韧性及耐久性直接影响结构的抗震承载极限。传统建筑材料如普通混凝土，虽强度可满足基本需求，但韧性不足，在地震反复荷载作用下易发生脆性破坏。随着材料技术发展，高强度混凝土、高性能钢材等新型材料不断涌现，

为抗震优化提供了可能。然而，材料性能的提升并非简单替换，关键在于与结构设计的适配性。例如，在框架节点部位采用高韧性材料，可提升节点抗剪能力；在剪力墙中合理搭配普通钢材与高性能钢材，可平衡成本与抗震效果。

1.3 结构与场地协同性

不同场地的地质条件差异较大，软土地基与硬土地基在地震作用下的峰值加速度、频谱特性截然不同。若结构自振周期与场地卓越周期接近，易发生共振现象，大幅增加结构破坏风险。因此，结构设计需充分考虑场地条件，实现两者协同优化。在场地勘察阶段，需精准获取地震动参数；在结构设计阶段，通过调整结构刚度、质量分布等方式，改变结构动力特性，避免共振。这种协同优化能有效降低地震作用对结构的影响，提升抗震性能，是抗震设计中不可忽视的重要维度。

2 现代建筑结构抗震设计的理论基础与发展趋势

2.1 性能化抗震设计理论

基于性能化的抗震设计理论是现代抗震设计的核心理论之一，其以明确的抗震性能目标为导向，突破了传统规范设计的被动局限。该理论要求根据建筑重要性、使用功能等，确定不同地震水准下的性能目标，如小震不坏、中震可修、大震不倒等。通过量化分析结构在多水准地震作用下的位移、应力等响应指标，判断设计方案是否满足性能要求。与传统设计相比，性能化设计更注重精准性与针对性，可根据工程实际需求调整设计参数，避免过度设计或设计不足。在实际应用中，需结合

结构分析软件,对结构进行精细化模拟,确保设计方案既满足安全需求,又符合经济合理性,为抗震优化提供坚实的理论支撑。

2.2 数字化技术支撑

数字化技术的快速发展为抗震设计提供了强大的技术支撑,改变了传统设计中依赖经验估算的模式。BIM技术作为数字化设计的核心工具,可构建包含结构、材料等信息的三维模型,实现设计过程的可视化与协同化。有限元分析软件如ABAQUS、ANSYS等,能对结构进行精细化力学分析,模拟地震作用下结构的应力分布、位移变化等响应。通过数字化工具,设计人员可快速调整设计参数,对比不同方案的抗震效果,提升设计效率。同时,数字化模型可贯穿设计、施工全过程,为各环节提供准确数据支持,减少设计与施工的偏差,确保抗震设计意图的有效落地,推动抗震设计向精准化方向发展。

2.3 绿色化与经济性融合

现代抗震设计已不再局限于安全性能,而是朝着绿色化与经济性融合的方向发展。绿色建筑理念的普及,要求抗震设计在提升安全的同时,减少资源消耗与环境影响。例如,通过优化结构选型减少材料用量,选用环保型抗震材料,降低建筑全生命周期的能耗。经济性目标则要求在满足抗震性能的前提下,控制设计、施工及运维成本。这就需要设计人员进行多目标优化,平衡安全、绿色与经济之间的关系。通过精细化计算避免材料浪费,采用装配化施工降低人工成本,实现抗震性能与经济效益的统一。这种融合发展的设计理念,符合现代建筑行业的发展趋势,也是抗震设计的重要发展方向。

3 现代建筑结构抗震性能的优化路径与方法

3.1 结构体系优化选型

结构体系的优化选型是抗震性能优化的首要环节,直接决定结构的抗震基础能力。在设计初期,需结合建筑的功能需求、高度、场地条件等因素,综合评估各类结构体系的抗震性能。框架-剪力墙体系结合了框架结构的延性与剪力墙的抗侧刚度,适用于中高层建筑;筒体结构抗侧刚度强、整体性能好,常用于超高层建筑。除传统体系外,模块化、装配化结构体系因其施工高效、质量易控的特点,逐渐在抗震设计中应用。对于这类新型体系,需重点优化模块连接节点的抗震性能,确保模块间传力可靠。通过合理选型与创新设计,使结构体系在满足使用功能的同时,具备优越的抗震性能,为后续

优化工作奠定基础。

3.2 材料性能提升应用

材料性能的提升与合理应用,是提升结构抗震承载力的有效途径。高强度混凝土具有较高的抗压强度,可减小构件截面尺寸,减轻结构自重;高性能钢材屈服强度高、韧性好,在地震作用下能通过塑性变形吸收能量,减少结构破坏。在设计中,需根据结构各部位的受力特点,针对性选用合适材料。例如,在梁、柱等主要受力构件中采用高强度材料,提升承载能力;在节点部位采用高韧性材料,增强节点延性。同时,注重不同材料的搭配使用,如钢管混凝土组合结构,利用钢材与混凝土的协同工作,实现刚柔并济的抗震效果。通过材料的优化应用,在提升抗震性能的同时,实现结构的轻量化与经济性。

3.3 节点及关键部位强化

结构节点及关键受力部位是抗震薄弱环节,其性能直接影响结构整体抗震安全性。在地震作用下,节点需传递各构件间的力,易出现剪切破坏、锚固失效等问题;关键部位如底层柱、转换层等,因受力集中,也易发生破坏。针对这些问题,需采取强化设计措施。在节点设计中,可通过增大节点核心区尺寸、加密箍筋、优化钢筋锚固方式等,提升节点抗剪能力与延性。在关键部位,可采用加大截面尺寸、配置附加钢筋、增设耗能构件等方法,增强其承载能力与能量耗散能力。通过对薄弱环节的强化,可有效提升结构整体抗震性能,避免因局部破坏引发整体结构倒塌。

4 智能算法在抗震性能优化中的应用探索

4.1 遗传算法参数优化

遗传算法作为一种基于生物进化理论的全局优化算法,在建筑结构抗震参数优化中具有显著优势。其通过模拟自然选择与遗传变异过程,对结构设计参数进行多目标优化,可有效解决传统优化方法易陷入局部最优的问题。在抗震设计中,遗传算法可针对结构的截面尺寸、构件布置、材料用量等参数,以抗震性能指标与经济成本为优化目标,进行迭代计算。例如,在框架结构优化中,算法可自动调整梁、柱截面尺寸,在满足结构自振周期、层间位移等抗震指标的同时,实现材料用量最小化,达到结构轻量化设计目的。该算法的应用,可提升抗震优化的效率与精度,为设计人员提供科学的参数选择依据。

4.2 神经网络性能预测

神经网络凭借其强大的非线性映射能力,在建筑结构抗震性能预测中得到广泛应用。其可通过学习大量历史设计数据与对应的抗震性能指标,建立结构参数与抗震性能之间的复杂关系模型。在实际设计中,只需输入新的结构参数,模型即可快速输出对应的抗震性能指标,如最大层间位移、构件最大应力等,大幅缩短性能评估时间。与传统有限元分析相比,神经网络预测具有高效性的优势,可满足设计过程中多方案快速对比的需求。通过建立精准的预测模型,设计人员可及时发现设计方案中的不足,针对性地调整参数,为抗震优化决策提供快速、可靠的依据,提升设计效率与质量。

4.3 智能与数字化融合

将智能算法与 BIM、有限元分析等数字化工具融合,是现代抗震设计的重要发展方向。这种融合可构建一体化的抗震优化设计平台,实现设计、分析、优化的高效协同。在平台中,BIM 模型提供精准的结构几何与材料信息,有限元分析工具基于 BIM 模型进行地震响应计算,智能算法则根据分析结果对设计参数进行优化,并将优化后的参数反馈至 BIM 模型中。整个过程形成闭环,大幅提升设计效率与精度。例如,在高层建筑设计中,平台可自动完成 BIM 建模、地震作用分析、遗传算法参数优化等一系列工作,设计人员只需根据需求调整优化目标,即可快速得到最优设计方案。这种融合应用,推动抗震设计向智能化、一体化方向发展,提升设计水平。

5 抗震性能优化设计的质量控制与保障措施

5.1 全流程性能评估

建立全流程抗震性能评估体系,是保障抗震优化设计质量的关键措施。抗震设计是一个连续的过程,各阶段设计内容相互关联,单一阶段的评估无法全面保障设计质量。全流程评估体系涵盖方案设计、初步设计、施工图设计及施工验收等各个阶段。在方案设计阶段,重点评估结构体系选型的合理性;初步设计阶段,通过精细化分析评估结构参数是否满足性能目标;施工图设计阶段,核查设计细节是否符合抗震规范及优化要求;施工验收阶段,检查施工质量是否与设计一致。通过各阶段的动态评估,及时发现设计与施工中的问题,并采取优化调整措施,确保每一个环节都符合抗震要求,最终保障建筑整体抗震性能。

5.2 设计施工协同衔接

设计与施工的协同衔接,是确保抗震优化设计落地的重要保障。抗震设计的优化效果,最终需通过施工实现。若设计与施工脱节,易出现设计意图无法准确传达、施工方法不符合设计要求等问题,影响抗震性能。因此,需强化两者间的沟通协作。在设计阶段,设计人员应充分考虑施工可行性,选用成熟、可靠的施工技术;施工前,组织技术交底会议,向施工团队详细说明抗震优化设计的关键点与技术要求。施工过程中,建立常态化沟通机制,设计人员及时解决施工中出现的技术问题,施工团队反馈施工过程中的实际情况,确保施工严格按照优化设计方案进行,保障抗震设计效果的有效实现。

5.3 设计标准完善

完善的抗震设计标准化与规范化体系,是引导抗震优化设计有序发展的重要支撑。随着新技术、新方法的不断涌现,传统设计标准已难以完全覆盖新型结构体系、材料及优化技术的应用需求。因此,需结合行业发展现状,推动抗震设计标准的更新与完善。在标准制定中,应纳入 BIM 技术、智能算法等新型技术的应用规范,明确新型材料的抗震设计要求,细化性能化设计的评估指标与方法。

6 结论

本文围绕现代建筑结构设计中的抗震性能优化方法展开系统研究,明确了结构体系力学特性、材料性能适配性及结构与场地协同性是影响抗震性能的核心因素。基于性能化设计理论与数字化技术支撑,从结构体系选型、材料应用、节点强化等方面提出了具体的抗震优化路径。智能算法与数字化工具的融合应用,为抗震优化提供了高效、精准的技术手段,而全流程评估、设计施工协同等保障措施,则确保了优化设计的落地效果。

参考文献

- [1]叶灿辉.高层建筑设计抗震性能优化关键技术研究[J].新城建科技,2025,34(07):87-89.
- [2]何本富.剪力墙结构设计在建筑设计中的应用[J].城市开发,2025,(08):165-167.
- [3]肖小珍.基于装配式建筑竖向接缝剪力墙的结构设计及抗震性能评估[J].石材,2024,(10):72-74.
- [4]牛天晨.高层住宅建筑设计的关键技术研究[J].居舍,2024,(07):46-48.
- [5]杨理.高层住宅结构设计对建筑抗震性能的影响研究[J].住宅与房地产,2023,(29):100-103.