

Seismic design and optimization analysis of high-rise building structure

Shugang Wang

Hebei Metallurgical Construction Group Co., Ltd. Fifth Engineering Branch, Shijiazhuang, Hebei, 050035, China

Abstract

The seismic design of high-rise building structures directly affects the safety and stability of buildings under earthquake forces. Due to their heavy weight, height, and flexibility, these structures face more uncertainties and structural response challenges during earthquakes. This paper systematically reviews the principles and regulatory requirements for seismic design of high-rise buildings, delves into the differences in seismic performance of typical structural systems, and explores design and optimization strategies for stiffness, ductility, and energy dissipation capabilities. It focuses on evaluating the engineering adaptability and effectiveness of seismic isolation technologies in structural optimization. Through comprehensive performance analysis of different seismic design approaches, feasible optimization suggestions are proposed to provide theoretical support and engineering references for enhancing the seismic performance of high-rise building structures.

Keywords

high-rise building; structural design; seismic performance; vibration reduction and isolation technology; optimization analysis

高层建筑结构抗震设计与优化分析

王树刚

河北冶金建设集团有限公司第五工程分公司, 中国·河北 石家庄 050035

摘要

高层建筑结构的抗震设计直接关系到建筑物在地震作用下的安全性与稳定性。由于其自重重大、高度高、柔性强等特点,在抗震过程中面临更多的不确定性与结构响应挑战。本文系统梳理高层建筑抗震设计的原则与规范要求,深入分析典型结构体系的抗震性能差异,探讨结构刚度、延性、能量耗散能力的设计与优化策略,重点评估减隔震技术在结构优化中的工程适应性与效果表现。通过对不同抗震设计路径的综合效能分析,提出可行的优化建议,以期为高层建筑结构抗震性能的提升提供理论支持与工程参考。

关键词

高层建筑; 结构设计; 抗震性能; 减隔震技术; 优化分析

1 引言

高层建筑由于功能密集、体量庞大,在城市建设中占据着重要地位,其结构安全性是建筑设计中的核心问题。地震作用下,结构的抗震能力不仅关乎人员生命财产安全,更直接影响城市整体的防灾减灾水平。传统抗震设计模式在面对高烈度地震或复杂地质环境时逐渐暴露出诸多局限,推动了抗震设计技术不断向高性能化和系统集成化方向发展。本文围绕当前高层建筑结构设计中的关键抗震问题展开,着重剖析实际工程中可行的优化路径,并结合不同结构体系特性进行多维度比较,以实现设计理念与技术手段的深度融合与实践突破。

【作者简介】王树刚(1981-),男,中国河北邯郸人,本科,工程师,从事建筑技术研究。

2 抗震设计的基本原则与规范要求

2.1 抗震设防目标与性能设计理念

抗震设防目标旨在确保高层建筑在不同震害等级下的结构安全与功能维持。设计需满足“小震不坏、中震可修、大震不倒”的基本要求,体现出结构在不同地震强度下的变形容许性和承载冗余性。性能设计理念以结构使用功能为出发点,将抗震性能细化为多种目标状态,涵盖承载力、变形能力、构件破坏控制等方面,通过力学分析与构造措施的协同实现结构的抗震韧性与延性要求。性能化设计模式下,设计者不再局限于规范的统一构造措施,而是结合建筑的重要性等级与功能需求,建立多阶段性性能控制目标,强化建筑的整体抗震协同机制,以提升抗震设计的科学性、针对性与适应性,构建可靠的安全保障体系^[1]。

2.2 现行规范中的抗震设计分级与设防烈度

我国现行建筑抗震设计规范将建筑物按重要性和使用

功能进行抗震设防分级，明确不同等级建筑在不同地震烈度区的设防要求。设防烈度依据地震区划图进行判定，反映某一地区可能遭遇的最大地震影响强度。抗震等级分为一级至四级，其中一级建筑多为生命线工程和关键功能设施，需在罕遇地震作用下保持结构基本完好或可修复状态。规范规定了各类建筑在设防烈度下的基本地震影响系数、弹性设计反应谱及地震作用组合方式，并对结构构件的延性能力、构造措施、材料强度等提出分级要求。通过设防分级与结构等级划分的匹配，实现对不同功能建筑物的抗震能力精细化调控，以保证其在地震中的结构稳定性和使用连续性。

3 高层建筑常见结构体系抗震性能分析

3.1 框架结构的抗震性能特征

框架结构在高层建筑中具有构造简单、布置灵活、施工方便的优势，其抗震性能主要依赖梁柱节点的延性设计与塑性铰区的能量耗散能力。地震作用下，框架体系通过节点转动与构件弯曲来吸收地震能量，具有较强的变形适应性和整体协同能力。在小震或中震阶段，结构可通过弹性响应完成地震荷载的分担，但在大震下较易产生过度位移与局部破坏，对节点构造、材料性能与延性储备提出更高要求。纯框架结构在高层建筑中的抗侧刚度相对较低，容易发生层间位移放大现象，因此需加强约束措施或与其他结构体系复合使用。其抗震能力的发挥依赖于合理的受力路径、均匀的刚度分布及良好的构造细节控制，以实现塑性机制的可控发展与结构整体性保持。

3.2 框架 - 剪力墙结构的受力与耗能特性

框架 - 剪力墙结构结合了框架结构的延性优势与剪力墙的高刚度特性，是高层建筑中广泛应用的抗震体系。剪力墙在地震中承担大部分水平荷载，显著提高结构的抗侧刚度与稳定性，控制层间位移与整体晃动幅度。框架部分则承担竖向荷载并参与水平力的次要分担，通过变形协调实现与剪力墙的协同工作，提升结构在地震过程中的能量耗散能力。该体系的设计重点在于合理布置剪力墙的位置与数量，避免因刚度突变产生不均匀变形，同时需要加强框架与剪力墙之间的连接构造，确保力的有效传递。由于剪力墙的变形能力有限，构造细节需保证其具备足够的延性与抗裂性能，以在强震作用下维持结构稳定性并减缓能量集中导致的脆性失效趋势。

4 抗震设计中的关键技术与优化路径

4.1 结构刚度与延性优化策略

高层建筑结构在抗震设计中必须在刚度与延性之间取得有效平衡。结构刚度过低易导致层间位移过大，引发构件破坏甚至结构整体失稳，而刚度过高则可能造成刚性集中，降低整体耗能能力并加剧地震力传递。优化策略应基于结构体系的受力特征，通过控制楼层刚度分布的连续性与均匀性，避免刚度突变带来的脆性失效风险。在满足变形控制要

求的前提下，增强关键部位的延性设计，提升塑性铰区域的能量耗散能力是提高抗震性能的有效途径。节点构造强化、钢筋锚固措施及延性构件的配置应统筹考虑，确保结构在强震下具备充分的非线性响应能力。通过多目标优化技术，可实现刚度与延性的协同配置，从而构建具备韧性基础与变形控制能力的抗震体系，图 1 为高层建筑结构抗震等级。

高度(m)	结构类型	6 度	7 度	8 度	9 度
≤50	一般	静力	四	三	二
	支撑结构中的框架*			四	三
>50~100	一般	四	三	二	一
	支撑结构中的框架*		四	三	二
>100	一般	四	三	二	一

图 1 高层建筑结构抗震等级

4.2 构件选型与布局优化方法

构件选型与空间布局对结构抗震性能具有决定性影响。不同构件在抗震过程中承担的力学功能不同，其截面形式、材料性能与连接方式直接关系到结构的受力路径与能量分配效率。钢筋混凝土构件因其良好的综合性能在高层结构中应用广泛，钢结构与组合结构则因质量轻、延性强在特定场景中具有优势。在构件布置方面，需兼顾竖向与水平荷载的合理传递，确保结构中心与质量中心的相对对称，避免因偏心布置产生过大的扭转响应。通过构件功能与构造的优化组合，能够提升结构的整体协同效应，并有效延缓破坏的发展过程，形成控制明确、应力合理的抗震体系，增强建筑的抗震可靠性与可修复性^[2]。

4.3 阻尼控制与隔震减震技术优化集成

阻尼控制与隔震减震技术是提升高层建筑抗震性能的重要手段。阻尼装置通过吸收地震能量降低结构振动反应，常见形式包括粘滞阻尼器、摩擦阻尼器与调谐质量阻尼器等，适用于控制结构层间位移与振动周期。隔震技术则通过设置柔性层隔离地震能量传递路径，有效降低结构底部输入能量，减缓上部结构响应，广泛用于功能性要求较高或位于强震区的建筑。优化集成策略需考虑阻尼器布置的均匀性、滞回特性与维护成本，在不影响结构主要功能与使用空间的前提下，构建兼顾稳定性与经济性的耗能系统，从而显著提升建筑物在地震作用下的整体防护水平，图 2 为阻尼控制的隔振减震装置。

5 抗震设计优化的综合效能评估

5.1 多指标协同下的抗震优化效果分析

抗震设计优化的效果评估需建立在多指标协同分析基础之上，通过综合考量结构变形能力、层间位移、基底剪力、能量耗散效率及构件破坏机制等参数，判断优化措施在多维度性能目标下的实际响应能力。不同设计方案对地震力

的传递路径、结构刚度分布及动力特性产生显著影响,需通过静力与动力分析手段评估其在不同震级作用下的表现。多指标体系的建立有助于识别潜在薄弱环节,明确优化空间,并通过权重设定实现各性能目标间的平衡调节。结构整体性能的提升不仅依赖某一单项指标的极致优化,更需在抗震稳定性、经济性与可实施性之间取得系统协调,通过仿真分析与实测数据的对比验证,实现抗震优化策略的精细化与高效性^[3]。

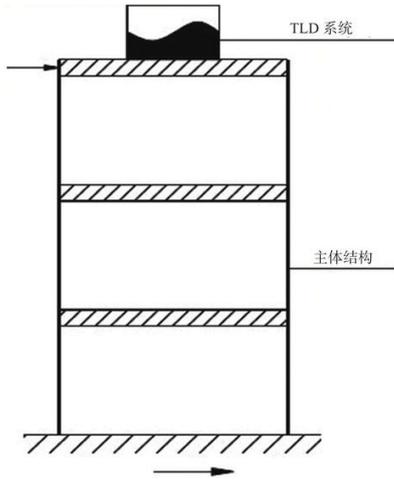


图2 阻尼控制的隔振减震装置

5.2 典型结构体系的抗震响应比较

不同结构体系在地震作用下的响应特性存在显著差异,需通过对比分析识别各类型结构在抗震性能方面的适用性与优劣势。框架结构在小震下表现出较好的变形能力,但在强震时易产生塑性集中,层间位移较大;剪力墙结构抗侧刚度,适用于限制位移需求高的建筑类型,但延性与耗能能力相对较弱;框架-剪力墙结构兼具刚度与延性,能够较好控制结构响应并分散能量输入;核心筒结构在控制扭转效应与侧移方面优势明显,适合超高层建筑的抗震需求。通过比较这些体系在不同地震波激励下的层间位移比、基底剪力响应与能量耗散路径,可获得不同设计路径的性能边界,为结构体系选择与抗震措施配置提供科学依据,提升设计决策的合理性与安全保障能力^[4]。

5.3 优化设计在工程实践中的应用成效分析

抗震优化设计在工程实践中表现出明显的结构效益与

经济价值。通过在设计初期引入性能化指标控制理念,工程项目能够更有针对性地配置抗震构件与能量耗散系统,实现结构布置的功能化与合理化。在施工阶段,优化设计所带来的构造简化与用材减少显著降低工程成本与施工难度,提升工程进度与质量稳定性。在使用阶段,优化后的结构展现出更强的抗震韧性与维保便利性,具备更高的灾后修复能力与功能恢复速度。大量实际工程案例表明,科学的抗震优化不仅可减少地震灾害损失,还能提升建筑的综合生命周期性能。通过实践数据的持续积累与反馈修正,优化设计理念逐步从理论模型走向工程常态,形成可推广、可复制的抗震技术路径,推动高层建筑结构安全水平持续提升^[5]。

6 结语

高层建筑结构抗震设计与优化是保障城市安全与建筑稳定运行的核心环节,需在结构性能、构造细节与技术集成方面形成有机统一。通过系统分析常见结构体系的抗震特性,结合刚度控制、延性增强及减隔震技术的优化应用,可显著提升建筑在地震作用下的适应能力与恢复能力。抗震优化不仅体现于结构层面的安全提升,也体现于资源利用、工程效率与长期运行效益的全面协调。未来设计实践应更加注重多目标协同与工程反馈机制,在科学性与可行性之间寻求稳定平衡,持续推进高层建筑抗震设计体系的技术进化与应用深化。

参考文献

- [1] 孟梅,元鹏飞.高层建筑抗震设计中的结构优化策略分析[J].中国建筑装饰装修,2025,(05):68-70.
- [2] 徐巍.电力系统自动化在高层建筑抗震设计中的应用[J].大众标准化,2025,(04):40-42.
- [3] 吴寒.高层建筑结构设计中不规则问题与抗震策略研究[J].科技资讯,2025,23(04):143-145.
- [4] 徐同生.高层混凝土建筑抗震结构设计分析[J].中华建设,2024,(12):91-93.
- [5] 熊后元,潘杰,曹远东.某高烈度地区超限高层抗震设计[A].2024年建筑结构技术交流会论文集(第二册)[C].中国建设科技集团股份有限公司、中国建筑第八工程局有限公司、中国建筑第四工程局有限公司、亚太建设科技信息研究院有限公司、《建筑结构》杂志社、深圳市土木建筑学会:2024:173-178.