

建筑结构设计中的隔震技术应用探析

史延征, 李 帅

(山东省环能设计院股份有限公司, 山东 济南 250101)

摘要 建筑结构设计作为保障建筑物在使用过程中的安全性和稳定性的重要前提, 其中隔震技术是提高建筑物在地震中抵抗能力的重要措施, 是建筑行业中的核心技术之一。建筑结构设计中间隔震技术的应用, 能显著降低地震中建筑物遭受的毁坏程度, 提升建筑的抗震等级。本文详细地探讨了建筑结构设计中间隔震技术的应用, 阐述了其基本原理与方法, 旨在为抗震建筑设计提供有益参考。

关键词 建筑结构设计; 隔震技术; 隔震层; 阻尼元件; 弹性元件

中图分类号: TU35

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.04.038

0 引言

隔震技术作为建筑物抗震的关键手段, 在建筑工程设计中被运用以降低地震对建筑物的损害。其核心概念在于构建基础结构与主建筑之间的隔震层, 从而将地震产生的能量有效隔离, 确保建筑在地震作用下可以相对独立地发生位移, 减少地震波直接对建筑结构产生冲击, 进而提高建筑物抗震的能力。隔震系统包含三个至关重要的部分: 隔震层、阻尼元件以及弹性元件。由橡胶隔震支座或滑动隔震支座组成的隔震层, 能够在地震发生时实现水平位移, 分散并吸收地震波的能量; 阻尼系统则把地震能量转化为热能, 通过能耗材料的特性减少建筑的震动幅度; 弹性组件则利用其材料的弹力特性, 有效吸收地震能量并降低结构动力响应的关键作用。各部分协同工作, 共同实现了增强建筑抗震性能的目的, 构建了一个既高效且稳定的防御体系。

1 隔震技术的分类

1.1 基础隔震技术

基础隔震技术的发展在很大程度上归功于对地质特性和建筑结构强度进行综合考虑的研究进步, 该技术不断推动工程师优化建筑底部与地基间的弹性行为。橡胶隔震支座和铅芯橡胶支座为此类应用的先锋产品, 它们能够以自身固有的弹性变形吸收大量地震能量, 同时利用摩擦和黏性效应来减缩由地震引起的结构振动幅度。除装置本身性能, 设计时还必须兼顾地基刚度与稳定性的匹配问题, 从而确保隔震层能与上部建筑结构无缝对接, 实现整个建筑系统的协同作业。基础隔震技术的应用为建筑物带来了更高的结构完整性和抗震的可靠性保障, 进而更加确保了居住和使用者的安全性^[1]。

1.2 楼层隔震技术

关于楼层隔震技术, 其主要聚焦的是高层或大型民用建筑内部结构层之间相对滑动的控制, 以削弱地震波在楼层间的动态放大作用。通过在不同楼层间集成隔震装置和耗能减震元件, 地震时能令这些装置发挥减震作用, 吸收并耗散地震能量, 有效抑制楼层间的相对振动, 优化建筑物的整体抗震能力。楼层隔震技术需结合建筑物自身结构特征, 使之适应于高层建筑与公共建筑等多种复杂场合。通过精确控制楼层间的动向和位移, 该技术可显著提升建筑物的安全性能, 为居住在高风险区域的居民提供了更可靠的稳定性和安全保障。

1.3 混合隔震技术

混合隔震技术是基础隔震与楼层隔震技术的结合应用, 其独特优势在于不同类型隔震装置的协调联动, 形成了显著地震能隔离效果。基础隔震装置首要任务是阻止地震波向建筑的自下而上传递, 而楼层隔震装置进一步减少楼层内部的动态反应。在实际实践中, 针对各类建筑和震害要求的差异化, 设计师需进行定制化的设计, 平衡各种隔震装置之间的相互作用及效应, 以强化其整体性、稳定性和可靠性。关键挑战在于如何通过精确的物理布置创造出一个高效且可信赖的共同体系统, 这款新技术需考虑如何在建筑生命周期内通过隔震装置进行生命周期管理和预防性维护, 有效延长建筑物在地震威胁下的安全使用年限^[2]。

2 隔震材料与技术

2.1 橡胶隔震支座

橡胶隔震支座作为隔震材料与技术领域中不断优化更新的重要组件, 其发挥了关键性作用, 而该装置

的关键维度在于找到具备良好弹性变形特性的材料及其功能性设计。橡胶材料因具有优异的承载能力以及宽容的变形性能，常被选用为基础隔震技术的关键材料。在地震发生时，橡胶隔震支座能够借助其弹性和阻尼作用，有效吸收和分散地震波传递而来的能量，从而降低结构的震动响应并保护上部结构不受直接冲击，甚至还能够缓和地震对建筑物带来的剧烈振动效应。橡胶与钢之间的复合结构更是提升了其稳定性和耐久性，确保了建筑物的长期安全性。

2.2 滑动隔震技术

基础隔震技术的发展体现在其对建筑物被地震影响的最小化，而滑动隔震技术在其中展现出了核心功能。此技术的核心理念在于运用滑动界面的低摩擦系数，接纳地震产生的动态作用力，使得建筑物能够相对预设方向产生滑动，有效地消耗和消散地震能量。建筑物依靠此技术来克服地震的威胁，从而避免整体结构受到过度的震荡。为了确保滑动隔震技术的可靠性和普适性，滑动界面的设计成为技术应用的关键。滑动界面不仅需要抗衡激起的摩擦力，还得确保地震中滑动行为的可控性以及灾难性的动荡对建筑物结构产生的残余力与张力均能被良性吸收。

2.3 黏弹性阻尼材料

黏弹性阻尼材料是隔震技术和材料领域的突破性成就之一，它代表了在应用黏弹性材料方面的显著进步，这类材料的分子链段在交变应力的作用下能够产生丰富的滑动、错移，并将振动能量高效转化成黏性热能。通过这种方式，黏弹性材料可将机械能持续转换为热能，有效减弱建筑物在遭遇强烈地震波冲击时的结构响应。因此，黏弹性材料广泛应用于建筑结构的关键部位，例如梁柱节点、楼板与墙体连接处，显著减少结构振动幅度与加速度，大幅提升了建筑结构的整体安全性能。得益于其优良的耐久性和稳定性，黏弹性阻尼材料为建筑物长期安全提供了坚实的保障。即便在长期使用后，其化学和物理性能的稳定性也能保持不变，具有无可比拟的可靠性。性能稳定性在很大程度上反映了环境控制和管理的质量。鉴于粘弹性阻尼材料性能可能受到影响，需重点关注温度、湿度等环境因素的潜在影响^[3]。

2.4 液体隔震技术

液体隔震技术的实践价值和创新性体现在其对液体材料流动性与固有阻尼特性的大胆应用。该技术通过激励液体的流动性，将地震激发的能量在摩擦力与结构内阻尼的作用下被耗散，这个过程将能量转化为

热能，填补了传统隔震设备耗能不足的短板。结合隔震支座及滑动隔震技术，液态隔震技术不仅强化了结构的稳定性，还扩展了對抗不同频率地震波的适应范围。液体隔震技术通过使用流变液体的高效隔震器，在保护建筑本体方面显示了显著优势，这种隔震器能均匀分散液体作用力，从而对建筑物提供全面的保护。液体的自适应调整能力进一步强化了与建筑物间的相互补充，有效减少了地震过程中的破坏。不仅如此，液体隔震技术在复合隔震系统中发挥着非常关键的作用，其整合多类隔震手段，显著提升了建筑物的抗震性能。然而，液体隔震技术的效能很大程度上依赖于液体本身的质量，特别是其抗压性和抗老化特性的综合考虑。生产工艺中的密封技术也需要达到严格标准。因此，这要求工程师和技术人员进行精密的操作与细致的监控，以确保液体隔震技术在实际地震防护中的可靠性和有效性。

3 隔震结构的设计方法

3.1 隔震结构设计原则

探究隔震结构的设计原则时必须进行细致规划，以确保建筑物的整体安全性和功能性。（1）安全性原则要求采取全面的措施，以确保结构在遭遇地震时能够有效吸收和分散能量，同时将对主结构的损伤降至最低。设计师需要精通支座位移特性，并了解如何合理布局以约束地震产生的能量，确保隔震装置能够最大限度地耗散能量。隔震结构与建筑的整体设计应相协调，强调安全性原则的重要性，确保保护建筑功能及其使用者的安全。（2）工程师在确保安全性的同时，应寻找成本效益最高的方案。每个设计细节都需经过细致的权衡，以优化构件尺寸、选用适应材料及改进施工方法来减少材料浪费。在这一过程中，设计师要全面评估经济因素和安全效能，力求在尽可能少的投入下达到最优的结构性能。（3）功能性原则指出，结构设计必须满足建筑的日常使用和功能性需求。设计隔震结构时，不但要考虑其抗震功能，还必须充分考虑建筑空间的使用效率和舒适度等因素。设计团队需要与其他专业协调合作，如室内设计，目的是避免隔震技术实施影响建筑空间的功能。（4）适应性原则强调设计应具备对地壳运动变化不确定性的应对能力。根据地质状况设计的隔震系统应能够适应各种地震频率和强度。设计时还需考虑随着时间推移，建筑使用功能的变化可能导致的荷载变化和耐久性的降低。设计团队必须不断追踪相关研究和法规的更新，保证设计的持续适应性^[4]。

3.2 隔震结构的设计流程

隔震结构设计流程是实现高性能抗震能力的系统实施计划。必须进行详尽的地质和地震风险评估,运用最新技术,如地理信息系统,对地质结构进行分析并确定地震荷载的大小和特性。选择并确定隔震装置的具体类型及其参数,确保与建筑的重量和抗震需求相匹配。值得注意的是,不同的隔震装置类型,如橡胶支座、铅芯橡胶支座、摩擦摆支座等,各自有其应用侧重点,选择时应考虑项目需求、成本预算以及累积的经验数据。建立结构的数学模型及其相应的计算分析。计算分析必须涉及结构的静力、动力分析及非线性分析方法,后者通过计算机模拟复杂荷载下的行为,预测潜在的问题和结构的整体响应。设计文档应详细记录并展现设计的关键信息、施工步骤、验收标准以及其他控制质量的重要指南。结构设计完成后,要为施工班组提供精确作业所需的详细和系统化施工图纸。图纸不仅要清晰展示隔震装置的布局,还应清楚地标明所有施工和测试的相关要求。设计工作完成的同时,需要编写施工方案,涵盖隔震层的具体施工工序、质量控制措施以及安全规程。

3.3 隔震结构的计算分析

计算分析阶段是确保隔震技术得到正确应用的核心。首要任务是建立一个准确反映出隔震系统物理特性和行为的数学模型。设计师必须深入理解隔震支座、阻尼器及其他抗侧力元件的力学行为,确保力学参数的选取更贴近实际情况。在静力分析阶段,需重视评估隔震结构在承受各种外力,包括重力作用下的性能表现。具体分析应涵盖结构在静力状态下的变形、内力分布以及应力集中区等问题。静力分析有助于确保建筑物能够应对极端风荷载或重力荷载,并验证其节能减排的性能。动力分析通常包含模态分析,用以理解结构的动态特性。模态分析可以预测结构在地震力作用下的弹性振动和反应,其中包括位移、速度和加速度响应等关键指标^[5]。需采用兼容时间历程的非线性动力分析技术评估结构在非线性阶段的响应,特别是检测隔震支座和阻尼器在极限状态下的适应性和有效性。动力分析的另一个重要方面在于非线性形态的影响,这一点不容忽视。具体体现在塑性变形、材料强化与软化行为,以及接触非线性等可能在地震期间出现的现象,这需要采用模拟地震作用的非线性动力分析方法,以更真实地模拟和预测结构的地震性能。

3.4 隔震结构的动力特性分析

在进行动力分析时,必须深究隔震结构的振动特性,探究自振频率和阻尼特性在结构抗震性中的关键

作用。调整自振频率旨在规避地震激励频率接近自然频率的状况,以降低共振效应可能导致的损害风险。理论上,阻尼特性的选取需全面考虑结构在地震能量耗散方面的总能力。具体进行地震作用下的响应分析,则需要对结构的位置(平面位置及其稳定抵抗水平地震作用的能力)、基底剪切力(反映结构整体抗震性能的关键指标)进行计算,并对其进行预估。该类分析包括模拟若干地震情形,以预测结构在实际地震中的响应表现。在选用非线性模型开展模拟与技术预估时,必须充分权衡材料非线性及损伤累积等相关因素。通过模态分析,可揭示结构在水平及竖向地震荷载作用下的振动模式及其特征,进而确定其在地震作用下最主要响应特性与弱点,从而提出优化设计的见解。通过此分析,工程师能够准确估算并把握结构可能的损伤点及过分变形的区域,进而推动隔震设计更科学、更合理。动力特性分析在现有结构加固改造与新建隔震结构设计中均占据核心位置。动力特性分析要求设计团队不仅验证结构在静态及动态作用下的安全性,还应基于多项相关准则与参数的性能评估,进行综合性和优化性的评价。

4 结束语

地震是一种无法避免的自然灾害,由其造成的人员伤亡和经济损失90%以上源于建筑物的倒塌所致,隔震技术的整合证明了其在建筑物未来发展方向上的重要性。连续的创新使隔震技术不仅极大地提高了建筑结构的安全性,也不断为提升建筑品质和促进建筑行业可持续性发展注入新鲜活力。随着科技不断进步与学术研究深化,将加快隔震技术朝着更加成熟和完善的方向前进。未来,更多创新技术解决方案将会应用于建筑工程项目中,确保建筑物的安全性和稳定性。

参考文献:

- [1] 张健. 城市住宅建筑设计改进与创新策略分析[J]. 建筑与装饰, 2024(18):7-9.
- [2] 许泽航, 何斌, 韩鹏举, 等. 荷载倾角对光伏支架微型桩承载特性影响的试验与数值模拟研究[J]. 中国科技论文, 2023, 18(10):1098-1104.
- [3] 刘海淞. 逆流色谱仪动平衡实验装置的结构设计及动力学分析[D]. 成都: 四川大学, 2021.
- [4] 傅爱华. 建筑结构设计中的概念设计及结构策略分析[J]. 科海故事博览, 2024(23):103-105.
- [5] 伊永波, 刘岩. 高层建筑结构与抗震性能优化[J]. 科海故事博览, 2024(07):67-69.