

隔震与耗能减震技术在建筑设计中的应用研究

耿锦彦

石家庄圣帝建筑工程设计咨询有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着城市化快速推进,高层建筑、桥梁等复杂结构逐渐增多,建筑抗震安全已成为工程领域的研究重点。地震的突发性和破坏力对建筑物及人类生命财产构成巨大威胁。为有效应对地震灾害,隔震与耗能减震技术已被广泛应用。将两者结合使用,能够在不同地震频率下实现优势互补,进一步提升建筑的抗震性能。对隔震与耗能减震技术的性能特点、设计策略及实际应用展开深入研究,具有重要的理论意义和工程实践价值。

[关键词]隔震技术;耗能减震;建筑结构;抗震性能;联合应用

DOI: 10.33142/ec.v8i1.15012

中图分类号: TU352.1

文献标识码: A

Research on the Application of Seismic Isolation and Energy Dissipation Technology in Building Structure Design

GENG Jinyan

Shijiazhuang Shengdi Architectural Engineering Design Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the rapid advancement of urbanization, complex structures such as high-rise buildings and bridges are gradually increasing, and seismic safety of buildings has become a research focus in the engineering field. The suddenness and destructive power of earthquakes pose a huge threat to buildings and human life and property. In order to effectively respond to earthquake disasters, seismic isolation and energy dissipation technologies have been widely applied. Combining the two can achieve complementary advantages at different earthquake frequencies, further enhancing the seismic performance of buildings. Conducting in-depth research on the performance characteristics, design strategies, and practical applications of seismic isolation and energy dissipation technologies has important theoretical significance and engineering practical value.

Keywords: seismic isolation technology; energy dissipation and shock absorption; building structure; seismic performance; joint application

引言

地震灾害频繁发生,特别是在环太平洋地震带、欧亚地震带等高风险区域,建筑物受地震破坏的现象时有发生。传统的抗震设计方法主要依靠提升建筑结构的强度和刚度,通过增强承载能力来抵抗地震作用。随着结构控制技术的发展,主动控制、被动控制及两者的协同应用逐渐成为抗震领域的重要研究方向。隔震技术通过在建筑基础与上部结构之间设置隔震装置,有效阻隔地震波的传递,降低建筑的整体响应;耗能减震技术则利用特定装置消散地震产生的能量,减小结构的局部变形和破坏程度。将隔震与耗能减震技术联合应用,能够实现优势互补的效果。隔震装置对低频地震波具有显著的抑制作用,而耗能装置在高频地震波作用下则展现出强大的能量消散能力。两者的结合广泛应用于高层建筑、大跨度桥梁等重点工程。

1 隔震技术概述

1.1 隔震技术的发展历程

隔震技术诞生于20世纪60年代,最初用于桥梁等交通设施的抗震设计,旨在减少地震对这些设施的破坏。20世纪70年代,日本和美国开展了大规模的隔震研究工作,并取得了显著成果。日本率先将橡胶支座技术应用于多个建筑项目,尤其在高层建筑与医院等关键设施中,取得了

良好的抗震效果。如今,这项技术不仅应用于交通设施,建筑领域中的许多项目也广泛采用该技术,尤其在地震多发的地区。在高层建筑、医院及学校等公共建筑的抗震设计中,隔震技术已经成为不可或缺的一部分。随着建筑规模的增长及地震风险的提升,隔震技术已在全球范围内得到了广泛应用,成为现代建筑设计中的核心技术之一。

1.2 隔震技术的基本原理

隔震技术的核心原理是通过在建筑物与地基之间安装隔震装置,有效隔离地震波传递的能量,减少震动对建筑物的影响。这些装置通过其弹性或滑动特性,在地震波作用下吸收或分散能量,从而降低建筑物的震动反应。常见的隔震装置包括橡胶支座与金属支座等。橡胶支座通过其弹性特性,能够有效吸收震动能量并快速恢复原状;而滑动支座则通过减少地震波的传递效应来减轻建筑物的震动。在设计时,选择合适的隔震装置至关重要,需综合考虑建筑物类型、地震强度及地质条件等因素,以确保系统的有效性。

1.3 隔震技术的分类与特点

弹性隔震装置通过材料的弹性特性吸收震动能量,从而减轻建筑物的震动响应。橡胶支座与球形支座是常见的弹性隔震装置,它们能够在震动作用下保持较为稳定的抗震效果。不同于弹性装置,非弹性装置依赖非弹性变形来

消散震动能量，显著降低建筑物的震动。尽管非弹性装置在恢复性方面较差，但它们能够在强震条件下有效消耗大量地震能量，从而显著减小震动幅度。摩擦阻尼器与粘滞阻尼器是典型的非弹性隔震装置，它们通过摩擦力或阻力消散地震能量。滑动支座通过减少地震波的传递来降低震动，而能量耗散型支座则通过摩擦或阻尼作用来吸收震动能量，从而减小建筑物的震动幅度。

2 耗能减震技术概述

2.1 耗能减震技术的定义与原理

耗能减震技术主要通过使用特定的装置，吸收地震带来的振动能量，从而减小建筑物的震动反应。减震装置的工作原理依赖于材料的非弹性变形，借此耗散地震波的能量。以粘滞阻尼器为例，它通过流体的黏性阻力来吸收震动；摩擦阻尼器则借助摩擦力将震动能量转化为热量；弹簧阻尼器通过弹簧的变形来吸收震动。采用合理的减震装置配置，能够显著降低建筑物在地震中的震动幅度，从而提升其抗震性能。

2.2 耗能减震器的分类

根据不同的工作原理，耗能减震器可分为粘滞阻尼器、摩擦阻尼器、弹簧阻尼器以及调谐质量阻尼器等几种类型。粘滞阻尼器利用流体的黏性力来吸收震动能量，适合用于高层建筑。其能量吸收效率较高，并能有效减小地震对建筑物的影响。摩擦阻尼器通过摩擦力消耗震动能量，并将其转化为热能，通常用于中低层建筑^[1]。结构简单，成本较低，适合用于预算有限的工程。弹簧阻尼器通过弹簧的弹性变形来吸收能量，能够在较大震动情况下保持较强的恢复力，因此常用于对抗震性能要求较高的建筑结构。调谐质量阻尼器则根据建筑物的固有频率调节质量与刚度，当震动频率与系统频率匹配时，可最大程度地吸收震动能量，通常应用于高层建筑的低频震动控制。

2.3 耗能减震技术的应用与发展

随着材料科学与工程技术的不断进步，耗能减震技术的应用范围得到了显著拓展，尤其在高层建筑、桥梁及其他关键基础设施的抗震设计中，表现出了强大的减震能力。新型高强度材料的出现，使得耗能减震器在体积小巧的同时具备了更强的能量吸收能力，进一步提升了减震系统的效果。此外，随着智能化控制技术的引入，减震装置能够实时调整工作状态，根据地震的强度和频率自动调节能量吸收策略，从而更高效地消耗震动能量。高层建筑、桥梁等结构通过使用耗能减震器显著提高了抗震能力。

2.4 与隔震技术的比较

隔震技术与耗能减震技术在增强建筑抗震性能方面各有其特点，二者的工作原理与适用场景有所不同。隔震技术通过在建筑物与地基之间安装专门的隔震装置，如橡胶支座或滑动支座，从而有效隔离地震波的传递，显著减小建筑物的震动影响。该技术特别适用于对抗震要求较高

的建筑物，如医院、学校及其他重要公共设施，能够确保建筑物在地震中保持稳定。与隔震技术不同，耗能减震技术通过特定装置（如粘滞阻尼器、摩擦阻尼器等）吸收地震波传递的能量，从而减小建筑物的震动幅度^[2]。两者若结合使用，隔震技术通过有效阻隔地震波的传播，减少了震动对建筑物的影响；而耗能减震技术则通过吸收震动能量，进一步减小震动的幅度。

3 隔震与耗能减震技术的联合应用

3.1 联合应用的理论基础

隔震与耗能减震技术的结合基于两者各自的优势，隔震技术通过设置隔震装置，阻断地震波的传播路径，有效降低建筑物的震动响应。与此同时，耗能减震技术通过消耗地震能量，进一步减小震动幅度。隔震装置主要用于抑制低频地震波，而耗能减震装置则针对高频震动。结合使用时，二者可以协调工作，确保建筑物在经历复杂地震波时依然能够保持稳定，减少破坏。此种协同效应有效增强了建筑的抗震能力，提升了建筑在多变地震环境下的安全性。

3.2 隔震与耗能减震的协同效应

隔震装置主要通过削减低频地震波的影响，减少建筑物的振动。而耗能减震装置则能吸收高频震动的能量，降低震动响应的幅度。当二者共同工作时，建筑物的震动会在不同频段内得到有效抑制，确保整体抗震效果的全面性。

3.3 联合应用的设计方法与策略

设计联合应用时，必须综合考虑建筑物的结构特性、地震风险等级以及使用功能等多方面因素。设计时要特别关注建筑物的振动模式以及可能遇到的地震类型，以实现最优的减震效果。对于隔震装置，选择时应结合建筑物的刚度、高度及地质条件，合理布置在建筑物与地基之间。耗能减震装置的选择则需要依据建筑所面临的具体震动类型以及高频与低频震动的特征来确定，确保装置的最大效能^[3]。设计时，需通过数值模拟与物理实验来验证其效果，从而优化设计方案。通过精准的计算与优化，使隔震装置与耗能减震装置达到最佳搭配。最终目标是实现建筑物在不同震动频率下的最优表现，增强建筑物的抗震性能，确保其在灾难性地震中的安全性。

4 隔震与耗能减震技术在建筑结构中的设计方法

4.1 建筑结构设计中的需求分析

建筑结构设计初步阶段应进行全面的需求分析。此分析考虑建筑的使用要求、地震环境及建筑类型等各项因素，直接影响隔震与耗能减震技术的选择及应用方式。建筑物的功能需求、耐久性以及使用年限等要素，决定了抗震技术的适配性。不同类型的建筑，如住宅、商业楼宇和公共设施，抗震性能要求不尽相同，因此设计过程中需要针对各类建筑的特定需求进行技术选择。在此基础上，地震环境的影响同样不可忽视。包括地震带等级、震源距离、土壤性质等方面，都会直接决定设计的抗震标准。此外，

建筑的质量、刚度及结构特性对地震波的响应有着至关重要的作用,分析这些特性后,设计者方能精准地选择出合适的抗震技术,为后续的设计决策提供充分依据。

4.2 隔震技术在建筑结构设计中的应用方法

隔震技术的应用涉及多个重要环节,包括隔震装置的选择、安装位置的布局以及隔震层的设计等。根据建筑物的质量分布、形态特点及抗震需求,设计人员应选择性能最适合的隔震装置。不同的隔震技术具有不同的效果,高层建筑需要选用具有更强弹性的隔震系统,以便有效应对高频地震波;而低层建筑则适合使用刚性较高的隔震装置。在装置安装方面,合理的布局位置至关重要,通常将隔震层设置在建筑物的基础与主体结构之间,以阻断地震波的传播,减少震动响应。

4.3 耗能减震技术在建筑结构设计中的应用方法

耗能减震技术在建筑设计中的应用包括选择适合的减震器类型、确定其安装位置及合理设计连接方式。选择适当的减震器时,需考虑建筑物的动态响应特性。例如,粘滞阻尼器适用于高频地震波,而摩擦阻尼器更能有效吸收低频震动。减震器的位置设计应根据建筑的震动特性进行合理布局,通常设置在楼层连接部位或支撑结构中,以实现最大化的能量吸收,降低震动幅度。连接方式也是设计中的关键因素,设计人员应确保减震装置与建筑结构之间的连接稳定,以避免在强震中失效。

4.4 联合应用设计的步骤与流程

隔震与耗能减震技术的联合应用设计流程通常包括需求分析、技术选择、装置布局及结构优化等环节。首先,需求分析为技术选择提供依据,通过全面了解建筑物的功能需求、地震环境及结构特性,确保选择最适合的技术方案。接下来,设计者需评估隔震与耗能减震技术各自的特点,结合建筑物的需求,做出合理的技术组合。隔震技术在低频地震波下具有显著优势,而耗能减震技术在高频震动下的能量吸收效果更为显著,因此,二者结合能在不同震动频率下发挥互补作用。在装置布局方面,合理配置隔震装置与减震装置的数量、位置及布置方式,能够确保各项技术协同工作,最大化地提升抗震效果^[4]。结构优化的目的是进一步提高建筑的抗震能力,通过调整建筑刚度、质量分布等参数,增强建筑的整体性能。每个环节都需精心设计,以保证设计方案的有效性与可行性。

5 隔震与耗能减震技术的性能评估与分析

5.1 隔震与耗能减震的性能评价指标

在建筑抗震性能评估中,位移、加速度及振动幅度是关键参数。同时,建筑物的修复成本、使用年限等经济指标同样需要综合考虑。通过这些指标的量化分析,隔震与耗能减震技术的效果及实用价值能够得到全面体现。例如,过大的位移可能导致结构破坏风险增加,而较高的振动幅度则可能对建筑稳定性产生不利影响。此外,修复费用与

建筑使用寿命直接关系到成本控制与经济性评估,二者需在设计阶段充分权衡。

5.2 性能评估的实验方法

实验研究是验证隔震与耗能减震技术性能效果的重要途径。目前,主要的实验方法包括振动台试验、缩尺模型试验以及数值模拟分析等。振动台试验通过模拟不同幅度与频率的地震波,为结构动态响应提供真实数据,能够较为直观地反映减震装置的实际表现。而缩尺模型试验,则通过建立比例建筑模型,尽管尺寸有所缩减,仍能为复杂结构提供可靠参考数据。随着数值模拟技术的不断发展,计算机仿真分析逐渐被广泛应用于性能评估。通过虚拟建模与参数分析,可在多种条件下研究不同减震方案的实际效果。这种方法不仅降低了物理实验成本,还能够提供更精准的动态响应预测。

5.3 模拟与计算分析方法

有限元方法通过将建筑结构划分为若干单元,详细分析地震作用下的应力分布与变形响应,尤其适用于复杂非线性结构的计算。此外,时程分析法可对地震过程中的动态响应进行实时追踪,完整呈现建筑物在地震作用下的表现。在数值模拟中,结合不同地震频率与结构参数,可深入评估隔震系统与耗能装置的实际作用。

5.4 隔震与耗能减震技术的抗震效果分析

通过对不同抗震设计方案比较,隔震技术主要通过阻隔地震波的传播,显著降低建筑物在低频地震作用下的振动响应,特别适用于高层建筑等对位移敏感的结构。相比之下,耗能减震技术通过耗散地震能量,能够有效控制高频地震波对建筑的冲击。在高频振动环境下,耗能装置的减震作用尤为显著,有助于提高建筑结构的稳定性和安全性。两者结合使用,能够更全面地应对不同频率地震波的影响。隔震装置降低低频震动幅度,耗能装置消耗高频地震能量,从而达到更理想的综合抗震效果。

5.5 应用效果与经济性评估

在实际工程中,抗震性能与经济性的双重评估,经济性指标主要涵盖设备购置成本、施工费用、维护支出以及地震后的修复成本等因素。虽然高性能减震装置在初期投入上可能费用较高,但长期来看,结构损伤的减少与使用寿命的延长所带来的综合效益十分显著。施工费用受技术复杂性与工期长短的影响,精密的装置安装往往需要较高的施工成本^[5]。而维护成本则取决于装置运行的稳定性与维护频率,稳定性越高,后期维护支出就越少。此外,地震后的修复成本是评估经济性不可忽视的因素。合理的减震设计能够有效减少地震损伤,从而降低修复费用,提高整体经济效益。

6 结语

隔震与耗能减震技术作为现代建筑抗震设计的重要手段,在实践中展现出卓越的性能。通过不同的减震机制,

隔震装置能够减少地震波向上部结构的传递,从而降低建筑整体的振动响应;耗能装置则通过消耗地震能量,有效减轻结构的局部变形与损伤。未来,随着新材料、智能监测及信息技术的快速发展,隔震与耗能减震技术有望取得更大突破。借助大数据与智能化分析,建筑结构的性能评估和动态优化将更加高效精准。

[参考文献]

[1]张学智,王心宇.钢框架建筑基于减震技术的地震韧性提升[J].建筑科学,2024,40(5):167-175.

[2]王红松.消能减震技术在某医院抗震加固中的应用[J].安徽建筑,2024,31(5):54-57.

[3]孙澳,陈鑫,傅文炜,等.基于混合减震技术的既有建筑抗震韧性提升[J].振动与冲击,2024,43(16):238-246.

[4]吴昊,贺阳,江洋,等.组合减震技术在加固改造项目中的应用[J].建筑结构,2024,54(18):82-86.

作者简介:耿锦彦(1987.6—),毕业院校:北华航天工业学院,专业:土木工程,单位:石家庄圣帝建筑工程设计咨询有限公司,职务:结构设计,现职称:工程师。