

浅谈粘滞阻尼器在框架结构中的应用

马泽泽

中国二十二冶集团有限公司, 河北 唐山 064099

[摘要]在当代建筑工程领域,随着对结构安全性、舒适性和可持续性的需求不断增加,减振技术的研究和应用变得愈发重要。而粘滞阻尼器作为一种有效的减振装置,在提高结构抗震能力、抑制风振响应以及减少结构振动等方面具有广泛的应用前景。文章探讨粘滞阻尼器在框架结构中的应用及其参数设计与优化问题,通过深入分析其原理、分类、应用场景以及影响因素,旨在为工程实践提供更为有效的指导和理论支持。

[关键词]粘滞阻尼器; 框架结构; 数值模拟

DOI: 10.33142/sca.v7i6.12568

中图分类号: TU311.41

文献标识码: A

Brief Discussion on the Application of Viscous Dampers in Frame Structures

MA Zeze

China MCC22 Group Corporation Ltd., Tangshan, Hebei, 064099, China

Abstract: In the field of contemporary construction engineering, with the increasing demand for structural safety, comfort, and sustainability, the research and application of vibration reduction technology have become increasingly important. As an effective vibration reduction device, viscous dampers have broad application prospects in improving structural seismic resistance, suppressing wind vibration response, and reducing structural vibration. This article explores the application of viscous dampers in frame structures and their parameter design and optimization problems. Through in-depth analysis of their principles, classifications, application scenarios, and influencing factors, it aims to provide more effective guidance and theoretical support for engineering practice.

Keywords: viscous dampers; framework structure; numerical simulation

引言

在现代建筑工程实践中,振动对建筑物的安全性、舒适性以及结构的寿命都有着重要的影响。特别是在高层建筑、桥梁等工程中,地震、风力等外部激励会引起结构振动,如果不加以控制,可能会导致结构的破坏甚至倒塌。因此,研究如何有效地控制结构振动,提高结构的抗震能力和抗风能力,成为了建筑工程领域的重要课题。基于此,粘滞阻尼器作为一种重要的减振装置,以其独特的工作原理和优越的减振效果,使其成为了解决结构振动问题的重要手段之一。因此,对粘滞阻尼器在框架结构中的应用及其参数设计与优化问题进行深入研究,对于提高结构的安全性和舒适性,具有重要的理论和实践意义。

1 粘滞阻尼器概述

1.1 粘滞阻尼器原理

粘滞阻尼器是一种常用于结构控制的装置,其原理基于粘滞阻尼效应,通过将结构振动时的动能转化为热能来减缓振动幅度和频率,从而实现结构的减震效果。当结构受到外部力作用而产生振动时,粘滞阻尼器内的阻尼介质(通常为液体或聚合物)也会跟随结构振动而产生变形。粘滞阻尼器通过将结构振动能量转化为热能来实现减震效果,在振动过程中,结构的动能被消耗掉,从而使得结构的振动幅度和频率减小,达到减震的目的。与其他减震装置相比,粘滞阻尼器不需要外部能量源,具有结构简单、安装方便等

优点,因此在工程实践中得到了广泛的应用。在设计和选择粘滞阻尼器时,需要考虑结构的振动特性、粘滞介质的选取以及阻尼器的结构参数等因素,以实现最佳的减震效果。随着对结构控制技术的不断深入研究,粘滞阻尼器作为一种重要的结构控制装置,将继续发挥其重要作用,在提高结构抗震能力、改善结构性能方面发挥着越来越重要的作用。

1.2 黏滞阻尼器分类

粘滞阻尼器根据其结构和工作原理的不同,可分为液态粘滞阻尼器、固态黏滞阻尼器和半流体粘滞阻尼器等。液态粘滞阻尼器是最常见的一种类型,其主要原理是利用液体介质(如油液)的流动摩擦产生阻尼力。在液态粘滞阻尼器中,有一个液体储存器和流动通道,当结构发生振动时,液体受到振动力的作用,通过流动通道产生流动摩擦,从而产生阻尼效果。固态粘滞阻尼器则采用固态材料(如聚合物)或复合材料作为阻尼介质,通过材料内部分子结构的变化产生阻尼效果。固态粘滞阻尼器具有结构简单、耐用性好等优点,但通常需要精密加工和材料设计。半流体粘滞阻尼器结合了液态和固态两种介质的特点,既具有流体的可变形性,又具有固体的稳定性^[1]。半流体粘滞阻尼器通常具有可调节性能,可以通过改变介质的流动性或材料的结构来实现对阻尼效果的调节,因此在工程应用中具有一定的灵活性和适用性。不同类型的粘滞阻尼器有各自的优势,选择合适的粘滞阻尼器类型需要考虑结构的振动特性、工作环境条件以及性

能要求等因素, 以实现最佳的结构控制效果。

2 框架结构动力响应分析方法

2.1 数值模拟方法

2.1.1 有限元分析

有限元分析 (FiniteElementAnalysis, FEA) 是一种常用的结构工程分析方法, 用于模拟和预测结构在不同加载条件下的响应, 将结构分解为许多小的有限元素, 并根据结构的力学性质和几何特征建立数学模型, 通过数值计算得出结构的应力、应变和位移等参数。在有限元分析中, 结构被离散成许多小的单元, 每个单元都具有一组节点, 通过节点之间的连接来构建整个结构的模型。每个单元内部的应力和位移可以通过数学方程来描述, 通常采用弹性理论或塑性理论等来进行建模。有限元分析的关键是选择适当的单元类型和材料模型, 以保证对结构响应的准确模拟。有限元分析的步骤包括: ①几何建模: 将结构的几何形状进行建模, 通常采用 CAD 软件进行几何建模, 将结构几何信息转化为有限元模型。②网格划分: 将结构分割为许多小的有限元单元, 通常采用三角形或四边形单元进行划分, 复杂结构可以采用更多边形或四面体单元。③材料属性和边界条件定义: 定义材料的弹性模量、泊松比、密度等物理属性, 并为结构施加边界条件, 如约束和加载条件。④单元属性定义: 指定每个单元的类型和材料性质, 以及与相邻单元之间的连接关系。⑤求解: 利用数值方法 (如有限差分法或有限元法) 求解结构的运动方程, 得到结构的位移、应变和应力等参数。⑥结果后处理: 对求解结果进行分析和后处理, 如绘制位移图、应力云图等, 评估结构的性能和安全性。有限元分析作为一种数值计算方法, 具有计算精度高、适用范围广的特点, 在结构设计、优化和评估中得到了广泛的应用。

2.1.2 模态超级位置法

模态超级位置法 (ModalSuperpositionMethod) 是一种用于结构动力响应分析的有效数值方法, 是基于结构的模态分析理论, 将结构的动态响应分解为各个模态振型的响应之和, 通过叠加这些模态响应来得到结构的总体响应。在模态超级位置法中, 首先进行结构的模态分析, 得到结构的振动模态、振动频率和振型。然后, 根据外部加载条件, 计算每个模态振型对应的位移响应。最后, 通过叠加各个模态的位移响应, 得到结构在外部加载下的总体位移响应。模态超级位置法的基本步骤包括: ①模态分析: 使用适当的数值方法 (如有限元法) 对结构进行模态分析, 得到结构的振动模态、频率和振型。在模态分析中, 结构的振动模态是通过求解结构的特征值问题来得到的, 每个振动模态对应着一种结构的振动形态和特定的频率。②模态组合: 根据实际的加载条件, 确定需要考虑的振动模态数量。通常, 只有少量的振动模态对结构的动态响应起主导作用, 因此可以只考虑前几个重要的振动模态。模态组合的目的是选择合适的振动模态, 并确定它们的权重系数, 以便将各个模态的响应组合

起来得到总体响应。③模态响应计算: 根据模态分析得到的振动模态和频率, 以及外部加载条件, 计算每个振动模态对应的位移响应。这些位移响应可以通过简单的数学计算或数值模拟来得到。④总体响应叠加: 将各个模态的位移响应按照其权重系数进行叠加, 得到结构在外部加载条件下的总体位移响应。这样可以有效地简化结构动力响应分析的计算过程, 同时保证了分析结果的准确性。

2.2 粘滞阻尼器模型的建立

建立粘滞阻尼器模型的建立需要综合考虑粘滞阻尼器的工作原理、结构特性以及其与主体结构之间的相互作用, 以确保准确地模拟和预测结构在振动环境下的响应。粘滞阻尼器通过粘滞阻尼效应将结构振动的动能转化为热能, 从而减缓振动的幅度和频率粘滞阻尼器的布置位置、数量和刚度等参数都会影响其与结构之间的耦合效应。因此, 在建立模型时, 需要将阻尼器的动力学特性与主体结构的动力学方程相耦合, 以考虑阻尼器对结构振动的影响。建立粘滞阻尼器模型时, 建立阻尼器的力学模型, 考虑阻尼介质的粘滞特性、阻尼器的几何形状和材料特性等因素, 以及将阻尼器的动力学模型与主体结构的动力学方程相耦合, 以得到完整的结构动力学模型^[2]。建立的模型要验证实验数据或数值模拟结果验证模型的准确性和可靠性, 同时对模型参数进行调整和优化, 以提高模型的逼真度和预测能力。

3 粘滞阻尼器在框架结构中的应用分析

3.1 地震响应控制

粘滞阻尼器通过消耗地震引起的结构能量, 减少结构振幅和加速度, 从而有效地控制地震引起的结构损伤和震动。在地震响应控制中, 粘滞阻尼器的作用是通过增加结构的阻尼来减少结构的振动幅度和响应周期, 从而提高结构的抗震性能。当地震发生时, 结构受到地震力的作用, 产生振动。粘滞阻尼器通过其阻尼机制, 将结构振动的动能转化为热能, 从而减缓了结构的振动速度和幅度。这种能量耗散的过程可以有效地减少地震引起的结构损伤和位移。粘滞阻尼器在地震响应控制中的应用主要包括以下几个方面: 首先, 粘滞阻尼器可以用作主动控制装置, 根据实时监测的结构振动信息调节阻尼器的阻尼力, 以抑制结构的振动响应, 能够根据地震活动的实时情况对结构进行动态调整, 提高了结构的适应性和响应能力。粘滞阻尼器还可以作为被动控制装置使用, 通过固定的阻尼特性对结构进行减震, 被动控制方式不需要外部能源, 具有结构简单、维护成本低等优点, 适用于各种类型的框架结构。粘滞阻尼器还可以与其他地震控制技术结合使用, 如隔震装置和剪力墙等, 形成多层次、多角度的地震响应控制体系, 进一步提高了结构的抗震性能。

3.2 风振响应控制

粘滞阻尼器在风振响应控制中发挥着重要的作用, 能够有效减缓结构的振动幅度, 提高结构的稳定性和安全性。风振响应通常是由风力作用下结构产生的自由振动引起的,

而结构的自然振动频率与风场激励频率相近时,容易引发共振现象,导致结构振幅增大,甚至可能造成结构破坏。粘滞阻尼器在风振响应控制中的应用主要体现在以下几个方面:首先,粘滞阻尼器通过其阻尼机制,将结构振动的动能转化为热能,从而减缓了结构的振动速度和幅度。在风场作用下,粘滞阻尼器可以有效地吸收结构的振动能量,减少结构振动的幅度,降低风振响应的危险性。其次,粘滞阻尼器可以根据结构的振动特性和风场的激励情况,调节阻尼器的阻尼力,以适应不同的风速和风向条件,能使得粘滞阻尼器能够在不同工况下保持稳定的控制效果,提高了结构的可靠性和适应性。此外,粘滞阻尼器还可以与其他风振控制装置结合使用,如风振减震器或减震桨叶等,形成多层次、多角度的风振响应控制体系,进一步提高了结构的稳定性和安全性。

3.3 结构减振优化

结构减振优化是指通过采用各种减振技术和措施,来有效减少结构在外部激励下的振动响应,提高结构的稳定性、安全性和舒适性。在结构减振优化中,粘滞阻尼器可以被用来控制结构在自然频率附近的振动,减少共振现象的发生,提高结构的稳定性。粘滞阻尼器具有一定的自适应性能,能够根据结构的振动特性和外部激励的变化,自动调节阻尼力的大小,以保持结构的稳定性,能使得粘滞阻尼器能够适应不同工况下的振动控制需求,提高了结构的适应性和可靠性。粘滞阻尼器还可以与其他减振装置结合使用,如质量块、弹簧等,形成多层次、多角度的减振体系,进一步提高了结构的减振效果,能够同时针对结构不同频段的振动进行控制,提高了减振效果的全面性和有效性。合理的粘滞阻尼器布置方案可以充分发挥其减振效果,降低结构的振动响应。因此,需要通过结构动力学分析和优化设计,确定最佳的粘滞阻尼器位置、数量和参数,以达到最佳的减振效果。

4 粘滞阻尼器参数设计与优化

4.1 参数影响因素分析

粘滞阻尼器的参数设计是影响其性能和效果的关键因素之一,因此需要对各种参数影响因素进行深入分析。这些因素直接影响着阻尼器的工作原理、阻尼效果和适用范围,主要包括以下几个方面:①阻尼剂的选择是影响粘滞阻尼器性能的重要因素之一。不同类型的阻尼剂具有不同的粘滞特性和阻尼效果,如油液、聚合物或金属等,其黏度、流动性和耐久性性质都会对阻尼器的工作效果产生直接影响。②阻尼器的尺寸和形状也会对其性能产生重要影响。阻尼器的质量、形状和尺寸决定了其惯性和刚度,进而影响着阻尼器的阻尼能力和工作频率范围。通常情况下,较大质量的阻尼器能够提供更高的阻尼效果,而合适的形状设计可以使阻尼器更容易安装和布置。③阻尼器的布置位置也是影响其性能的重要因素。阻尼器应该布置在结构的振动节点或振动主干路线上,以最大限度地减少结构的振动。合理的布置位置可以有效地提高阻尼器的工作效率和减振效

果。④阻尼器的刚度也是一个需要考虑的重要参数。较高的阻尼器刚度可以提供更高的阻尼力,但也可能增加结构的刚度,从而影响结构的振动特性和自由度^[3]。⑤阻尼器的阻尼力调节方式也会影响其性能和适用范围。不同的调节方式,如 passively tuned、semi-active 和 actively tuned 等,会对阻尼器的控制效果和能耗产生不同程度的影响。

4.2 优化方法探讨

在粘滞阻尼器参数设计与优化过程中,优化方法的选择直接影响着最终优化结果的有效性和可行性。经验和规则的优化方法依赖于专业人员的经验和知识,通过借鉴已有的成功案例和结构设计经验,制定适用于特定工程项目的优化方案。尽管这种方法易于理解和实施,但受限于个体经验,其结果可能缺乏科学性和普适性。数值模拟和仿真优化通过建立结构的数学模型,并利用计算机软件进行仿真分析,可以评估不同参数组合对结构减振效果的影响,从而确定最佳的参数配置。这种方法具有较高的准确性和科学性,适用于复杂结构的优化问题。多目标优化方法通过权衡各个目标之间的关系,找到最佳的平衡点,从而实现多目标的优化。这种方法可以综合考虑结构的多个性能指标,提高了优化结果的全面性和有效性。智能算法优化通过模拟自然界的进化和优化过程,搜索最优解空间,从而找到最佳的参数组合。智能算法优化具有全局搜索能力强、适用范围广等优点,适用于复杂的优化问题。

5 结语

在结构工程中,粘滞阻尼器作为一种重要的减振装置,在提高结构抗震能力、减轻地震或风振引起的结构振动等方面发挥着重要作用。本文从粘滞阻尼器的原理、分类、在框架结构中的应用分析,以及参数设计与优化等方面进行了探讨。通过对粘滞阻尼器的各种参数影响因素和优化方法的分析,我们可以更好地理解粘滞阻尼器在结构工程中的应用,并为其设计和优化提供了有效的指导和方法。随着结构工程技术的不断发展和完善,相信粘滞阻尼器将继续发挥重要作用,为建筑结构的安全稳定提供可靠保障,推动建筑工程领域的进步与发展。

【参考文献】

- [1]何炜翔.设置粘滞阻尼放大器框架结构减震性能分析[D].广西:广西科技大学,2022.
 - [2]杨维国,高雅巍,王萌,等.基于振动台试验的鱼线固定梅瓶文物响应规律性研究[J].振动与冲击,2024,43(4):250-260.
 - [3]梁刚,陆志涵,刘云贺,等.Q460 高强钢管柱-H 形梁焊接节点循环拉伸性能试验研究[J].振动与冲击,2024,43(4):303-313.
- 作者简介:马泽泽(1994.12—),男,单位名称:中国二十二冶集团有限公司,毕业学校和专业:燕山大学,土木工程。