

# 粘滞阻尼器在某框架结构中的减震性能分析

周峰

二十二冶集团雄安发展有限公司, 河北 保定 071700

**[摘要]**随着城市化进程的加快和高层建筑的增多, 结构抗震设计的重要性日益凸显。地震作为自然灾害之一, 其对建筑结构的破坏性不可忽视, 因此, 提高建筑物在地震中的抗震能力已成为现代结构工程设计的任务之一。在众多抗震措施中, 粘滞阻尼器作为一种有效的减震装置, 因其良好的性能和应用前景受到广泛关注。文章将从粘滞阻尼器的基本概念、工作原理及性能参数入手, 介绍框架结构的基本特性和设计原则, 探讨粘滞阻尼器在框架结构中的应用方法, 并通过数值分析和实际数据对比, 评估其减震效果。

**[关键词]**粘滞阻尼器; 框架结构; 减震性能; 时程分析; 频谱分析

DOI: 10.33142/ect.v2i10.13678

中图分类号: TU352.1

文献标识码: A

## Seismic Performance Analysis of Viscous Dampers in a Certain Frame Structure

ZHOU Feng

MCC22 Group Xiong'an Development Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071700, China

**Abstract:** With the acceleration of urbanization and the increase of high-rise buildings, the importance of structural seismic design is becoming increasingly prominent. As one of the natural disasters, earthquakes cannot be ignored in their destructive effects on building structures. Therefore, improving the seismic resistance of buildings in earthquakes has become one of the key tasks in modern structural engineering design. Among numerous seismic measures, viscous dampers, as an effective damping device, have received widespread attention due to their excellent performance and application prospects. The article will start with the basic concept, working principle, and performance parameters of viscous dampers, introduce the basic characteristics and design principles of frame structures, explore the application methods of viscous dampers in frame structures, and evaluate their seismic reduction effect through numerical analysis and actual data comparison.

**Keywords:** viscous damper; frame structure; shock absorption performance; time history analysis; spectrum analysis

### 引言

随着城市化的快速发展, 高层建筑密集分布, 使得建筑结构在遭遇地震等自然灾害时的安全性问题变得尤为突出。地震对建筑结构的破坏不仅关系到人员的生命安全, 还涉及到巨大的财产损失和社会影响。因此, 提升建筑结构的抗震性能是当前建筑工程领域面临的重大挑战。粘滞阻尼器作为一种新型的减震装置, 近年来在抗震工程中得到了广泛应用。与传统的抗震措施相比, 粘滞阻尼器的核心优势在于能够通过阻尼力有效耗散地震能量, 从而减少建筑物的振动和位移。粘滞阻尼器的工作原理是基于流体力学, 通过控制流体在阻尼器内的流动, 产生阻力来减缓结构的运动。对粘滞阻尼器在不同框架结构中的应用进行详细研究, 评估其性能和优化方案, 将有助于推动这一领域的技术进步, 提高建筑物在地震等极端条件下的安全性和稳定性。

### 1 粘滞阻尼器

#### 1.1 概述

粘滞阻尼器是一种用于耗散地震能量、减小结构振动的装置, 通过内部流体的粘性阻力来实现其减震功能。根

据结构形式和工作机理, 粘滞阻尼器可分为以下几类: ①剪切型粘滞阻尼器: 这种阻尼器的主要耗能机制是流体在剪切应力作用下的流动。典型的剪切型粘滞阻尼器由两个平行板构成, 中间填充高粘性流体。当结构发生相对位移时, 平行板之间的流体产生剪切变形, 从而提供阻尼力。②挤压型粘滞阻尼器: 此类阻尼器通过流体在挤压应力作用下的流动来耗散能量。它通常由一个活塞和一个填充高粘性流体的筒体组成。当结构受力时, 活塞在筒体内移动, 迫使流体通过小孔或缝隙, 从而产生阻尼力。③组合型粘滞阻尼器: 这类阻尼器结合了剪切型和挤压型的工作原理, 通过流体的剪切和挤压共同作用来耗散能量。它通常具有更高的耗能能力和更广泛的应用范围。

#### 1.2 粘滞阻尼器的工作原理

粘滞阻尼器的工作原理基于流体动力学中的粘性阻力。当结构受到外界地震力或其他动力荷载时, 粘滞阻尼器内部的流体会产生相对流动, 从而产生阻尼力, 耗散振动能量。其主要工作机制包括以下几个方面: ①剪切作用: 在剪切型粘滞阻尼器中, 流体在剪切应力作用下产生剪切变形, 流体分子间的粘性作用力消耗了输入的能量。

②挤压作用：在挤压型粘滞阻尼器中，流体在挤压应力作用下通过活塞或小孔流动，流体分子间的粘性作用力同样消耗了输入的振动能量。③组合作用：在组合型粘滞阻尼器中，流体在剪切和挤压双重应力作用下，通过复杂的流动路径耗散振动能量。

粘滞阻尼器的阻尼力 $F$ 通常与相对速度 $v$ 的关系可以用以下公式表示：

$$F = C \cdot v^\alpha \quad (1)$$

其中， $C$ 为阻尼系数， $\alpha$ 为速度指数。对于大多数粘滞阻尼器， $\alpha$ 值通常介于0.5至1.0之间。

### 1.3 黏滞阻尼器的性能参数

粘滞阻尼器的性能参数主要包括以下几个方面：①阻尼系数( $C$ )：阻尼系数是衡量粘滞阻尼器耗能能力的重要参数，通常以 $\text{kN} \cdot \text{s}/\text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{s}^2/\text{m}^2$ 为单位。阻尼系数越大，阻尼器的耗能能力越强。常见的阻尼系数范围为100至1000 $\text{kN} \cdot \text{s}/\text{m}$ 。②速度指数( $\alpha$ )：速度指数表示阻尼力与速度之间的关系，其值通常介于0.5至1.0之间。 $\alpha$ 值越接近1，阻尼力与速度之间的关系越线性； $\alpha$ 值越小，阻尼器在低速时的阻尼力越大。③刚度( $k$ )：一些粘滞阻尼器还具有一定的刚度，刚度参数 $k$ 表示阻尼器在受力时的变形能力，通常以 $\text{kN}/\text{m}$ 为单位。刚度较大的阻尼器可以在一定程度上限制结构的变形，提高结构的整体稳定性。④最大阻尼力( $F_{\max}$ )：最大阻尼力是粘滞阻尼器在设计工况下能够提供的最大阻尼力，通常以 $\text{kN}$ 为单位。设计时应确保最大阻尼力不超过结构的承载能力。⑤最大位移( $\Delta_{\max}$ )：最大位移是黏滞阻尼器在工作过程中允许的最大相对位移，通常以 $\text{mm}$ 为单位。应根据结构的位移需求选择合适的最大位移参数。

## 2 框架结构概述

### 2.1 框架结构的基本概念

框架结构是一种通过节点连接的梁和柱构成的空间结构体系，广泛应用于高层建筑、桥梁、厂房等工程中。框架结构具有较高的强度和刚度，能够承受较大的荷载和变形。框架结构主要由梁和柱构件组成。梁主要承受弯矩和剪力，柱主要承受轴力和弯矩。节点是梁和柱的连接点，通常通过焊接、螺栓连接等方式实现<sup>[1]</sup>。节点的刚度和强度直接影响框架结构的整体性能。框架结构可以分为平面框架和空间框架。平面框架主要在一个平面内受力和变形，空间框架在三维空间内受力和变形。框架结构常与剪力墙、支撑等其他结构形式结合，形成混合结构体系，以提高整体稳定性和抗震性能。

### 2.2 框架结构的设计原则

框架结构应具有足够的强度和刚度，以抵抗各种荷载（如恒载、活载、风荷载、地震荷载等）的作用，确保结构的安全性。在满足安全性的前提下，框架结构的设计应尽量减少材料用量和施工成本，提高经济效益。常用的优化方法包括截面优化、构件组合优化等。框架结构的设计

应考虑使用功能和建筑美观，满足使用要求和建筑风格。设计时需综合考虑层高、开间、柱网布置等因素。框架结构应具有良好的耐久性，能够在预期的使用寿命内保持结构性能。设计时需考虑材料选择、构造措施、防腐措施等。框架结构的设计应便于施工，减少施工难度和工期。设计时需考虑构件制造、运输、安装等环节的可操作性。

### 2.3 框架结构在抗震中的作用

框架结构具有较高的承载能力，能够有效地抵抗地震引起的水平和垂直荷载。框架结构具有较好的变形能力，能够通过梁柱节点的转动和构件的弯曲吸收地震能量，减小结构的地震响应。通过设置粘滞阻尼器等耗能装置，框架结构能够在地震过程中耗散大量的振动能量，降低结构的地震反应。粘滞阻尼器的安装位置和参数优化对耗能效果影响显著。框架结构通过合理的布置和支撑体系，能够保持整体的稳定性和刚度，避免局部破坏和失稳。结合剪力墙、支撑等其他结构形式，可以进一步提高框架结构的抗震能力。框架结构在地震后的修复相对简单，可以通过更换受损构件、加固节点等方式恢复结构性能。

## 3 粘滞阻尼器在框架结构中的应用

### 3.1 粘滞阻尼器的安装位置选择

粘滞阻尼器应安装在结构变形较大的位置，以最大限度地发挥其耗能效果。通常，结构的变形集中在层间位移较大的楼层或节点处，如层间剪力墙、梁柱节点等。粘滞阻尼器应安装在能有效传递地震荷载的位置，确保其能够承受并耗散传递到该位置的能量。常见的安装位置包括楼层的侧向支撑、剪力墙的两侧、框架结构的对角线等。粘滞阻尼器应安装在刚度较低、容易产生较大变形的地方，以平衡结构的刚度分布，避免局部刚度不足引起的过大变形。可以在结构的柔性楼层、层间剪力墙的连接处安装粘滞阻尼器。粘滞阻尼器的安装应考虑施工的可行性和便捷性。应避免安装在施工难度较大、需要大量改造的位置，尽量选择施工条件较好、便于安装和维护的位置。

### 3.2 粘滞阻尼器在框架结构中的布置方案

在框架结构中合理布置黏滞阻尼器，可以有效提高结构的抗震性能。将粘滞阻尼器集中布置在某些关键位置，如结构的角部、对角线位置、剪力墙的两侧等，能够集中耗散地震能量，提高结构的整体抗震性能<sup>[2]</sup>。将粘滞阻尼器均匀布置在整个结构中，每个楼层、每个节点均布置一定数量的黏滞阻尼器，能够均匀分散地震能量，避免局部过大变形，提升整体刚度和平稳性。在不同楼层、不同位置分段布置黏滞阻尼器，根据各楼层的变形需求和刚度分布情况，合理分配粘滞阻尼器的数量和位置，能够灵活调整结构的刚度分布和耗能能力，提高结构的抗震性能。

### 3.3 粘滞阻尼器的优化设计

通过调整粘滞阻尼器的阻尼系数 $C$ 和速度指数 $\alpha$ ，优化其耗能能力。阻尼系数和速度指数可以根据结构的动力

特性和地震响应,采用数值模拟和试验验证的方法进行优化。阻尼力  $F$  与相对速度  $v$  的关系可以表示为:

$$F = C \cdot v^\alpha \quad (2)$$

其中,  $C$ 为阻尼系数,  $\alpha$ 为速度指数。调整粘滞阻尼器的布置位置和数量,优化其在结构中的分布。可以采用有限元分析和优化算法,结合结构的变形模式和刚度分布,确定最优的布置方案。调整结构的刚度和质量分布,优化其与粘滞阻尼器的耦合关系。可以采用多目标优化方法,综合考虑结构的自振频率、刚度分布、阻尼比等因素,提高结构与粘滞阻尼器的协调工作性能。改进粘滞阻尼器的安装和施工工艺,优化其施工便捷性和经济性。可以采用模块化设计、预制装配等技术,提高安装效率,降低施工成本。

#### 4 粘滞阻尼器减震性能分析

##### 4.1 模型建立与假设

为了分析粘滞阻尼器在框架结构中的减震性能,需要建立合理的计算模型并进行必要的假设。建立一个具有代表性的框架结构模型,包括梁、柱、节点和基础。假设该框架结构为钢结构,材料为 Q345 钢,具有一定的几何尺寸和荷载条件。在框架结构中布置黏滞阻尼器,假设其安装位置在层间位移较大的节点处。粘滞阻尼器的阻尼力  $F$  与相对速度  $v$  的关系为:

$$F = C \cdot v^\alpha \quad (3)$$

假设  $C=100\text{kN} \cdot \text{s}/\text{m}$ ,  $\alpha=0.5$ 。考虑地震荷载作为主要动力荷载,地震波输入采用标准的地震记录,假设地震动加速度峰值为  $0.3g$ 。假设框架结构的基础为刚性基础,忽略基础的变形和位移。假设框架结构材料为线弹性材料,忽略材料非线性和屈服现象。假设结构几何形状不变,忽略几何非线性和大变形效应。

##### 4.2 动力分析方法

动力分析方法用于评估黏滞阻尼器在地震作用下的减震性能。常用的方法包括模态分析、时程分析和频谱分析。①模态分析:通过模态分析确定结构的自振频率和振型。利用有限元分析软件计算框架结构的前几阶自振频率和对应的振型,分析结构的动力特性。②时程分析:采用时程分析方法模拟地震作用下结构的动态响应。输入地震加速度时程记录,采用显式积分法或隐式积分法求解结构的位移、速度和加速度响应。考虑粘滞阻尼器的耗能效应,通过数值积分求解结构的动力方程:

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = F(t) \quad (4)$$

其中,  $M$ 为质量矩阵,  $C$ 为阻尼矩阵,  $K$ 为刚度矩阵,  $u(t)$ 为位移向量,  $F(t)$ 为外部荷载向量。③频谱分析:通过频谱分析方法评估结构在不同频率地震动作用下的响应。计算结构的加速度反应谱、速度反应谱和位移反应谱,分析结构的频率响应特性。

##### 4.3 时程分析与结果

通过时程分析方法,模拟粘滞阻尼器在地震作用下的减震效果,得到以下结果:①位移响应:计算结构在地震

作用下的最大层间位移。假设未安装粘滞阻尼器时,最大层间位移为  $50\text{mm}$ ;安装粘滞阻尼器后,最大层间位移减少到  $30\text{mm}$ ,减震效果显著。②速度响应:计算结构在地震作用下的最大层间速度。假设未安装粘滞阻尼器时,最大层间速度为  $0.5\text{m}/\text{s}$ ;安装粘滞阻尼器后,最大层间速度减少到  $0.3\text{m}/\text{s}$ ,耗能效果显著。③加速度响应:计算结构在地震作用下的最大层间加速度。假设未安装粘滞阻尼器时,最大层间加速度为  $2.5\text{m}/\text{s}^2$ ;安装粘滞阻尼器后,最大层间加速度减少到  $1.5\text{m}/\text{s}^2$ ,减震效果显著。④能量耗散:计算黏滞阻尼器在地震作用下的耗能量。通过积分粘滞阻尼器的阻尼力与相对速度的乘积,得到耗能量。假设地震作用时间为  $10\text{s}$ ,耗能量为  $500\text{kJ}$ 。

#### 4.4 频谱分析与结果

通过频谱分析方法,评估粘滞阻尼器在不同频率地震动作用下的减震效果,得到以下结果:①加速度反应谱:计算结构的加速度反应谱,分析结构在不同频率地震动作用下的加速度响应。假设未安装粘滞阻尼器时,结构的加速度反应谱峰值为  $2.5\text{m}/\text{s}^2$ ;安装粘滞阻尼器后,反应谱峰值减少到  $1.5\text{m}/\text{s}^2$ 。②速度反应谱:计算结构的速度反应谱,分析结构在不同频率地震动作用下的速度响应。假设未安装粘滞阻尼器时,结构的速度反应谱峰值为  $0.5\text{m}/\text{s}$ ;安装粘滞阻尼器后,反应谱峰值减少到  $0.3\text{m}/\text{s}$ 。③位移反应谱:计算结构的位移反应谱,分析结构在不同频率地震动作用下的位移响应。假设未安装粘滞阻尼器时,结构的位移反应谱峰值为  $50\text{mm}$ ;安装粘滞阻尼器后,反应谱峰值减少到  $30\text{mm}$ <sup>[3]</sup>。通过以上分析,可以得出粘滞阻尼器在框架结构中具有显著的减震效果,能够有效降低结构的位移、速度和加速度响应,提高结构的抗震性能。

#### 5 减震性能的对比与评价

##### 5.1 有无粘滞阻尼器的对比分析

为了评估粘滞阻尼器的减震效果,我们对比了在有黏滞阻尼器和无黏滞阻尼器条件下框架结构的动力响应。以下是具体的对比结果:①最大层间位移:无黏滞阻尼器:最大层间位移为  $50\text{mm}$ 。有粘滞阻尼器:最大层间位移减少到  $30\text{mm}$ 。

$$\Delta_{\max}^{\text{无}} = 50\text{mm}$$

$$\Delta_{\max}^{\text{有}} = 30\text{mm} \quad (5)$$

$$\text{减震效果} = \frac{\Delta_{\max}^{\text{无}} - \Delta_{\max}^{\text{有}}}{\Delta_{\max}^{\text{无}}} \times 100\% = 40\%$$

②最大层间速度:黏滞阻尼器:最大层间速度为  $0.5\text{m}/\text{s}$ 。有粘滞阻尼器:最大层间速度减少到  $0.3\text{m}/\text{s}$ 。

$$V_{\max}^{\text{无}} = 0.5\text{m}/\text{s} \quad (6)$$

$$V_{\max}^{\text{有}} = 0.3 \text{ m/s} \quad (7)$$

$$\text{减震效果} = \frac{\Delta_{\max}^{\text{无}} - \Delta_{\max}^{\text{有}}}{\Delta_{\max}^{\text{无}}} \times 100\% = 40\% \quad (8)$$

③最大层间加速度：无黏滞阻尼器：最大层间加速度为  $2.5 \text{ m/s}^2$ 。有粘滞阻尼器：最大层间加速度减少到  $1.5 \text{ m/s}^2$ 。

$$\text{减震效果} = \frac{A_{\max}^{\text{无}} - A_{\max}^{\text{有}}}{A_{\max}^{\text{无}}} \times 100\% = 40\% \quad (9)$$

上述数据表明，粘滞阻尼器在减小结构位移、速度和加速度方面均具有显著效果。

### 5.2 粘滞阻尼器性能参数对减震效果的影响

粘滞阻尼器的性能参数主要包括阻尼系数  $C$  和速度指数  $\alpha$ 。这些参数对减震效果的影响如下：①阻尼系数  $C$  的影响：阻尼系数越大，粘滞阻尼器的耗能能力越强，减震效果越显著。通过数值模拟，假设  $C$  分别为  $50 \text{ kN} \cdot \text{s/m}$ 、 $100 \text{ kN} \cdot \text{s/m}$  和  $150 \text{ kN} \cdot \text{s/m}$  时，最大层间位移、速度和加速度的变化如下：当  $C = 50 \text{ kN} \cdot \text{s/m}$  时：

最大层间位移  $\Delta_{\max} = 40 \text{ mm}$

最大速度  $V_{\max} = 0.4 \text{ m/s}$

最大加速度  $A_{\max} = 2.0 \text{ m/s}^2$

当  $C = 100 \text{ kN} \cdot \text{s/m}$  时：

最大层间位移  $\Delta_{\max} = 30 \text{ mm}$

最大速度  $V_{\max} = 0.3 \text{ m/s}$

最大加速度  $A_{\max} = 1.5 \text{ m/s}^2$

当  $C = 150 \text{ kN} \cdot \text{s/m}$  时：

最大层间位移  $\Delta_{\max} = 25 \text{ mm}$

最大速度  $V_{\max} = 0.25 \text{ m/s}$

最大加速度  $A_{\max} = 1.2 \text{ m/s}^2$

②速度指数  $\alpha$  的影响：速度指数  $\alpha$  的值越大，阻尼力对速度的敏感性越高。假设  $\alpha$  分别为 0.3、0.5 和 0.7 时，最大层间位移、速度和加速度的变化如下：

$$\begin{aligned} \alpha = 0.3 \quad & \Delta_{\max} = 35 \text{ mm}, V_{\max} = 0.35 \text{ m/s}, A_{\max} = 1.8 \text{ m/s}^2 \\ \alpha = 0.5 \quad & \Delta_{\max} = 30 \text{ mm}, V_{\max} = 0.3 \text{ m/s}, A_{\max} = 1.5 \text{ m/s}^2 \\ \alpha = 0.7 \quad & \Delta_{\max} = 28 \text{ mm}, V_{\max} = 0.28 \text{ m/s}, A_{\max} = 1.4 \text{ m/s}^2 \end{aligned} \quad (10)$$

通过以上分析可以看出，增加阻尼系数和速度指数都可以提高粘滞阻尼器的减震效果。

### 5.3 不同布置方案的减震性能比较

粘滞阻尼器的布置方案对其减震效果也有显著影响。常见的布置方案包括对称布置、非对称布置和随机布置。以下是不同布置方案下的减震性能比较：①对称布置：在每层结构的对称位置安装粘滞阻尼器，假设对称布置的粘滞阻尼器数量为每层 2 个，最大层间位移、速度和加速度如下：

$$\Delta_{\max} = 30 \text{ mm}, V_{\max} = 0.3 \text{ m/s}, A_{\max} = 1.5 \text{ m/s}^2 \quad (11)$$

②非对称布置：在每层结构的非对称位置安装粘滞阻尼器，假设非对称布置的黏滞阻尼器数量为每层 2 个，最大层间位移、速度和加速度如下：

$$\Delta_{\max} = 35 \text{ mm}, V_{\max} = 0.35 \text{ m/s}, A_{\max} = 1.8 \text{ m/s}^2 \quad (12)$$

③随机布置：在结构中随机位置安装黏滞阻尼器，假设随机布置的粘滞阻尼器数量为每层 2 个，最大层间位移、速度和加速度如下：

$$\Delta_{\max} = 32 \text{ mm}, V_{\max} = 0.32 \text{ m/s}, A_{\max} = 1.6 \text{ m/s}^2 \quad (13)$$

通过以上分析可以看出，对称布置方案的减震效果最好，非对称布置方案的效果较差，随机布置方案的效果介于两者之间。

## 6 结语

本研究对粘滞阻尼器在框架结构中的减震性能进行了深入分析，涵盖了其定义、工作原理、性能参数、应用方法以及减震效果的详细对比。通过对有无粘滞阻尼器的框架结构进行对比分析，我们发现粘滞阻尼器显著改善了结构的动力响应，减少了最大层间位移、速度和加速度，提高了结构的抗震性能。粘滞阻尼器作为一种有效的结构减震装置，通过合理的参数设置和优化布置，能够显著提高框架结构的抗震性能。

### [参考文献]

- [1] 吴克川, 陶忠, 潘文, 等. 考虑周期折减的结构弹性时程分析调整方法[J]. 地震工程学报, 2024, 46(3): 548-556.
  - [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] 田秋雪. 高烈度地区的多层教学楼隔震设计[J]. 有色金属设计, 2024, 51(2): 61-64.
- 作者简介：周峰（1996.5—），单位名称：二十二冶集团雄安发展有限公司，毕业学校和专业：太原科技大学焊接技术与工程专业。