

基于实际工程对阻尼器的应用分析

桑健航, 李慧峰*, 马殿磨, 陆芳

西南林业大学土木工程学院, 云南 昆明

收稿日期: 2025年7月12日; 录用日期: 2025年8月2日; 发布日期: 2025年8月14日

摘要

针对实际工程消能减震的设计, 通过阅读文献和结合实际工程经验分析各类型阻尼器的性能及特点, 并结合规范要求给出阻尼器选型及位置布置和数量, 希望为一些实际建筑结构消能减震提供一定参考。

关键词

消能减震, 阻尼器, 建筑结构

Analysis of the Application of Dampers Based on Practical Engineering

Jianhang Sang, Huifeng Li*, Dianmo Ma, Fang Lu

School of Civil Engineering, Southwest Forestry University, Kunming Yunnan

Received: Jul. 12th, 2025; accepted: Aug. 2nd, 2025; published: Aug. 14th, 2025

Abstract

For the design of practical engineering energy dissipation and damping, the performance and characteristics of each type of damper are analyzed by reading the literature and combining with practical engineering experience, and the damper selection and location arrangement and quantity are given by combining with the specification requirements, which is hoped to provide some references for the energy dissipation and damping of some actual building structures.

Keywords

Energy Dissipation and Damping, Dampers, Building Structure

*通讯作者。

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地震作为一种自然灾害,具有广泛而深远的影响。近年来,国内频繁发生各类大小地震,对人民生命和财产造成伤害和损失,对社会经济造成了巨大的影响。地震对建筑物结构性能的影响尤为显著,常导致建筑物损坏甚至倒塌,如柱子、梁等构件发生弯曲和错位,使建筑物整体失去稳定性。地震振动引起应力集中,给结构构件带来巨大压力,导致建筑物楼板倾斜、墙体开裂,严重影响其正常使用功能。

基于以上地震对建筑结构带来的影响,在建筑领域,消能减震主要通过设置在建筑结构中设置消能器来进行耗能减震。本文通过阅读文献并结合实际工程经验分析阻尼器的工作原理和力学特性,阻尼器的选型和位置布置、数量,为实际工程项目中阻尼器的选型提供参考。

2. 消能器的类型

在实际建筑工程中的消能减震,由于消能器的工作原理不同,主要把消能器分为两种类型,即位移型阻尼器和速度型阻尼器。位移型阻尼器两端发生相对变形,速度型阻尼器两端形成相对速度,主要分别为结构提供附加刚度和附加阻尼比,耗散输入至结构之内的地震能量。

2.1. 位移型阻尼器

位移型阻尼器主要有:防屈曲支撑(BRB),金属剪切阻尼器(SD),摩擦阻尼器(FD),连梁型阻尼器(CBD)。近年来,随着对结构减震需求的增加,位移型阻尼器普遍应用于新建工程和既有工程的抗震加固改造中,而BRB应用最为广泛。

2.2. 速度型阻尼器

除位移型阻尼器外,速度型阻尼器主要有:粘滞阻尼器(VFD)、粘滞阻尼墙(VFW)。在实际工程中速度型阻尼器亦得到广泛使用,尤其是在建筑和桥梁的结构振动控制中。

3. 阻尼器的力学性能及连接特点

消能减震指在建筑结构中设置阻尼器,在地震作用下,阻尼器产生摩擦、弯曲、剪切、扭转弹塑性滞回变形耗散或吸收所输入结构中的能量,以减少主体结构的地震反应。

3.1. 位移型阻尼器

位移型阻尼器是一种通过物理机制将结构在地震中的位移转化为能量耗散的装置,以此来实现对结构地震响应的减小。

3.1.1. BRB

BRB是一种新型的结构支撑技术,主要用于提高结构在地震作用下的安全性和稳定性。耗能能力强、滞回性能优良、技术复杂。BRB结构承载力高于普通支撑。占的立面空间大,截面尺寸大,造价高。连接方式包括:焊接连接,安装精度要求低,容易失稳。螺栓连接,螺栓排的长、数量多,容易失稳,安装精度要求特别高;销轴连接,用的比较少,安装精度要求高,在软件中模拟和实际情况比较相符,不会

受到附加弯矩影响。BRB 小震作用下提供刚度，基于《建筑消能减震规程》相应要求，国内大部分用到的 BRB 很少用到小震下屈服耗能而提高附加阻尼器比。

3.1.2. SD

金属软管阻尼器是一种利用金属材料塑性变形能力来耗散振动能量的装置。其延性好，屈服强度低，屈服位移小、滞回曲线饱满。小震作用下提供附加阻尼比。通常设计或使用有两类：第一类，小震作用下不屈服，保持弹性和 BRB 类似，为结构提供附加刚度；第二类，小震作用下屈服，提供附加阻尼比。该阻尼器厚度较小，设于隔墙位置不影响建筑使用功能，价格便宜，构造简单，可在施工最后阶段安装，维护也相对方便。连接方式包括：墙式连接，占的建筑空间小 1.2 m~1.8 m 之间，一般长为 1.5 m，厚为 200 mm，占用的立面空间小，影响较小，布置在跨中位置减震效果最好，造价方面及施工难度对建筑工程的影响来说相对于来说好一些，应用最普遍；支撑式连接，提供的附加阻尼比大一些，减震效率高于墙式连接，但截面做得大，造价高，占的立面空间大，且直接与阻尼器相连接的消能部件都要进行大震弹性设计或者验算，故用的不多，与之相比做 BRB 更合适。悬臂墙的刚度和支撑的刚度对减震效果影响非常之大。若墙式连接的悬臂墙和支撑式提供的刚度一样，则 SD 和 BRB 具有可比性。

综上，从使用功能上，设计计算上，造价成本上支撑式连接远远没有墙式连接具有优势。目前工程应用模式有两类：第一类，小震设计屈服的，需要附加阻尼比的。如：烈度比较高的地区，八度、九度等地区往往设计为小震屈服的绩效目标。第二类，小震设计不屈服的，不需要附加阻尼比的，但有的地区(七度场地)比较好的，可以设计为小震弹性不屈服的绩效目标。以上两种情况如果要屈服，采用支撑式比较容易。同样的参数：支撑式提供附加阻尼比大于墙式提供附加阻尼比。而改变连接构件刚度，及布置位置减震效果有所提高。

3.1.3. FD

摩擦阻尼器通常由固定部分和可移动部分组成，两者之间通过摩擦力产生阻尼。小震作用下提供附加阻尼比。大震作用下，摩擦阻尼器通过产生摩擦滑移做功以消耗吸收的地震能量，为结构提供附加阻尼比，减小结构响应。近些年应用少，价格便宜，做不了大吨位。有剪切式和轴向式。外力没有超过起滑力，就不会发生运动，就不会提供附加阻尼比。外荷载超过最大静摩擦力之后，产生运动，而产生滞回环耗散能量。设计方法和 SD 几乎一样。

3.1.4. CBD

连梁型阻尼器是一种利用金属材料在弹性位移范围内发生塑性变形来消耗地震能量的装置。设计方法和 SD 类似。楼层间的竖向变形差而使得阻尼器进入屈服耗能，连梁阻尼器体积小，可大幅提高混凝土连梁的延性和耗能能力，安装方便，完工后对建筑无影响，可有效解决剪力墙结构中阻尼器安装位置有限的问题。承载力高，小震下发挥耗能作用；小震屈服后仍保持较大的刚度提供偶联作用；延性与滞回性能好；大震下耗，耗能能力显著，保护主体结构；刚度有限，不能减小结构构件尺寸。选择合适的连梁型阻尼器需要综合考虑项目的特点和结构的需求。需要考虑的因素包括建筑的高度、结构体系、预期的地震反应、阻尼器的性能指标等。例如，在弯曲变形为主的剪力墙结构中，连梁作为地震下的第一道防线，需要特别考虑其屈服承载力和耗能能力。

3.2. 速度型阻尼器

速度型阻尼器，是一种能在地震或振动时通过流体运动产生动能转换为热能或其他形式能量消耗掉的装置，以此达到消能减震的效果。

3.2.1. VFD

粘滞阻尼器是一种利用流体粘性来耗散振动能量的装置，当结构发生变形导致缸筒和活塞间的相对运动时，粘滞流体会被迫流过小孔或间隙，产生阻尼力，实现减震效果。粘滞阻尼器在建筑工程中主要用于提高结构的抗震能力和减震效果。这种阻尼器可以根据不同的工程需求设计为线性或非线性阻尼器，以适应不同结构条件。连接方式包括：对角式连接，减震效果最差，占用的立面空间大；人字支撑式连接，用钢量增大；套索或剪刀型连接方式，起到放大器作用，阻尼器的耗能能力进一步放大，减震效果最好，同样占用整个立面，施工安装上比较麻烦，国内工程应用非常之少；墙式连接方式，占立面小，实际工程中应用最多。小震，中震，大震作用下提供附加阻尼比，不提供刚度，有动刚度，提供的附加阻尼比有限，布置在跨中位置减震效果最好。有频率，有速度的荷载作用下实际有刚度，设计时按静刚度来考虑，只为结构提供附加阻尼比，不提供附加刚度。墙式连接是消能减震里面非常常见的一种减震产品。小体量建筑物：小学校，小幼儿园，小医院等都被粘滞阻尼器覆盖。

3.2.2. VFW

粘滞阻尼墙的形状类似于钢筋混凝土剪力墙，但其内部充满了高粘度的阻尼材料，可以在结构层间产生相对位移或速度时，通过材料流动产生的内摩擦力做功来消耗能量，以此达到减震的效果。黏滞阻尼墙提供比较大的附加阻尼比，比黏滞阻尼器所提供的阻尼比更大，因而能够有效地提高结构的阻尼，明显地降低结构的地震响应。黏滞阻尼墙循环性能好，对于持续长时间，循环次数多的地震十分有效，也可满足高层风振舒适度要求。既适合新建筑的抗震设计，又适合对已有建筑的抗震加固。

4. 阻尼器的实际工程应用

阻尼器的核心价值在于“以柔克刚”：通过耗散外部能量而非硬抗，显著提升工程结构的抗震、抗风性能，工程应用中需严格遵循“强节点、弱构件”原则，确保阻尼器在极端荷载下高效耗能，证结构的主体安全。

4.1. 位移型阻尼器

位移型阻尼器通过在结构中产生塑性变形耗散地震能量，显著提升建筑抗震性能，在高层建筑、历史加固及特殊结构中应用广泛。

4.1.1. BRB

在实际工程中，BRB 的应用案例包括天津滨海演艺中心、连云港石化产业基地公用工程岛项目等。这些案例中，BRB 通过不同的配置和设计，有效地提高了结构的抗震性能和稳定性。例如，在天津滨海演艺中心，BRB 支撑被用来提高结构的平面抗扭刚度，控制位移比偏大的问题，并在罕见地震作用下提供附加的阻尼，以保护结构不受破坏。李国^[1]以上海市某社区卫生服务中心及牙防所搬迁装修项目加固工程为例，研究既有房屋中增设屈曲约束支撑的关键技术问题，总结整个安装过程的施工工艺与施工要点，为旧房加固改造工程提供参考。

BRB 支撑方式广泛应用于各类建筑结构中，尤其是在需要提高抗震性能的建筑中。例如，在桥梁、高层建筑、学校、医院等重要结构中，BRB 支撑被用来增强结构的整体稳定性和可靠性。

4.1.2. SD

金属软管阻尼器在建筑结构、桥梁抗震等领域有着广泛的应用。在建筑结构中，金属阻尼器被用作消能减震组件，通过在结构中预设的塑性变形来消耗地震能量，保护结构安全。在桥梁工程中，通过减少振动来延长桥梁的使用寿命。在实际工程应用中，软钢阻尼器已被广泛应用于多个重要项目中，如新

西兰政府办公楼、意大利 NapieS 的钢结构建筑等。这些应用案例证明了软钢阻尼器在提高结构抗震性能方面的有效性。张芳芳[2]等以山西省某幼儿园综合楼为例,抗震性能得到了显著改善。附加阻尼器后,阻尼器在小震下可有效降低主体结构的地震内力,大震作用下起到防止结构严重破坏的作用。

4.1.3. FD

摩擦阻尼器广泛应用于建筑物、桥梁等领域。例如,在台湾进行的结构减震消能技术研究中,摩擦阻尼器被用来消散地震动能,改善结构物的抗震能力。哈尔滨工业大学的研究项目中,金属橡胶剪切摩擦阻尼器经过静态试验和动态模拟仿真计算,证明了其在土木工程结构中抗风、抗震方面的有效性。以海口江东新区快速通道工程为例,该项目在桥梁结构中首次应用了摩擦阻尼器,以适应大变形和高可靠度要求,展现了摩擦阻尼器在桥梁工程中的应用潜力。另一实例是天水某大型住宅建设项目,该项目采用了摩擦型连梁式阻尼器进行减震,充分体现了摩擦阻尼器在减震技术中的应用价值。周建橙[3]等为提高综合医疗用房的抗震性能,设计时采用墙式摩擦阻尼器作为消能减震部件,来消耗输入结构的地震能量。分析结果表明:在多遇地震作用下,摩擦阻尼器通过提供一定的附加刚度和附加阻尼,有效的控制了结构反应;在罕遇地震作用下,摩擦阻尼器滞回耗能,与塑性铰一同耗能,保证了结构主体的安全。

4.1.4. CBD

连梁型阻尼器在多个实际工程项目中得到应用。例如,深圳航天科技广场 1 号塔楼就使用了耗能连梁钢板阻尼器,通过模拟分析其受力状态、工作机理及耗能机制,证明了其在结构抗震性能提升方面的有效性。在实际工程中,连梁型阻尼器常应用于剪力墙结构的高层建筑中。例如,在某大型住宅建设项目中,通过在剪力墙结构的连梁位置安装摩擦型连梁阻尼器,有效减小了地震作用下的层间位移角,并降低了修复难度。吴艳朋[4]等对位于 9 度区的高层住宅剪力墙结构,采用一种新型装配式连梁阻尼器进行消能减震分析,实际工程案例分析结果表明,连梁阻尼器后能够有效提高高层住宅剪力墙结构的抗震能力。

4.1.5. VFD

粘滞阻尼器在多种工程结构中得到应用,如桥梁和高层建筑。例如,在某长江大桥的振动问题中,通过改进设计,采用了带有特殊泄压阀的锁定装置,有效控制了振动。粘滞阻尼器的应用不仅限于新建建筑,也广泛应用于既有建筑的加固改造中,尤其是在地震活跃区域和高烈度地区。适用学校、医院、大型体育场馆、抗震加固。罗为[5]为了解决既有建筑加固效果不理想问题,结合实际案例和数据,探讨其在加固工程中的有效性和可行性。提出粘滞阻尼器能够显著提高建筑结构的抗震性能的观点,得出了粘滞阻尼器可以降低震害风险,具有广阔应用前景的结论。

4.1.6. VWD

粘滞阻尼墙已被广泛应用于许多国家的建筑和桥梁结构中,尤其是在日本,如 1994 年建成的 78.6 m 的 SUT-Building、2001 年建成的 149.8 m 的丸之内大厦以及 2012 年建成的 206.7 m 的仙石山森大厦等。在中国,也有诸如晋中汇通大厦、厦门某超高层住宅、天水展贸大厦、江苏金柏年财富广场等工程案例。在混凝土结构中适量的布置一些粘滞阻尼墙,可以增强建筑的抗侧向力的能力,降低地震对建筑物结构的破坏,提高建筑物的整体抗震能力以及整体安全性,同时能减少经济成本,具有良好的经济价值[6]。

5. 阻尼器的选型及位置和数量布置

阻尼器的选型往往与结构的需求相关,而对耗能减震效果而言阻尼器的类型、结构中布置的位置以及阻尼器的数量等对建筑结构减震效果均有影响,一般都是基于实际工程情况具体来布置减震方案。

5.1. 选型

结构的选型大多情况会根据建筑的功能需求、建筑结构体量及建筑结构的性能需要等综合确定选取阻尼器的类型进行下一步的减震设计。

5.1.1. 考虑建筑的功能需求

隔墙较多的建筑，理论上可以选用所有类型阻尼器；隔墙较少或无整跨隔墙的建筑，尽量选择占用空间小的阻尼器，如 SD、VFD、FD 等。

5.1.2. 考虑建筑结构的体量

建筑体量较小(小于 10,000 平)，理论上可以选用所有类型阻尼器；建筑体量较大(大于 10,000 平)尽量选用大吨位的阻尼器，如 BRB，VWD 等。

5.1.3. 考虑建筑结构的性能需求

结构较柔(如钢结构)或刚度不足的结构，可优先考虑选用 BRB，其次选用 SD。抗扭刚度较弱(周期比超)或结构平面布置不规则的结构(扭转位移比超)，首先考虑选用 BRB，并沿结构周边进行布置。结构刚度尚可，当有附加阻尼比需求时(可一定程度上减小地震力)，可考虑选用 VFD 和 VFW。剪力墙结构如需采用减震技术，目前最佳选择为连梁型阻尼器。

综上给出建议：

(1) 具有较多整跨位置可以使用：BRB、VFD、SD、FD；

(2) 整跨位置很少：VFD、SD、FD；

(3) 对刚度的需求大；比如大体育馆、楼板开大洞大空间的对构连接弱一些，隔墙多：BRB(同时考虑会不会影响建筑功能的使用)；若隔墙开门等可选择：VFD、FD、SD。

5.2. 位置和数量的确定

阻尼器布置原则：对称、周边、均匀、分散——平面布置原则；阻尼器布置楼层数建议不少于地上结构总层数的 1/2——立面布置原则。具体如下：

(1) 均匀分布，间距不宜大于 50 m；

(2) BRB：规模较大(10,000 平方米以上)300~600 平布置一套；规模较小(10,000 平方米以下)100~400 平布置一套；

(3) SD 和 FD：150~250 平布置一套；

(4) VFD：150~300 平布置一套。

6. 结语

在实际工程项目中，一般通过增大阻尼、延长结构周期(隔震法)、增大刚度等三种方法进行合理选择消能器。位置的布置有时候对减震来说至关重要，在控制成本很厉害的情况下，往往我们是通过阻尼器的布置方式来达到我们的建筑结构减震设计目标。比如，同样的设计附加阻尼器比，同样的阻尼器数量，同样的连接方式不同位置布置附加阻尼比是不一样的。

而本文通过分析各种阻尼器的性能特点及结合阻尼器在建筑结构中连接方式的特点，列举相关实际工程阻尼器的应用，并结合规范给出阻尼器的选型，位置布置及数量，为实际工程减震提供参考。

参考文献

[1] 李国. 屈曲约束支撑加固技术在既有建筑抗震加固改造中的应用[J]. 中国建筑装饰装修, 2025(4): 83-85.

- [2] 张芳芳, 赵振东. 软钢阻尼器在某幼儿园减震设计中的应用[J]. 建材世界, 2023, 44(6): 93-97.
- [3] 周建橙, 陈晓彬, 潘杰. 摩擦阻尼器在框架结构减震设计中的应用——以建水县综合养老服务中心综合医疗用房为例[J]. 安徽建筑, 2023, 30(2): 75-77.
- [4] 吴艳朋, 杜金辉, 何雄科, 等. 连梁阻尼器在高层住宅减震中的应用分析研究[J]. 城市建筑, 2024, 21(19): 198-199+204.
- [5] 罗为. 粘滞阻尼器在既有建筑加固中的应用[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(8): 59-61.
- [6] 秦宏勋, 何鹏, 郭雄伟, 等. 粘滞阻尼墙抗震技术在工程中的应用[J]. 建筑技术开发, 2023, 50(1): 102-104.