

新型变摩擦力阻尼器研究进展与核心技术探讨

李 华

(同济大学上海材料研究所, 上海 200437)

[摘要] 针对变摩擦型阻尼器的发展与应用历程,介绍了变摩擦阻尼器在国内外的相关研究与应用情况。首先介绍了新型变摩擦阻尼器的耗能原理和使用场合、产品结构形式与本构关系;其次介绍了该阻尼器按照行业规范进行的试验性能;最后讨论了该阻尼器设计生产过程中的关键技术,阐述阻尼器如何实现与达到行业规范要求的性能。通过以上讨论得出新型变摩擦阻尼器设计理念、耗能机理、关键技术的认识已经达到国际先进水平。

[关键词] 变摩擦阻尼器; 摩擦系数; 设计生产技术控制与研究

中图分类号: TU352.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-848X(2015)S2-0472-03

0 引言

地震和飓风作为严重的自然灾害,因其具有破坏性大、突发性强、难以准确预报等特点,往往给人类的生存和发展造成了极大的威胁和巨大灾难。近一个世纪以来,世界各国曾多次发生过强烈地震,造成了巨大的人员伤亡和经济损失。地震给人类带来的沉重灾害足以显示做好抗震防灾工作的重要性,避免和减轻建筑物的震害具有重要意义。

我国从 20 世纪 90 年代开始重视此项技术的研究和工程应用工作。《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)中增加了“隔震与消能减震”的章节,说明我国正日益重视隔震与消能减震技术与理论的研究,并致力于该技术的推广应用。摩擦阻尼器作为一种位移型消能减震装置,具有耗能能力强、摩擦机构简单、取材容易、造价低廉等诸多优点。因此,不仅在新建被动控制结构中广泛应用,也在现存的结构抗震加固及土木结构抗震性能优化中得到应用与大力推广。

摩擦阻尼器的发展始于 20 世纪 70 年代末,随后为适应不同类型的建筑结构,国内外学者陆续研制开发了多种摩擦阻尼器,其摩擦力大小易于控制,可方便地通过调节预紧力大小来确定^[1]。目前,国内外研究开发的摩擦阻尼器主要有:日本 OILFS 工业株式会社基于预紧摩擦副施加正压力原理开发的 OILFS 式摩擦阻尼器、Pall 和 Marsh 研究开发的 Pall 摩擦阻尼器、日本 Sumitomo 金属公司基于铁道合金的阻尼装置开发的 Sumitomo 摩擦阻尼器、Pall 型摩擦阻尼器改进型 T 形芯板摩擦阻尼器以及上海材料研究所提出的新型变摩擦力阻尼器等一系列摩擦复合耗能器。

纵观摩擦阻尼器国内外研究现状,在国外对摩擦消能器的研究主要针对新型摩擦材料、新的应用方式、实用化设计。而国内摩擦消能器的研究主要是针

对基于 Pall 型摩擦消能器的性能改进。目前的摩擦阻尼器只能向结构系统提供单一摩擦力。当滑移摩擦力设定较高时,装置可能不起滑或滑动后可能产生不可复原的残余变形;如果摩擦力设定过低,则无法提供所需的阻尼力,会导致消能器的减振能力降低,限制了其减震效果和应用范围。这也是位移型消能减震共同的问题点。实际应用中,一般以结构在强震作用下的受力安全为前提,设定摩擦力大小;在小震或者强风条件下,由于设定的摩擦力过高,阻尼器不能发挥作用,降低了使用效率。现有的摩擦阻尼器作为一种位移相关型耗能装置,只有在滑动的情况下才会消耗地震能量,不能根据结构的反应实时地改变自身特性,限制了其减震效果和应用范围^[2]。因此我所研究开发一种新型变摩擦力阻尼器,能适应在小位移时摩擦力较小,随着位移的增大,摩擦力也将逐步增大;并实现小震少耗能,大震多耗能的功能,使其在小震或强风即可发挥耗能作用,从而保护结构的安全。

本文结合产品特点、行业需求与标准要求,对我国《建筑消能阻尼器》(JG/T 209—2012)^[3]与《建筑消能减振技术规程》(JGJ 297—2013)^[4]的要求内容进行对比分析,并对新型变摩擦阻尼器的关键技术以及在设计生产过程中如何实现,进行了核心技术探讨。

1 新型变摩擦阻尼器的介绍

1.1 新型变摩擦阻尼器耗能原理与使用场合

新型变摩擦力阻尼器是基于金属摩擦原理设计而成的消能减震装置,具有摩擦耗能能力随位移变化而变化,能适应不同地震强度的需求;可广泛应用于中高层建筑、单层或多层工业厂房、钢结构、高耸塔架、超高层巨型建筑结构、大跨度结构、旧有高柔建筑

或结构物的加固改造。

1.2 新型变摩擦阻尼器结构形式

新型变摩擦力阻尼器结构形式如图 1 所示,金属变摩擦耗能器主要由特制耐磨的高摩擦系数区域钢材、低摩擦系数区域钢材、金属耐磨滑动摩擦环、轴、左右球铰等组成。变摩擦阻尼器的构造见图 1。

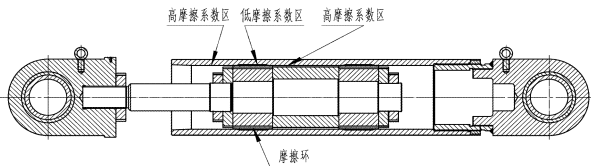


图 1 变摩擦阻尼器构造图

1.3 本构关系

特制耐磨的高摩擦系数区域、低摩擦系数区域摩擦副与金属耐磨滑动摩擦环通过特定工艺过盈装配之后,摩擦环在高摩擦系数区域、低摩擦系数区域来回摩擦往复运动,产生相应的与滑移方向相反的摩擦力,将建筑物的地震能量转化为热能吸收来耗散能量。

新型变摩擦力阻尼器主要是通过外力达到所设定的滑移荷载时才产生滑动,并且滑动后摩擦力随着位移与摩擦系数的变化而变化,其滞回曲线呈对称“三角形”;荷载大小及频率、荷载循环次数对摩擦耗能器的性能影响很小;综上所述,该变摩擦耗能器的恢复力模型可以在现有摩擦阻尼器刚塑性模型的基础上进行改进,模型如图 2 所示。

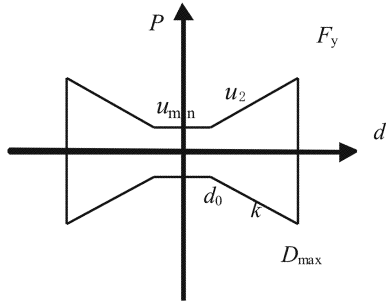


图 2 三角形滞回模型

由于摩擦副材料原因,摩擦系数 u 随位移变化而变化($0 < u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$)。

当 $|d(t)| \leq d_0$ 时, $u = u_{\min}$

则:

$$F_{y0} = u_{\min} N$$

摩擦耗能器一个周期所消耗的能量:

$$W_{d1} = 4F_y d_0$$

当 $|d_0| < d \leq |d_{\max}|$ 时, $u_{\min} < u_2 \leq u_{\max}$, 其中

$$u_2 = u_{\min} + k(d - |d_0|)$$

则:

$$F_y = F_{y0} + [u_{\min} + k(d - |d_0|)]N$$

$$W_d = W_{d1} + 2(F_y - F_{y1})(d - d_0)$$

式中: F_y 与 F_{y1} 为摩擦力; N 为过盈配合后产生的正压力; k 为变摩擦耗能器摩擦系数变化时产生的刚度值,该值由产品设计确定; d 为起滑位移; d_0 为摩擦系数无变化区域内的滑动位移; $d_{\max}$ 为最大位移; W_d 为耗能器一个周期所消耗的能量^[5]。

2 新型变摩擦阻尼器的性能试验

为了验证新型变摩擦阻尼器的工作性能和耗能性能,建立变摩擦阻尼器的恢复力模型,对该摩擦阻尼器进行了荷载试验。采用 LETS-2000KN 耗能减振设备电液伺服疲劳试验机对新型变摩擦阻尼器(VFD-300S-100X)进行了位移依存性(速度一定和频率一定)试验和疲劳性加载试验,试验加载谱见表 1 与图 3, VFD-300S-100X 变摩擦阻尼器试验现场见图 3, 部分试验结果见图 4。

新型变摩擦阻尼器试验加载数据 表 1

试验序号	加载位移 (mm)	加载频率 (Hz)	加载速度 (mm/s)	往复次数	加载波形
1001	25	0.1	10	3	三角波
1002	55	0.1	22	3	
1003	95	0.1	38	3	
2001	95	0.1	38	30	



图 3 新型变摩擦阻尼器试验现场

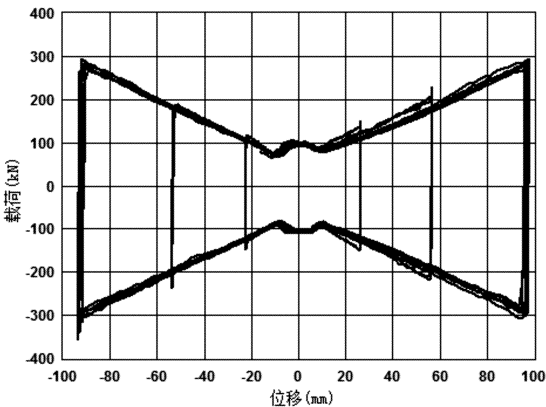


图 4 新型变摩擦阻尼器试验滞回曲线

3 新型变摩擦阻尼器的关键技术与设计、生产注意事项

3.1 新型变摩擦阻尼器的关键技术

从行业需求与标准要求来看,变摩擦阻尼器的关键指标大致包括:1)设计使用年限为30年;2)疲劳试验滞回次数为30圈;3)滞回曲线饱满;4)摩擦力大小可以定制;5)产品性能一致性。

3.2 产品设计生产注意事项

(1)设计使用年限30年

产品为了能够满足设计寿命30年的要求,变摩擦阻尼器各关键零部件均需要满足正常工作30年的要求,从该阻尼器构件的组成来看,其摩擦副尤为重要。目前的摩擦副由金属耐磨滑动摩擦环与高摩擦系数钢材、低摩擦系数钢材组成,其稳定性较好,可以满足设计要求。作为保障变摩擦阻尼器寿命和工作预紧力的金属耐磨滑动摩擦环与高摩擦系数钢材、低摩擦系数钢材的过盈配合情况与内部结构,各生产厂家对此披露的信息资料不多。对于高腐蚀工作环境,还需要考虑外露金属零件的表面防腐处理。

(2)疲劳试验循环次数30圈

该项关键指标是对变摩擦阻尼器性能的一个综合全面考验,评判了变摩擦阻尼器因摩擦产生的温度升高、磨损、润滑性能变化等引起的综合性能的变化是否在可控范围内。有不少阻尼器厂家的产品在疲劳试验过程中发生滞回曲线发散、不一致的现象,主要是温度升高、磨损、润滑性能变化等因素引起的变化未可控导致的。

(3)滞回曲线成蝴蝶型

滞回曲线形状与变摩擦阻尼器使用的摩擦副的摩擦系数有关系,摩擦副中摩擦运动的面积变化产生蝴蝶型滞回曲线的刚度,该刚度大小由摩擦副材料决定。刚度越大则变摩擦阻尼器小震少耗能,大震多耗能的性能体现越明显。

(4)摩擦力大小可以定制

通过调整不同的摩擦副材料,提供不同的摩擦系数;通过设计不同的工作摩擦面积来调整摩擦力;作为影响变摩擦阻尼器力学性能的主要参数,摩擦副材料和摩擦面积的可调实现了变摩擦阻尼器摩擦力大

小的可调和可定制,最终实现适应不同的建筑减振(震)需求。

(5)产品性能一致性

目前摩擦阻尼器在国内应用尚不多,产品性能抽检需要得到严格的贯彻来保证产品性能的一致性。同时,需要阻尼器生产厂家具备检测手段和测试分析能力。

4 结语

通过以上讨论分析可知,经过几十年研发、应用,已经可以实现结构设计与分析,产品性能优化,产品参数可定制。另外,它具有自适应能力,能适应动力作用的不确定性,对大震、中震、小震和风振都具有很好的减振效果;与被动摩擦阻尼器相比,本文提出的半主动摩擦阻尼器可以显著改善阻尼器的减震效果^[7,8]等优势。同时国内摩擦型阻尼器生产厂家对阻尼器设计理念、耗能机理、关键点的认识已经达到国外先进水平。在基础分析与底层理论试验尚需开展一系列工作。

新型变摩擦阻尼器可以实现小震少耗能、大震多耗能的功能,使其在小震或强风即可发挥耗能作用,从而保护结构安全的新型变摩擦力阻尼器,该产品技术水平领先国内外相关产品。

参 考 文 献

- [1] 史春芳,徐赵东,卢立恒.摩擦阻尼器在工程结构中的研究与应用[J].工程建设与设计,2007(9):37-41.
- [2] 王茜茜,张洵安,任绍章,等.一种新型半主动摩擦阻尼器的耗能性能研究[J].西北工业大学学报,2010,28(3):442-447.
- [3] JG/T 209—2012 建筑消能阻尼器[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [4] JGJ 297—2013 建筑消能减振技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [5] 李华,张忠恩,汤二枚.一种新型金属变摩擦耗能器的研发与应用[J].防灾减灾工程学报,2012(4).
- [6] 彭凌云.向心式摩擦耗能器的理论分析与应用研究[D].北京:北京工业大学,2004.
- [7] 瞿伟廉,陈朝晖,徐幼麟.被动及半主动摩擦阻尼器对合肥翡翠电视塔地震反应的控制[J].地震工程与工程振动,2000,20(2):101-105.