

橡胶型摩擦阻尼器的性能研究

曾传旺,袁维娜,黄兆明,李学芬,肖世勇,张远喜*

(震安科技股份有限公司 云南省工程结构减隔震应用工程研究中心,云南昆明 650041)

摘要:研究橡胶层厚度、螺栓转矩对橡胶型摩擦阻尼器力学性能和耐疲劳性能的影响。结果表明:随着橡胶层厚度的减小,橡胶型摩擦阻尼器的起滑位移、起滑阻尼力和摩擦负荷减小;随着螺栓转矩的增大,橡胶型摩擦阻尼器的起滑位移变化不大,起滑阻尼力和摩擦负荷先增大后减小,当螺栓转矩为400 N·m时,起滑阻尼力和摩擦负荷最大;橡胶型摩擦阻尼器的疲劳试验前后摩擦负荷-滑动位移滞回曲线饱满,耐疲劳性能优异,具有良好的耗能能力。

关键词:橡胶型摩擦阻尼器;力学性能;耐疲劳性能;橡胶层厚度;螺栓转矩;耗能能力

中图分类号:TQ336.4⁺²

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2020)01-0052-05

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2020.01.0052



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

摩擦阻尼器是一种耗能装置,其耗能能力强,性能受负荷和频率的影响小,且构造简单、取材容易、造价低廉,具有很好的应用前景,特别是在抗近断层和中高层结构地震方面具有独特优势。摩擦阻尼器对结构元件进行振动控制的机理为:阻尼器在主要结构元件屈服前的预定负荷下产生滑移或变形,依靠摩擦或阻尼耗散地震能量,同时由于结构元件变形后自振周期延长,减小了地震能量输入,从而达到降低元件对地震反应的目的^[1]。

摩擦阻尼器可采用不同材料和摩擦介质通过不同机械组合方式组成,它们减震的基本机制是一致的,即由结构元件和摩擦阻尼器摩擦片在一定预紧力下组成一个能够产生滑动摩擦的构成,利用滑动摩擦做功耗能,对结构元件起减震作用^[2]。其实质上是机械运动转化为分子运动,将机械能转化为热能,并遵守能量守恒定律^[3-6]。摩擦阻尼器中产生的接触摩擦基本上遵守17世纪库伦提出的摩擦定律:

$$F = \mu W \quad (1)$$

式中, F 为摩擦力, μ 为摩擦系数, W 为正压力。

公式(1)表明,接触摩擦力与所加负荷成正比,与接触表面积无关。然而橡胶的摩擦特性较

为特殊,因其具有内摩擦,使得接触摩擦力与接触压力呈非线性关系^[7],因此橡胶摩擦遵循如下定律:

$$F = kA_T \quad (2)$$

式中, k 为与滑动速度、温度和摩擦表面有关的常数, A_T 为真实接触面积。

由上述两个定律可知,橡胶的摩擦既有滑动摩擦又有内摩擦。橡胶型摩擦阻尼器的机理与普通摩擦阻尼器不同,且国内外对其研究和运用较少,因此橡胶型摩擦阻尼器的研究具有新颖性和实用价值。

橡胶型摩擦阻尼器结构如图1所示。其由上下摩擦压片、橡胶层(橡胶摩擦材料)、摩擦钢板和紧固螺栓构成。摩擦压片和橡胶层通过硫化粘合,阻尼器摩擦力通过螺栓转矩进行调节。当地震来临时,摩擦钢板与橡胶层产生滑动,往复运动,消耗地震能量^[8-9]。

本工作研究橡胶层厚度、螺栓转矩对橡胶型

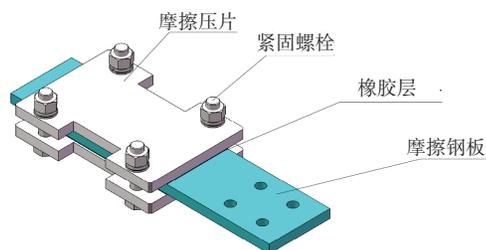


图1 橡胶型摩擦阻尼器的结构示意图

作者简介:曾传旺(1990—),男,云南宣威人,震安科技股份有限公司工程师,学士,主要从事建筑减震和隔震产品的研发工作。

*通信联系人(840456097@qq.com)

摩擦阻尼器力学性能和耐疲劳性能的影响。

1 实验

1.1 主要原材料

丁腈橡胶(NBR), 牌号1052, 镇江南帝化工有限公司产品; 炭黑N330, 中昊黑元化工研究设计院有限公司产品; 酚醛树脂, 武汉径河化工有限公司产品; 增塑剂TP-90B, 沈阳东方昊炅化工有限公司产品。

1.2 配方

试验配方: NBR 100, 炭黑N330 45, 氧化锌 10, 硬脂酸 2, 酚醛树脂 15, 增塑剂TP-90B 5, 防老剂 3, 硫黄 2, 促进剂 2.5。

1.3 主要设备和仪器

S(X)K-160A型两辊开炼机, 上海轻工机械技术研究所产品; ZWL-III型无转子硫化仪, 江都市道纯试验机械厂产品; XLB-D800×800型500 t平板硫化机, 南通市新科橡塑机械有限公司产品; TS-2000型电子万能拉力试验机, 中国台湾皓中科技股份有限公司产品; 1500 kN拟动力伺服试验机, 英国Servotest公司产品。

1.4 橡胶层胶料混炼和产品制备

(1) 胶料混炼。调整开炼机辊距, 加入生胶包辊, 依次加入酚醛树脂、氧化锌和硬脂酸、防老剂、炭黑、增塑剂以及硫化体系, 薄通6次, 下片, 停放8 h待用。

(2) 摩擦压片/橡胶层。将20 mm的Q235B热轧板加工为相应尺寸, 双面喷砂, 直至表面氧化膜脱落, 金属表面呈银色麻面状, 然后进行脱脂处理, 洗净金属表面的油污和灰尘, 干燥完毕后单面涂刷热硫化型开姆洛克胶粘剂, 最后将钢板与混炼胶片装模硫化, 硫化条件为130 °C/15 MPa×0.5 h。

(3) 产品组装。先将螺栓穿入一侧摩擦压片/橡胶层通孔中, 再将摩擦钢板放入摩擦压片/橡胶层上, 之后装上另一侧摩擦压片/橡胶层, 依次套上平垫、螺母。校准摩擦压片/橡胶层, 并校核摩擦钢板和摩擦压片/橡胶层垂直度, 预留45 mm滑动位移, 初拧螺栓转矩至终拧转矩的70%, 最后进行终拧。

1.5 性能测试

橡胶型摩擦阻尼器的力学性能采用拟动力伺

服试验机按照JGJ 297—2013《建筑消能减震技术规程》进行测试。

其他性能均按相应国家标准进行测试。

2 结果与讨论

2.1 橡胶层胶料的物理性能

根据大量抗震建筑工程运用需求, 摩擦阻尼器一般要求为小震耗能, 起滑位移小于2 mm, 起滑阻力和摩擦负荷相差不能过大。综合考虑, 橡胶层胶料的邵尔A型硬度在75度左右为宜, 且应具有一定的耐磨性能和耐老化性能。

橡胶层胶料的物理性能如表1所示。

表1 橡胶层胶料的物理性能

项 目	中试	生产
邵尔A型硬度/度	75	76
100%定伸应力/MPa	3.5	3.2
300%定伸应力/MPa	13.5	13.6
拉伸强度/MPa	23	24
拉断伸长率/%	495	500
拉断永久变形/%	16	16
90°剥离强度/(kN·m ⁻¹)	8.2	8.5
低温脆性温度/°C	-30	-31
70 °C×196 h热老化后		
拉伸强度/MPa	25	25
拉断伸长率/%	463	480

由表1可知, 中试和生产橡胶层胶料的物理性能差异较小, 说明胶料性能稳定。

2.2 橡胶型摩擦阻尼器的力学性能

2.2.1 橡胶层厚度的影响

在螺栓转矩为200 N·m、频率为0.05 Hz的条件下, 橡胶层厚度对橡胶摩擦阻尼器力学性能的影响如图2—5和表2所示。

从图2—5可知, 随着橡胶层厚度的减小, 橡胶型摩擦阻尼器的摩擦负荷-滑动位移滞回曲线变得饱满, 耗能能力增强。

从表2可知: 相同转矩下, 橡胶层厚度越小, 橡胶型摩擦阻尼器的起滑位移越小, 这是橡胶层越薄, 剪切变形越小的缘故; 随着橡胶层厚度的减小, 橡胶型摩擦阻尼器的起滑阻力和摩擦负荷呈减小趋势, 分析认为, 橡胶层厚度对其内摩擦影响较大, 减小橡胶层厚度使其内摩擦减小。

2.2.2 螺栓转矩的影响

在橡胶层厚度为4 mm、频率为0.05 Hz条件

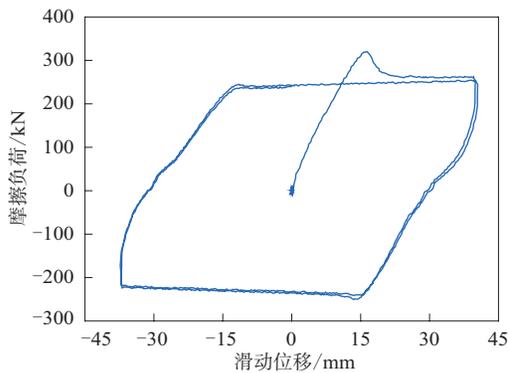


图2 16 mm橡胶层厚度橡胶型摩擦阻尼器的摩擦负荷-滑动位移滞回曲线

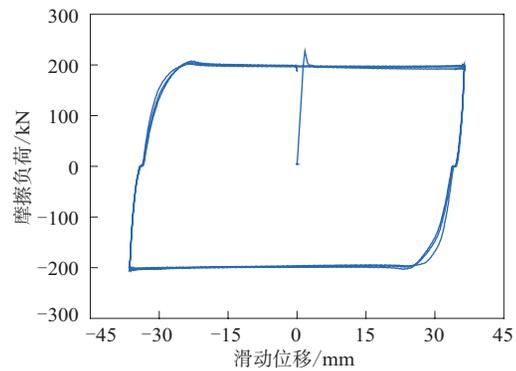


图5 4 mm橡胶层厚度橡胶型摩擦阻尼器的摩擦负荷-滑动位移滞回曲线

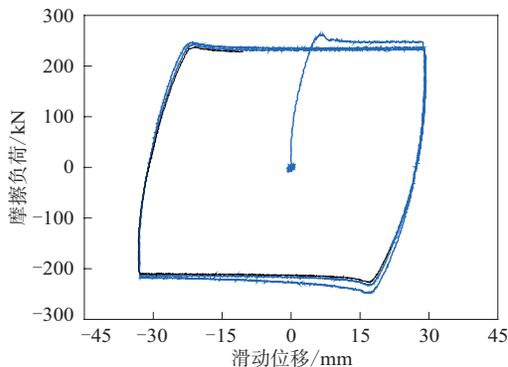


图3 12 mm橡胶层厚度橡胶型摩擦阻尼器的摩擦负荷-滑动位移滞回曲线

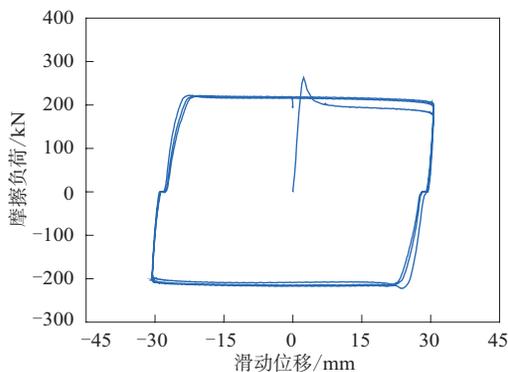


图4 8 mm橡胶层厚度橡胶型摩擦阻尼器的摩擦负荷-滑动位移滞回曲线

表2 不同橡胶层厚度的橡胶型摩擦阻尼器的力学参数

橡胶层厚度/ mm	起滑位移/ mm	起滑阻力/ kN	摩擦负荷/ kN
16	15.2	320.5	253.6
12	6.3	262.3	231.2
8	3.2	263.0	220.3
4	2.0	227.4	200.2

下,螺栓转矩对橡胶型摩擦阻尼器力学性能的影响如表3所示。

从表3可知:随着螺栓转矩的增大,橡胶型摩擦阻尼器的起滑位移变化不大;起滑阻力和摩擦负荷先增大,当螺栓转矩为400 N·m时,橡胶型摩擦阻尼器的起滑阻力和摩擦负载最大,其后减小,分析认为,螺栓转矩超过一定范围时,摩擦钢板变形、翘曲,使其与橡胶层接触减少,因此阻尼性能降低。

2.3 橡胶型摩擦阻尼器的耐疲劳性能

在橡胶层厚度为4 mm、频率为0.05 Hz条件下,橡胶型摩擦阻尼器进行往复30次摩擦负荷-滑动位移疲劳试验,结果如图6和表4所示。

由表4可知,与第1—30次疲劳试验滑动位移为零的平均摩擦负荷相比,第30次疲劳试验的摩擦负荷损耗率绝对值最大,为7.8%。从图6和表4

表3 不同螺栓转矩的橡胶型摩擦阻尼器的力学参数

项 目	螺栓转矩/(N·m)								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
起滑位移/mm	1.8	1.8	1.9	2.0	2.1	1.9	2.0	2.2	2.1
起滑阻力/kN	150.2	180.3	210.6	230.2	286.2	300.1	320.4	290.5	280.3
摩擦负荷/kN	139.9	160.6	191.9	213.2	242.6	268.2	287.9	254.2	250.4

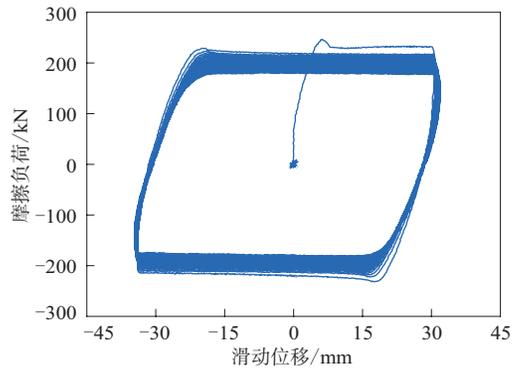


图6 橡胶型摩擦阻尼器的疲劳试验的摩擦负荷-滑动位移滞回曲线

表4 橡胶型摩擦阻尼器的疲劳试验的摩擦负荷损耗率

试验序号	摩擦负荷/kN	摩擦负荷损耗率/%
第2次	221.5	+6.7
第10次	219.8	+5.9
第20次	201.5	-2.9
第30次	191.3	-7.8

注:第1—30次滑动位移为零时的平均摩擦负荷为207.6 kN。可以得出,该橡胶型摩擦阻尼器的疲劳试验摩擦负荷-滑动位移滞回曲线饱满,疲劳摩擦负荷损耗率较小,耐疲劳性能优异,满足JGJ 297—2013要求。

图7示出了疲劳试验后摩擦阻尼器的橡胶层摩擦面形态。

从图7可以看出,疲劳试验后橡胶层表面出现条状花纹,这可能是由滑动摩擦带入部分滚动摩



图7 疲劳试验后橡胶型摩擦阻尼器的橡胶层摩擦面形态照片

擦造成。

3 结论

(1) 橡胶层厚度对橡胶型摩擦阻尼器的力学性能影响较大,随着橡胶层厚度的减小,橡胶型摩擦阻尼器的起滑位移、起滑阻力和摩擦负荷减小,耗能能力增强。

(2) 随着螺栓转矩的增大,橡胶型摩擦阻尼器的起滑位移变化不大,起滑阻力和摩擦负荷先增大后减小,当螺栓转矩为400 N·m时,起滑阻力和摩擦负荷最大。

(3) 橡胶型摩擦阻尼器的疲劳试验前后摩擦负荷-滑动位移滞回曲线饱满,耐疲劳性能优异,具有良好的耗能能力。

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] 汤统壁,周云,杨波. 摩擦耗能器的类型与性能及其在实际工程中的应用[J]. 世界地震工程,2008,24(1):47-55.
- [3] 周云. 摩擦耗能减震结构设计[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2006.
- [4] 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):459-462.
- [5] 日本隔震结构协会. 被动减震结构设计·施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [6] 曾宪奎,冯翰林,鲍丽苹,等. 载荷因素对橡胶减震器动态性能影响的研究[J]. 橡胶工业,2018,65(9):1034-1038.
- [7] 王成焱,姚振强,陈铭. 汽车摩擦学[M]. 上海:上海交通大学出版社,2002.
- [8] 费维水,潘文,叶燎原,等. 摩擦耗能机构及其竖向紧固力[J]. 昆明理工大学学报:理工版,2002,27(5):109-112.
- [9] 赵川,潘文,叶燎原,等. 摩擦耗能支撑装置的构造及安装[J]. 建筑结构,2003(8):47-48.

收稿日期:2019-08-16

Property of Rubber Friction Damper

ZENG Chuanwang, YUAN Weina, HUANG Zhaoming, LI Xuefen, XIAO Shiyong, ZHANG Yuanxi

(Quakesafe Technologies Co., Ltd, Kunming 650041, China)

Abstract: The effects of the rubber layer thickness and bolt torque on the mechanical properties and fatigue resistance of the rubber friction damper were investigated. The results showed that, the initial displacement, initial damping force and friction load of the rubber friction damper decreased with the decrease

of the rubber layer thickness. With the increase of the bolt torque, the initial displacement of the rubber friction damper changed little, the initial damping force and friction load increased first and then decreased. When the bolt torque was 400 N · m, the initial damping force and friction load were at the maximum. Before and after fatigue test, the friction load-sliding displacement hysteresis curves of the rubber friction damper showed that the damper had good energy dissipation capacity, indicating excellent fatigue resistance.

Key words: rubber friction damper; mechanical property; fatigue resistance; rubber layer thickness; bolt torque; energy dissipation capacity

TBC推出新Delta和Eldorado全地形轮胎
美国《现代轮胎经销商》(www.modertiredealer.com)2019年11月5日报道如下。

TBC品牌公司扩展其核心品牌项目,增加了Delta Trailcutter AT4S和Eldorado Sport Fury AT4S轮胎(分别见图1和2)。



图1 Delta Trailcutter AT4S轮胎



图2 Eldorado Sport Fury AT4S轮胎

这两款全地形系列产品满足美国轮胎生产商协会(USTMA)和加拿大橡胶协会(RAC)的苛刻雪地使用要求,具有三峰山雪花(3PMSF)标志,为SUV, CUV和轻型卡车提供全地形最佳牵引性能。

这两款轮胎的胎面均采用曲折花纹沟、连续的中心花纹块和超深、变角度刀槽花纹,既具有卓越的操纵性能,又可保持驾乘舒适性。

这两款全天候牵引轮胎现有40个公制和LT规

格,轮辋直径范围为381~508 mm(15~20英寸)。

(吴秀兰摘译 赵敏校)

Nexen推出Roadian GTX豪华旅行轮胎 美国《现代轮胎经销商》(www.modertiredealer.com)2019年11月5日报道如下。

Nexen轮胎美国公司在2019年于拉斯维加斯举办的特种设备市场协会(SEMA)展上推出Roadian GTX豪华旅行轮胎(见图1)。



图1 Roadian GTX轮胎

Roadian GTX轮胎适用于小型CUV和中型SUV,具有优异的耐久性、驾乘舒适性和经济性,提供112 654 km(70 000英里)担保及36个月道路救援服务,现有规格超过34个,覆盖目前市场最流行CUV/SUV原配轮胎规格的90%以上。

像Roadian MTX Xtreme越野轮胎等Nexen的许多其他轮胎一样,Roadian GTX轮胎提供45 d或805 km(500英里)无忧退款试驾担保。

Roadian GTX豪华全天候轮胎的概况为:680 AA(UTQG)胎面磨损等级;现有规格超过34个;轮辋直径范围为432~559 mm(17~22英寸);现有H, V和W速度等级;112 654 km(70 000英里)担保;36个月道路救援服务。

(吴秀兰摘译 赵敏校)