

桥梁黏滞阻尼器在役性能的测试研究

徐校春, 朱唯丰

(上海材料研究所, 上海市 200437)

摘要: 对桥梁黏滞阻尼器的重要性及其在役性能检测的必要性进行了阐述;又以马鞍山长江公路大桥黏滞阻尼器的在役性能测试为例,对桥梁阻尼器整个现场测试方法和流程作了详细的介绍,并对测试结果进行了分析和总结。

关键词: 桥梁;在役;黏滞阻尼器;性能测试;马鞍山长江公路大桥

中图分类号: U446

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)09-0186-04

0 引言

我国位于世界上两大地震带——环太平洋地震带和亚欧地震带之间,是全球大陆区域中最活跃的地震区之一。作为一个地震多发的国家,大面积的国土处于强震频发的地带,因此抗震是我国工程领域非常重要的问题。

桥梁是我国交通系统中的重要组成部分,随着我国高速公路网的建设,跨江海桥梁建设也全面展开。在过去的40年中,我国共新建公路桥梁51万多座,特别是大跨径桥梁的不断突破,对于桥梁的安全防护已经是关系国计民生的重要问题。如果因地震灾害造成大量桥梁结构的破坏,不仅会带来桥梁倒塌造成的损失,而且会因切断了震区生命线,次生灾害将十分严重,从而导致更加巨大的经济损失和人员伤亡。因此,减振抗震技术在桥梁工程的应用已经是必不可少的。其中,黏滞阻尼器以其良好的抗震性能及适用性大量应用于大跨度桥梁上。第12届美国地震工程大会(UTC-7)于2022年6月28日至7月1日在美国盐湖城举办,会议主题为“重新构想风险与韧性”(Reimagining Risk and Resilience),集中体现过去四年世界各国学者在地震工程领域的最新研究成果,确定“韧性”是抗震设计理念今后的发展方向^[1]。而黏滞阻尼器从一开始就是在“韧性”的抗震设计发展道路上,因此,我们可以预见,黏滞阻尼器在桥梁上的应用将越来越广泛。

1 桥梁黏滞阻尼器在役性能检测的必要性

桥梁黏滞阻尼器的设计使用寿命一般为50年至60年,但是国内目前已知的第一座使用黏滞阻尼器的桥梁是重庆鹅公岩大桥,于2000年年底建成通车,也就是说国内实际使用黏滞阻尼器的时间也就刚20年出头。作为一种新型产品,影响其工作性能变化的因素有很多,不同的设计结构影响性能的因素也是不同的。但是最主要的影响因素有两个,一个是阻尼介质,另外一个就是密封系统。目前国内的黏滞阻尼器的生产厂家鱼龙混杂,使用的阻尼介质也是五花八门,密封结构也各有不同。因此,没有很好的办法直接来评判各种阻尼介质和密封结构使用效果的优劣,我们只能采用定期检测的方法来查看阻尼器性能是否稳定。

目前黏滞阻尼器在桥梁应用过程中,只有在出厂前进行过专业的性能检测。由于黏滞阻尼器安装到桥梁上后,会长期处于工作状态,在这过程中黏滞阻尼器性能是否有变化无法直接被维护人员了解。黏滞阻尼器在安装完成后,基本就是和桥梁“共存亡”,期间阻尼器是否还在起作用没有一个客观判定。虽然国内从2000年第一个黏滞阻尼器安装到桥梁上,至今为止,国内在桥梁上已安装了成千上百个黏滞阻尼器,但是真正还能起作用的黏滞阻尼器还有多少个还是个未知数。由于地震的发生是不可预见的,我们只能在安装完阻尼器后被动地“等待”它的到来。在此之前,我们需要保证桥梁安装的黏滞阻尼器是正常工作的,因此,在役黏滞阻尼器在工作五至十年后再次进行性能检测是非常必要的。

收稿日期: 2022-09-16

作者简介: 徐校春(1980—),男,工学学士,工程师,从事减振技术的研发工作。

2 桥梁黏滞阻尼器在役性能的现场检测

2.1 现场检测前期准备

一般在桥梁现场检测时阻尼力的采集都是采用电阻应变计进行采集。而电阻应变计采集的都是相对值,因此我们必须同时采集两台阻尼器的应变值,并将其分为 2 组,一组为检测组(检测组所在阻尼器定为 1 号阻尼器),一组为补偿组(补偿组所在阻尼器定为 2 号阻尼器)。下面以马鞍山长江公路大桥主桥的纵向黏滞阻尼器在役性能测试为例,如图 1、图 2 所示。

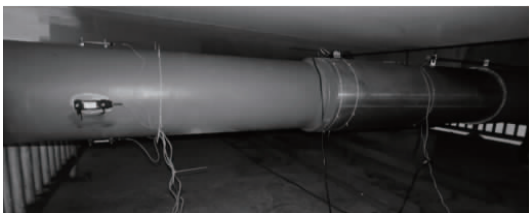


图 1 黏滞阻尼器现场检测之实景

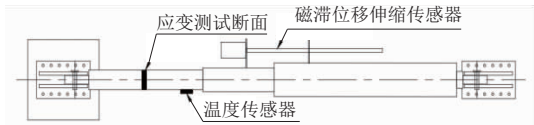


图 2 黏滞阻尼器现场检测示意图

在同一主塔上选取两台对称布置的黏滞阻尼器(1 号和 2 号阻尼器),先将两台阻尼器同一端的销轴取下,使这两台阻尼器处于自由状态。分别在两台阻尼器接长套(接长套为传力部件,不是工作腔,在上面布置应变计不会影响阻尼器的性能)的四个方向布置四个应变计,如图 3、图 4 所示。

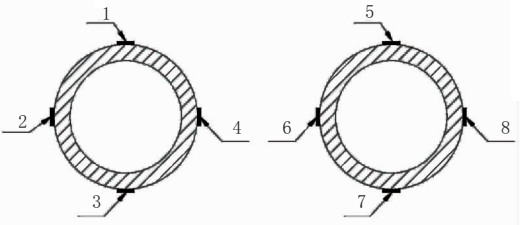


图 3 应变计布置图

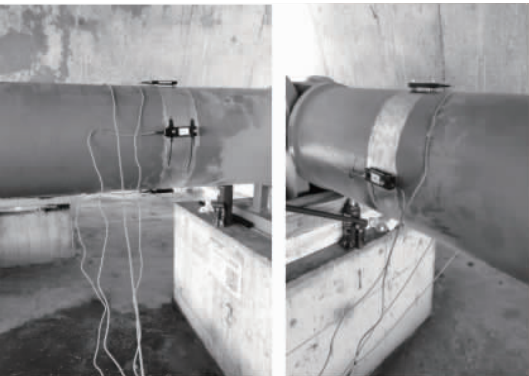


图 4 检测组及参照组应变计之实景

其中,应变值和阻尼力的关系,我们可以通过以下计算得到:

假设:纵向黏滞阻尼器接长套的外径为 D, mm ;内径为 d, mm ;截面积为 S, mm^2 ;其材料的弹性模量为 E, MPa ;所受的阻尼力为 F, N ;应力为 σ, MPa ;应变为 ε 。

通过四个应变计采集的应变分别为 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$,可计算出平均应变值:

$$\varepsilon_{\text{平均}} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4}$$

那么,阻尼器接长套的平均应力值为:

$$\sigma_{\text{平均}} = E \times \varepsilon_{\text{平均}}$$

而接长套的截面积 S 可通过下式计算:

$$S = \pi \times \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right]$$

从而计算出阻尼器接长套受到的阻尼力:

$$F = \sigma_{\text{平均}} \times S$$

同时在检测组所在阻尼器(1 号阻尼器)上加载位移传感器和温度传感器(见图 2),以便采集得到位移值和温度值,方便对检测阻尼器进行后期数据分析和整理。

2.2 现场检测过程

选取拔出销轴时记录下来的温度,作为开始检测的起始温度。开始检测前,记录下当前 1 号、2 号阻尼器上八个应变计的数据作为应变计的初始基准值(如图 5 所示),并将仪器设备清零。

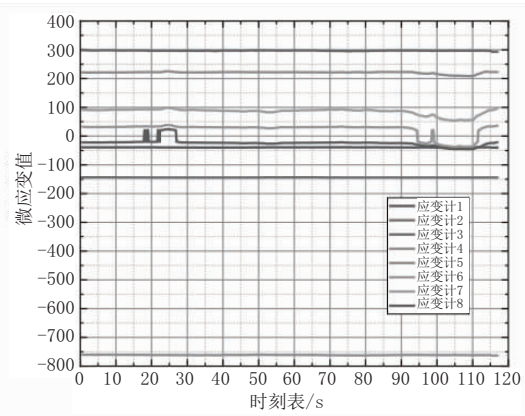


图 5 应变计初始值图示

插入 1 号阻尼器销轴,使 1 号阻尼器处于工作状态,并开始使用采集仪同时采集 1 号、2 号阻尼器的应变值。先进行半个小时的测试,判断采集数据是否符合预期,如果有明显错误,及时调整。然后开始正式测试并采集数据,采集数据时长必须大于 24 h,如图 6、图 7 所示。

从上述两个图我们可以看到,1 号阻尼器表面的

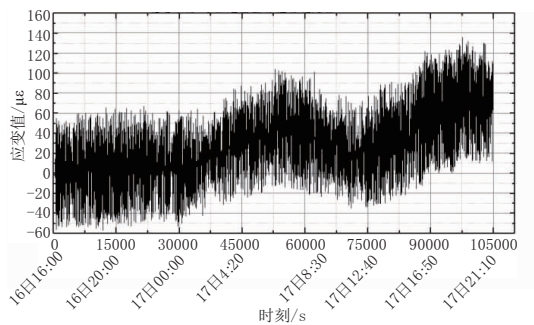


图6 1号阻尼器(检测组)平均应变值的变化趋势图示

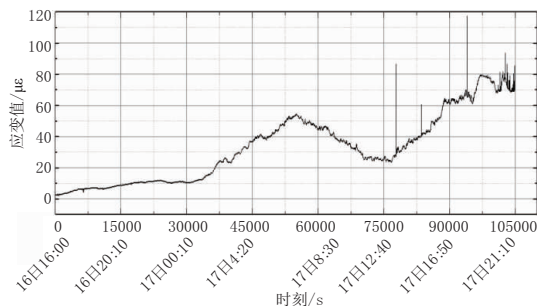


图7 2号阻尼器(补偿组)平均应变值的变化趋势图示

应变计所测平均应变值基准线的变化趋势和2号阻尼器表面应变计所测的应变值(补偿组)变化趋势相同,使用1号阻尼器所测的平均应变值与2号阻尼器所测的平均应变值之差即可将温度等环境因素所带来的相关误差消除,得到1号阻尼器的真实应变值的测试结果,如图8所示。

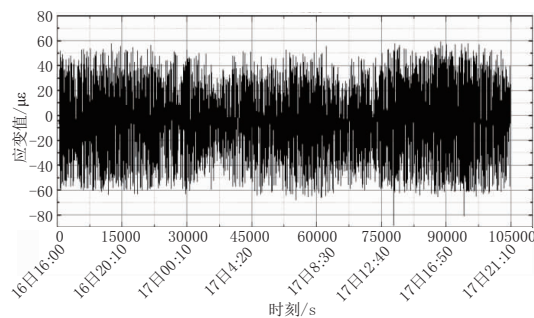


图8 1号阻尼器(检测组)真实应变值的变化趋势图示

通过图8中的应变值的变化,计算出1号阻尼器真实阻尼力的变化趋势,如图9所示。

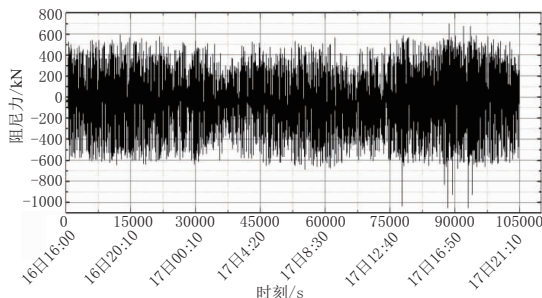


图9 1号阻尼器(检测组)真实阻尼力的变化趋势图示

在记录上述应变值的变化趋势的同时,记录下相同时间段1号阻尼器的位移变化趋势和表面温度变化趋势,如图10、图11所示。

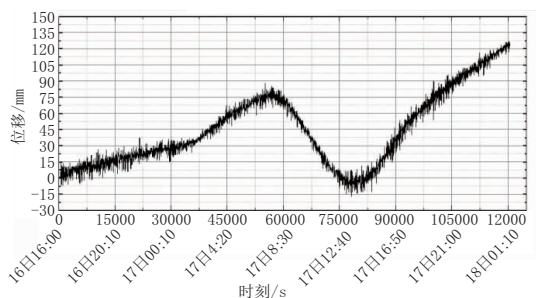


图10 1号阻尼器的位移变化趋势曲线图

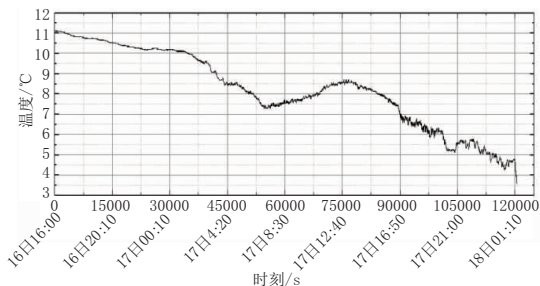


图11 1号阻尼器的表面温度变化趋势曲线图

2.3 检测结果分析

通过上述的测试,我们得到了1号阻尼器的位移变化趋势和阻尼力的变化趋势,截取一段同一起始时刻的位移时程曲线和阻尼力时程曲线(取1 000 s),分析这段时间阻尼器的力学性能,截取的分析数据如图12、图13所示。

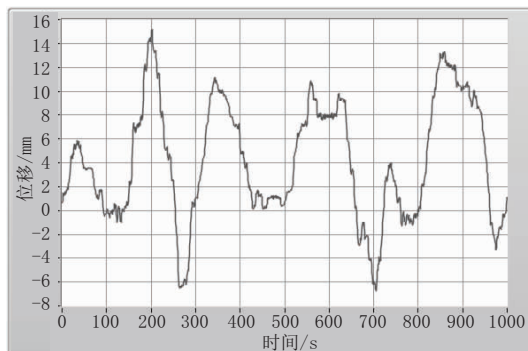


图12 1号阻尼器1 000 s的位移时程曲线图

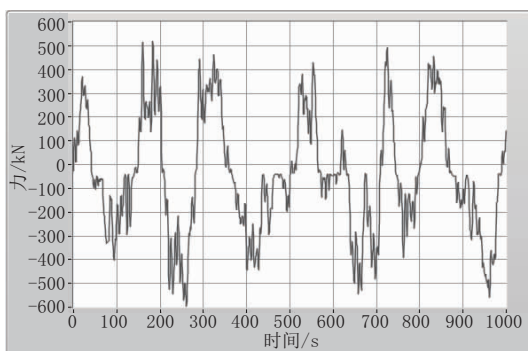


图13 1号阻尼器1 000 s的阻尼力时程曲线图

从图12、图13,我们可以看出,阻尼器位移明显呈周期性运动,由于马鞍山长江公路大桥的黏滞阻尼器是速度型阻尼器,其力学方程为:,因此要分析

阻尼器的力学性能,必须得到阻尼器的运动速度。阻尼器的运动速度由两种方式得到:一种是根据位移进行微分得到;另一种是将位移进行傅里叶变换,得到位移的各阶组成进行计算得到。由于这次采集位移和应变不是同步采集,微分得到的速度无法找到相对应时刻的实测力值,因此我们采用傅里叶变换。利用傅里叶变换得到对应频谱图并分析一阶模态下阻尼器理论力与实测力误差,对应频谱图如图 14、图 15 所示。

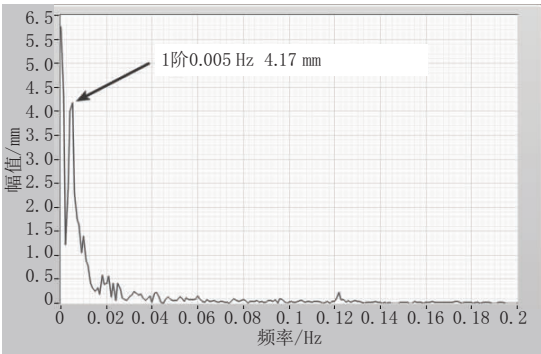


图 14 1 号阻尼器 1 000 s 位移频谱图

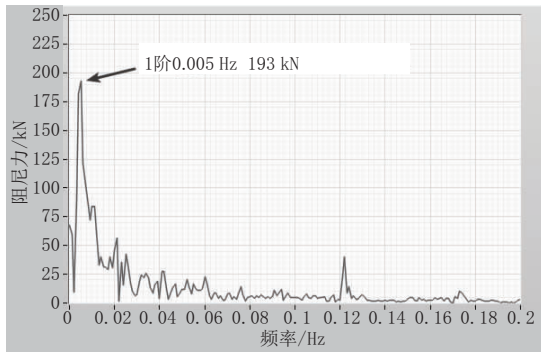


图 15 1 号阻尼器 1 000 s 阻尼力频谱图

1 阶模态下计算理论力如表 1 所列。

表 1 1 号阻尼器 1 阶模态下的速度和理论力值一览表

C 值	指数	频率	试验位移	试验速度	理论阻尼力
$C/[kN \cdot (m \cdot s^{-1})]$	ζ	f/Hz	A/mm	$v/(mm \cdot s^{-1})$	F/kN
2 500	0.3	0.005	4.17	0.131	171.1

根据阻尼力频谱图可得,一阶模态下实测阻尼力往复值约为 $\pm 193\text{ kN}$ (见图 15),这两个数值非常

接近,误差小于 15%,满足阻尼器力学性能要求。

如果实际采集时,我们能够同时采集到位移和应变,通过将位移微分得到速度,并同时得到对应的实际阻尼力,对于我们分析阻尼器的性能将更加有利。

3 结 论

(1)按上述测试方法进行测试,排除了温度、环境等因素的影响,测试的数据可靠准确,且用时短,相对来说工作流程也比较简洁,是一种值得推荐的桥梁黏滞阻尼器在役性能的测试方法。

(2)黏滞阻尼器作为桥梁百年工程的保护装置,其质量关系着桥梁的生命,对于不可预见的地震,我们要随时保证黏滞阻尼器的工作状态是正常的,因此定期对桥梁在役黏滞阻尼器进行检测是非常必要的。

(3)根据上述的测试数据和分析结果,马鞍山长江公路大桥上安装的黏滞阻尼器力学性能检测结果与理论值非常接近,表明上海材料研究所生产的马鞍山长江公路大桥黏滞阻尼器经过近十年的运行后,还处于正常工作状态,其质量满足设计要求,表现优异。

(4)从 2000 年第一台黏滞阻尼器安装到国内桥梁上开始,黏滞阻尼器在国内桥梁的应用历史已经有 20 余年,但是鲜有进行再检测的实例,马鞍山长江公路大桥阻尼器进行的现场实测是黏滞阻尼器发展的又一个里程碑,表明国产黏滞阻尼器不仅在性能上已经达到了世界一流水平,质量上也达到了世界一流水平。

参考文献:

[1] 周云,李定斌.从 12 届美国地震工程会议看:消能减震技术研究进展与发展趋势.工程抗震与加固改造,2022-07-05(网络首发日期).
[2] 中铁桥研科技有限公司.马鞍山长江公路大桥纵向阻尼器现场检测报告.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com