

3 000 kN 电液伺服阻尼器试验系统组成与应用

蒋华戈¹ 闫维明¹ 李 力¹ 李振宝^{1*} 李洪泉¹ 黄浩华¹ 刘 杰²

(1. 北京工业大学工程抗震与结构诊治北京市重点实验室, 北京 100022; 2. 北京富力通达科技有限公司, 北京 100085)

摘 要 本文对 3 000 kN 电液伺服控制阻尼器试验系统的组成、特点、功能及其应用实例进行了简要介绍, 并列举了在此系统上所进行的液体粘滞阻尼器、机械摩擦型阻尼器、支撑式金属屈服阻尼器、复合式金属阻尼器性能试验。

关键词 电液伺服, 阻尼器, 蓄能器, 伺服阀, 液压源

Composing and Application of The 3 000 kN Electric-hydraulic Servo Damper Testing System

JIANG Huage YAN Weiming LI li LI Zhenbao* LI Hongquan HUANG haohua LIU Jie

(1. Beijing University of Technology Key Laboratory of Earthquake Engineering and Structural Retrofit, Beijing 100022, China;
2. Beijing Fuli Tongda Science and Technology Limited Corporation, Beijing 100085, China)

Abstract This thesis has explained about composing, characteristic, function and application of the 3000 kN electric-hydraulic servo damper testing system. It has also particularized testing of hydraulic-sticky damper, mechanical-frictional damper, supporting metallic bend damper and multiple metallic damper.

Keywords electric-hydraulic servo, damper, accumulator, servovalves, hydraulic power supply

1 引 言

阻尼器主要是一种基于耗能的减震控制装置, 它能够吸收结构在地震力作用下的能量以确保结构不被破坏。不同介质和结构的阻尼器耗能性能也不同。随着国内高层与超高层建筑、大跨空间结构与大跨桥梁结构的蓬勃建设, 大吨位的阻尼器的应用范围也随之扩大。为了对各种材料大吨位阻尼器性能进行测试就必须研究相应的大出力、大速度试验系统。随着上世纪 50 年代电液伺服阀在美国的发明, 从美国 MTS 公司最早研制出第一台电液伺服试验机至今, 世界各国公司如英国 Instron 公司、德国 Schenck 公司、日本岛津公司等知名公司均已研制出成熟的电液伺服控制万能材料试验系统^[2]。我国在这方面在上世纪 70 年代起由一些公司建设了大量的电液伺服控制试验系统, 但由于造价成本和技术力量的局限, 针对

阻尼器性能进行测试的大出力, 大速度试验系统在国内建成并投入使用的仍然较少。有单位正在投入建设中。下面以 3 000 kN 电液伺服阻尼器试验系统为例, 简要介绍一下该系统的组成、特点及功能。系统全貌如图 1 所示。

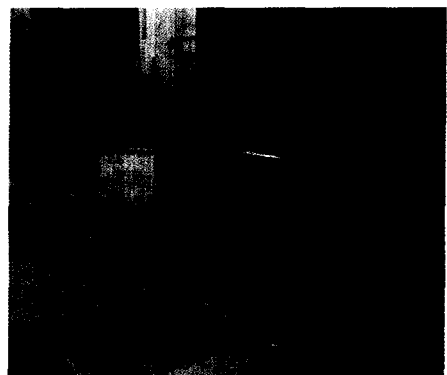


图 1 3 000 kN 电液伺服阻尼器试验系统
Fig. 1 3000kN Electric-hydraulic Servo Damper Testing System

收稿日期: 2010-10-30

* 联系作者, tangzhenyun0106@163.com

2 系统组成、技术指标及功能

北京工业大学建筑工程学院工程结构试验中心 3 000 kN 电液伺服阻尼器试验系统由液压部分(包括液压源、蓄能器组、伺服作动器、连接管路)、机械部分(主要是试验台架)、控制系统三部分组成。系统原理如图 2 所示。

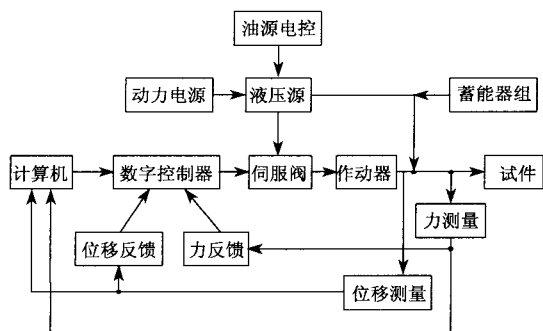


图 2 系统原理图

Fig. 2 The Figure of System Theory

1) 系统整体设计指标为:

- (1) 动出力: 3 000 kN;
- (2) 静出力: 4 500 kN;
- (3) 最大位移: ± 500 mm;
- (4) 最大速度: 40 cm/s;
- (5) 频率: 0 ~ 20 Hz;
- (6) 试件长度: 0.4 ~ 5 m;
- (7) 刚架变形: $\leq 1/1 500$ 。

2) 系统功能:

在系统指标范围内可以完成各种类型的阻尼器减震性能试验, 主要适用范围为以下几种:

- (1) 液体粘滞阻尼器性能试验;
- (2) 铅阻尼器性能试验;
- (3) 支座式金属屈服阻尼器性能试验;
- (4) 机械摩擦式阻尼器性能试验;
- (5) 磁流变阻尼器性能试验。

3 液压系统说明

根据设计指标, 为节省液压源空间和避免由于高流量长距离供油而导致管路过粗的材料浪费和压力损失, 液压源额定最大流量设计为 1 000 l/min, 而将蓄能器组设计为 4 000 l, 即通过蓄能器组压力的瞬间释放来提供作动器在正弦波运动下不足的流量。一般液压源液压泵的供油压强在

21 MPa ~ 31.5 MPa 之间, 本系统选取液压源供油压强 28 MPa, 作动器保证了伺服作动器能够达到 3 000 kN 的动出力。活塞有效工作面积为 0.1 607 m², 达到设计指标所需流量为 3 856.8 l/min, 根据 MOOG 公司提供的标准伺服阀频响特性和流量技术资料选取了 MOOG D665 伺服阀。

4 机械部分设计特点

试验台架的试件安装方式采用了较为先进的自封闭受力和自由位置夹紧方式, 其结构如图 3 所示。

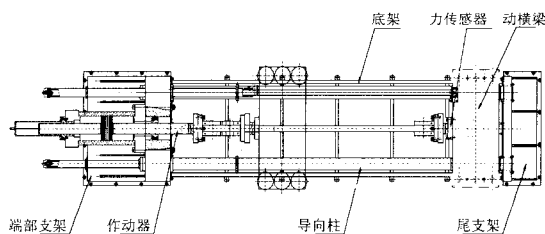


图 3 试验台架图

Fig. 3 The Figure of Testing Bed

作动器安装在端部支架上。横梁可沿导向柱滑动从而根据需要调节实验空间。阻尼器试件被安装在移动横梁和作动器中间。当试验台工作时, 可移动横梁在液压夹紧缸的压力作用下产生一定的变形, 从而使得横梁与导向柱产生接触, 依靠横梁与导向柱之间的接触摩擦力将横梁夹紧。这种夹紧方式比过去的分隔螺栓连接方式对试件长度的要求更为自由。只要试件长度小于作动器端头和移动横梁之间的最大净空, 就能方便的安装。同时由作动器推动阻尼器试件产生的水平反力由自封闭机架整体承受, 受力方式更为合理^[4]。

5 控制系统简要介绍

采用了目前世界上较为流行的数字 PID 控制技术, 取代了过去的模拟量控制方式。这使整个控制系统的可靠性提高, 控制精度提高, 操作灵活, 易于改变控制参数和控制策略。控制软件具有加载时程曲线和滞回曲线的实时显示功能, 并带有 16 通道数据采集和保存功能。当前阻尼器性能试验主要有两种加载控制方式, 一种是位移控制, 一种是力控制, 使用较多的为位移控制方式。

以典型的液体粘滞阻尼器为例,在位移控制下,设对阻尼器加载位移正弦波

$$S = S_0 \sin \omega t$$

则加载速度:

$$\begin{aligned} V &= (S)' \\ &= (S_0 \sin \omega t)' \\ &= S_0 \omega \cos(\omega t) \\ &= S_0 2\pi f \cos(\omega t) \end{aligned}$$

由此可以得到在不同加载位移和加载频率下的峰值加速度 $V_0 = S_0 2\pi f$ 。

其中 f 为阻尼器正弦加载频率,根据不同材料特点分级选定不同的加载位移和加载频率可以算出加载速度,这一点对研究速度型阻尼器如粘滞阻尼器在不同速度下的性能有很大的必要。根据采集到的位移和力的数值可以画出粘滞阻尼器的滞回耗能曲线从而通过分析耗能曲线的包围面积可以计算粘滞阻尼器所消耗的能量,面积越大说明耗能越好。

5 阻尼器试验系统的应用实例

5.1 液体粘滞阻尼器性能试验

图4中所示为实验室进行的液体粘滞阻尼器试验,根据阻尼器型号的不同,动出力范围在500 kN~1500 kN之间,加载位移振幅在±10 mm~±100 mm之间分级,加载频率在0.1 Hz~2 Hz之间分级。图5为根据数据保存文件画出的该阻尼器在位移±20 mm、频率0.6 Hz循环次数为60次时的滞回曲线^[1]。



照片4 液体粘滞阻尼器性能试验

Fig. 4 Hydraulic - Sticky Damper Testing

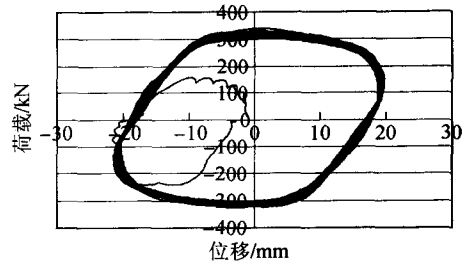
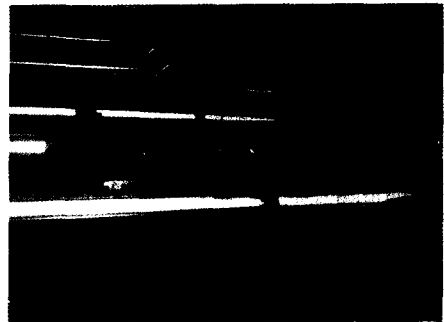


图5 液体粘滞阻尼器滞回曲线

Fig. 5 Hysteretic Curve of the Hydraulic - Sticky Damper

5.2 机械摩擦式阻尼器性能试验

图6中所示为在实验室进行的机械摩擦式阻尼器性能试验,根据阻尼器设计出力范围在500 kN~1500 kN之间,加载位移振幅在±10 mm~±100 mm之间分级,加载频率在0.1 Hz~2 Hz之间分级。图7为根据数据保存文件画出的该阻尼器在位移±25 mm、频率0.1 Hz循环次数为5次时的滞回曲线^[3]。



照片6 机械摩擦式阻尼器性能试验

Fig. 6 Mechanical - Frictional Damper Testing

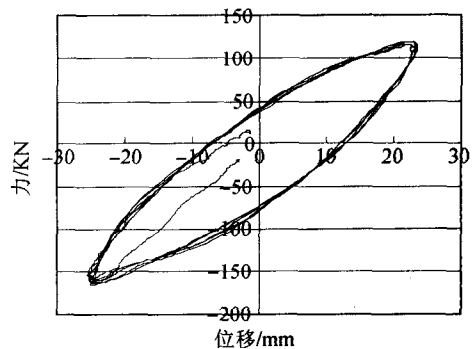


图7 机械摩擦式阻尼器滞回曲线

Fig. 7 Hysteretic Curve of the Mechanical - Frictional Damper

5.3 支撑式金属屈服阻尼器性能试验

图8中所示为在实验室进行的暗支撑阻尼器

性能试验,根据阻尼器设计出力范围在500 kN ~2500 kN 之间,加载位移振幅在±5 mm ~ ±100 mm 之间分级,加载频率在 0.1 Hz ~2 Hz 之间分级。图 9 为根据数据保存文件画出的该阻尼器在位移±40 mm、频率 0.01 Hz 时的滞回曲线^[5]。



图 8 支撑式金属屈服阻尼器性能试验

Fig. 8 Bracing Metallic Bend Damper Testing

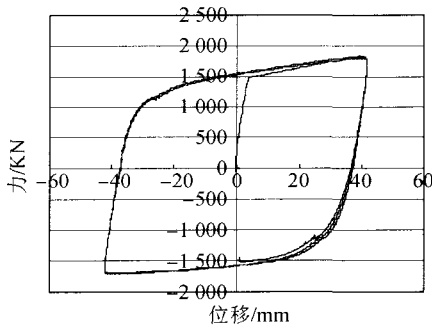


图 9 支撑式金属屈服阻尼器滞回曲线

Fig. 9 Hysteretic Curve of the Bracing Metallic Bend Damper



图 10 复合式金属阻尼器性能试验

Fig. 10 Multiple Metallic Damper Testing

5.4 复合式金属阻尼器性能试验

图 10 中所示为在实验室进行的复合式金属阻尼器性能试验,根据阻尼器设计出力范围在 500 kN ~700 kN 之间,加载位移振幅在±2 mm ~ ±30 mm 之间分级,加载频率在 0.1 Hz ~2 Hz 之

间分级。图 11 为根据数据保存文件画出的该阻尼器在位移±5 mm、频率 0.335 Hz、循环次数为 5 次时的滞回曲线。

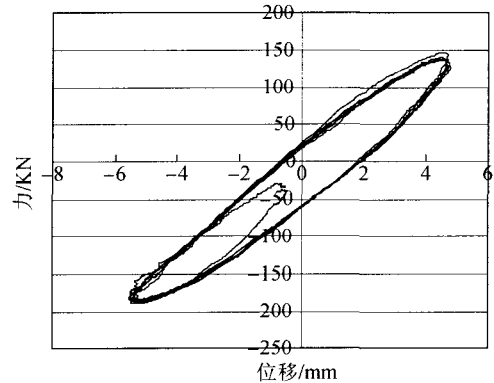


图 11 复合式金属阻尼器滞回曲线

Fig. 11 Hysteretic Curve of the Multiple Metallic Damper

6 结论

随着我国高层与超高层建筑、大跨空间结构与大跨桥梁结构等的蓬勃建设以及国家对建筑结构抗震性能的关注提升,必将促进各类型阻尼器在土木工程领域和其他科研领域的应用,从而推动更大型电液伺服控制阻尼器试验系统的开发与建设。希望国内其它高等院校土木工程专业、土木工程科研院所、能与我实验室建立长期的科研合作关系,并对我实验室的 3000 kN 阻尼器试验系统提出宝贵意见。

参考文献

- [1] 丁建华,欧进萍. 油缸孔隙式粘滞阻尼器理论与性能试验[J]. 世界地震工程,2001,17(1):30-35.
Ding J H, Ou J P. Theoretical Study and Performance Experiment for Cylinder-with-Holes Viscous Damper. World Information on Earthquake Engineering [J]. 2001,17(1):30-35 (in Chinese).
- [2] 液压阻尼器电液伺服试验台的研究[R]. 华中科技大学,2007,1.
Research on the Electro-Hydraulic Servo Test Bed of the Hydraulic Damper [R]. Huazhong University of Science of technology. 2007. 1 (in Chinese).
- [3] 赵东,王威强,马汝建,等. 新型摩擦阻尼器的研究及其在建筑结构振动控制中的应用[J]. 工业建筑,2006,36(2):1-4,15.
Zhao D, Wang W Q, Ma R J, etc. Research on a New Damper and Its Application in Vibration Control

- of a Building [J]. Industrial construction. 2006, 36 (2):1-4,15 (in Chinese).
- [4] 阻尼器试验台架液压卡紧装置的分析设计[J]. 武汉理工大学学报,2007,7.
Analysis and Design of the Hydraulic Clamp Assembly in a Test Bench of the Damper [J]. Journal of Wuhan University of Technology. 2007. 7 (in Chinese).
- [5] 用防屈曲支撑改进钢框架-支撑结构抗震性能的设计方法[J]. 北京工业大学学报,2010,12.
Design of Seismic Performance of Ameliorating with Buckling-Restrained Braced Frames [J]. Journal of Beijing University of Technology. 2010, 12 (in Chinese).