

# 电液伺服材料试验机的动力学响应特性研究\*

郇 勇<sup>1</sup>, 郝圣旺<sup>1,2</sup>, 刘东旭<sup>3</sup>, 杨海升<sup>1</sup>

- (1. 中国科学院力学研究所 非线性力学国家重点实验室, 北京 100080;  
2 燕山大学 建筑工程与力学学院, 河北 秦皇岛 066004;  
3. 中国航天科工六院 四十一所, 内蒙 呼和浩特 010010)

**摘要:**对 MTS810 电液伺服材料试验机在位移控制和载荷控制两种控制方式下的动力学响应特性进行了研究。以岩石压缩测试数据为例,对载荷-时间曲线、位移-时间曲线进行了对比分析,发现岩石破坏过程中,位移控制方式下可以观察到岩石的局部损伤至破坏的演化过程,载荷在岩石破坏时刻突然降为 0;而载荷控制方式下看不到损伤演化过程,载荷未突然降为 0。说明试验机本身的结构响应会影响对试样力学性能的测试。

**关键词:**试验机;动力学响应;测试

**中图分类号:** TG113.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7167(2007)11-0310-03

## Study on the Dynamic Response of Electro-Hydraulic Servo Test Machine

XUN Yong<sup>1</sup>, HAO Shengwang<sup>1,2</sup>, LIU Dongxu<sup>3</sup>, YANG Hai-sheng<sup>1</sup>

- (1. The State Key Lab of Nonlinear Mechanics, Inst of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080; 2 College of Civil Eng & Mechanics, Yanshan Univ, Qinhuangdao 066004; 3. The 46 Inst of the Sixth Academy of China Aerospace Science and Industry Corporation, Huhehaote 010010, China)

**Abstract:** Dynamic response of electro-hydraulic servo test machine under displacement and load control mode was studied. Based on the test data of rock compression, the curves of displacement vs time and load vs time were compared. The process of rock damage to destruction can be observed, and the load suddenly drops to zero with the destruction of rock under the displacement control mode. But under load control mode, the damage process of rock can not be observed. Therefore, the structure of the test machine has influence on testing of mechanical properties of specimens.

**Key words:** test machine; dynamic response; testing

**CLC number:** TG113.25

**Document code:** A

**Article ID:** 1006-7167(2007)11-0310-03

电液伺服材料试验机是材料静态力学性能测试中常用的设备。其测试数据的可靠性和试验机本身的结构响应特性关系密切。已有文献对影响测试数据可靠性的因素进行了研究<sup>[1,2]</sup>。但以前多集中在静力学结构分析,对结构的动力学相应特性研究较少。虽然此类材料试验机一般用于材料静态力学性能测试,但在测试过程中,往往会遇到动态信号掺杂在其中,例如试

样的局部损伤,影响对测试数据的解读。本文从试验机测试原理入手,以岩石压缩实验为例,分析了电液伺服材料试验机在遇到动态力学信号时的响应特性,从而有助于更加正确解读实验数据。

### 1 试验机测试原理

任何一台试验机都由驱动部分、位移计量、载荷计量、机架和夹具这四部分组成<sup>[3]</sup>。MTS810电液伺服材料试验机采用液压驱动作用轴运动,通过作用轴的位移而实现对试样的加载。作用轴位移通过电感式位移传感器 LVDT (linear variable displacement transducer)

收稿日期: 2007-05-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (10602058); 中国科学院“优秀博士学位论文、院长奖获得者科研启动专项资金”。

测量,载荷通过应变式载荷传感器测量。其结构简图如图 1 所示。

这种驱动方式决定了这类试验机的基本控制方式是位移控制。载荷控制或应变控制则是通过测量载荷传感器或引伸计的信号,经伺服反馈系统来控制作用轴位移间接实现。虽然目前伺服反馈系统的频响特性可以做到很高,但是受作用轴、夹具等惯性质量的影响,试验机真正的频响能力要远低于理论值。这导致试验机在测量变化较快的力学信号时,往往会将本身的结构响应特性强加于试样力学性能之上,影响对实验数据的解读。

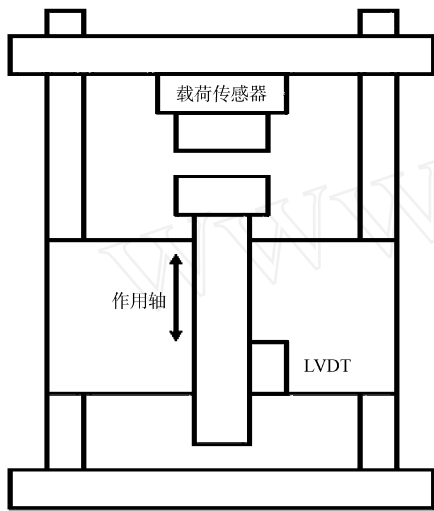


图 1 MTS810电液伺服材料试验机结构简图

## 2 岩石压缩实验

本文以岩石压缩实验为例,对 MTS810电液伺服材料试验机的动力学响应过程进行分析。试样为花岗岩,截面积 16 mm ×20 mm,高度 40 mm。首先采用位移控制(即 LVDT控制)方式进行测试。数据采集时间间隔为 0.2 s,为回避机架变形对岩石变形测量的影响,采用应变式位移传感器 COD(Crack Open Displacement)对上下压盘之间的位移进行直接测量,并认为其测量值即为岩石变形量,如图 2 所示。

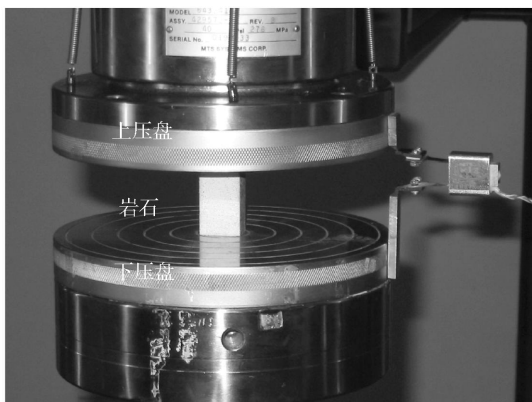


图 2 岩石压缩实验结构布置

为对比试验机的响应特性,本文还特意采用载荷控制对岩石进行了压缩测试,采用同样的采样率采集数据。

## 3 动力学响应过程

### 3.1 位移控制

在岩石破坏时刻,试验机由静态平衡状态转变为动态非平衡过程,结构的动力学响应将明显表现出来,如图 3 所示。图中载荷-时间关系曲线上 A~B,载荷在 0.2 s之内由 57 kN降为 0,一般认为 A时刻是岩石的破坏点。对应 LVDT-时间关系曲线的 D-E,位移值在 0.2 s之内增加了 54 μm。

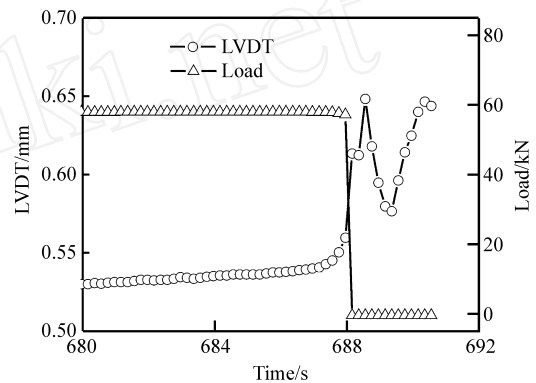


图 3 采用位移控制时,岩石破坏时刻试验机载荷和作用轴位移(LVDT)信号

需要注意的是:在 D点(岩石破坏时刻)之前 0.8 s的 C点开始,LVDT已经偏离了原线性轨迹。C~D之间,LVDT增加了 19 μm,对应的载荷在 A点之前 0.8 s之内下降了 0.727 kN,但图中由于比例所限几乎看不出。这说明早在 A点之前 0.8 s岩石就已经发生了局部损伤,导致载荷略有下降。这一过程称为损伤演化。当然如果采样率足够高,这一过程将观察的更为明显。

在 E点之后,即岩石破坏后,由于作用轴和压盘等惯性质量较大(约 30 kg),在突然失去平衡的情况下,作用轴等惯性质量将出现过冲,表现为 LVDT在 0.4 s内继续增加约 35 μm。此后伺服反馈系统的调节作用才开始显现,试图将 LVDT位移值“拉回正常轨道。由于 PD(比例-积分-微分)电路的作用,此调节过程表现为一种振荡。观察表明经过 3~5个周期才能基本恢复到原行驶轨迹。从试样突然破坏到作用轴恢复正常运行约需 5 s。当然这一过程的长短和试验机的 PD参数设置有一定关系。

### 3.2 载荷控制

当采用载荷控制方式对同样材质的岩石进行压缩测试时,在岩石破坏时刻试验机载荷和作用轴位移(LVDT)信号如图 4 所示。在岩石突然破坏后的 0.2 s之内,LVDT快速行走 12 mm(试验机当时位移行程设为 -10 mm~10 mm),超过位移行程机器自动保护,泄

压停机。

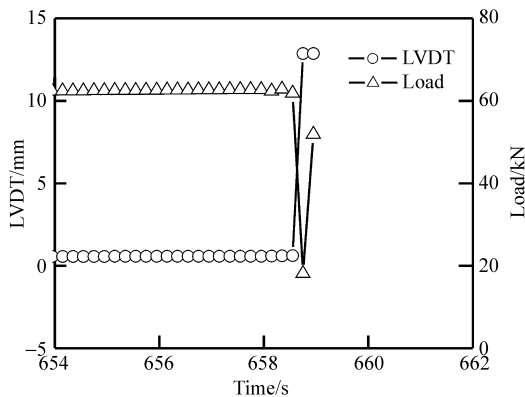


图 4 采用载荷控制时,在岩石破坏时刻试验机载荷和作用轴位移 (LVDT)信号

和位移控制方式相比有两点不同。其一,未观察到岩石破坏前的损伤演化过程,即图 3 中的 C~D。其二,在岩石破坏点,载荷在 0.2 s 之内由 62 kN 下降为 18 kN,其后由于作用轴的迅速移动和岩石残骸接触,

导致载荷并未继续下降为 0,而是重新跳回 52 kN。因此这种实验方式可能会掩盖试样真实的力学行为。

## 4 结论

电液伺服材料试验机的基本控制方式是位移控制。这种控制方式下,试验机结构响应更为直接,也更有可能会获得可靠的测试数据。当采用载荷控制方式时,试验机本身的结构响应会影响对试样力学性能的测试。

## 参考文献 (References):

- [1] 彭瑞东, 谢和平, 鞠杨, 等. 试验机弹性储能对岩石力学性能测试的影响 [J]. 力学与实践, 2005, 27(3): 51-55.
- [2] 余仲芳, 陈小平. 关于高刚性试验机的刚度设计 [J]. 试验技术与试验机, 2002, 42(1, 2): 20-22.
- [3] 张泰华, 杨业敏, 赵亚溥, 等. 微型材料的拉伸测试方法研究 [J]. 机械强度, 2001, 23(4): 430-436.

## MTS 公司简介

MTS 工业系统 (上海) 有限公司是 MTS 系统公司的中国全资子公司, MTS 系统公司成立于 1966 年, 并在美国 NASDAQ 独立上市, 其总部位于美国明尼苏达州的首府明尼亚阿波利斯市, 是全球最大的高科技力学性能测试及模拟系统制造商, 是该领域的先驱和领导者。其产品和服务主要应用于科研、产品开发、质量控制等领域, 范围涉及试验设备、分析软件和优秀工程解决方案咨询, 主要包括: 动静态材料试验系统、汽车零部件及整车车架试验系统、飞机零部件及整机结构试验系统、生物结构测试及模拟系统、建筑结构测试及地震模拟系统、地质及土壤测试系统、纳米硬度表面分析、各种类型载荷、位移及应变传感器、线性伺服马达、液压作动缸、各种伺服控制设备。MTS 在世界上首创把液压伺服闭环控制概念引入力学测试系统。它的成功经验已使各个领域的研究者缩短了研发进程。

作为系统供应商, MTS 的卓越成就体现在协助用户实现其测试目标, 提供最优质的试验方法, 由 MTS 自主研发的虚拟试验更是帮助无数科研人员缩短新产品研发周期, 降低新产品开发成本, 更加快捷便利地达到了试验目的; 作为美国材料试验标准的参与制定者, MTS 在试验机领域拥有最权威的技术和最丰富的经验。

源于和全球用户、政府机构、工业界的紧密关系, MTS 的发展已直接影响到人们生活的安全、可靠及质量。MTS 在汽车和航空航天领域久负盛名, 更有无数的测试系统在各大政府实验室、大学、公司科研机构发挥着重大作用, 其试验成果涉及日常生活的各个方面, 如坚固的建筑结构梁、更好的桥梁、路面材料、更轻巧结实的家庭用户、更可靠的电子接插件、新型复合材料、工业用塑料、建筑结构抗震等。

早在中美建交之初的 1978 年, MTS 就开始了与中国的合作, 中国第一台道路模拟系统安装在汽车之城——长春, 经过近 30 年的发展, MTS 在中国的合作伙伴和用户与日俱增, 主要包括中科院研究所, 民用航空航天研发机构, 各大汽车制造商和零部件生产商及高等院校、科研机构, 引进了数百套各种类型的试验系统, 成功地为提高中国的科研水平及高科技产品含量作了贡献。同时, MTS 也致力于帮助中国自主品牌的发展和建设上, 例如 MTS 的航空测试系统及产品将应用于支线型飞机的材料及性能测试上。

随着 MTS 工业系统 (上海) 有限公司的正式开业, 我们将继续为中国的产品研发、科技发展发挥越来越大的作用, 成为各行各业可信赖的试验帮手!