

# 模拟爆炸震动的冲击试验机简介

李伯松, 贺永胜, 韩乃仁, 杜 旭  
(洛阳水利工程研究所, 河南 洛阳 471023)

摘要: 介绍了冲击试验机模拟爆炸震动的原理、装置的组成、达到的技术指标及主体部件的结构等, 并介绍了装置的应用情况。

关键词: 冲击试验机; 爆炸震动; 模拟装置; 冲击加速度; 冲击气缸

\* 中图分类号: O381 文献标识码: A

## 1 引 言

国内外大量试验表明, 在核武器、常规武器爆炸作用下, 即使工程结构不被破坏, 但爆炸产生的震动可使工程内动物致伤、仪器设备受损。为了保障在核武器、常规武器爆炸震动作用下工程内人员和设备的正常运行, 工程内需采取隔震防护措施。由于隔震防护措施的研究已不能在核爆现场进行, 因此对爆炸震动的隔震研究必须转入室内, 以实验室产生的冲击震动来模拟现场的爆炸震动环境。

## 2 爆炸震动的模拟原理

爆炸产生的震动与爆炸方式、当量、侵入深度、介质状况、结构埋深等多种因素有关, 爆炸震动信号各不相同, 但对效应物的作用是相同的。若将多自由度系统的效应物简化为具有相同阻尼比的多个单自由度系统, 爆炸震动对效应物的作用效果与对各单自由度系统的作用效果相同时, 可对爆炸震动加速度信号进行反应谱分析, 用半正弦加速度脉冲的反应谱包络, 则半正弦脉冲的加速度值即为爆炸震动的等效加速度值, 半正弦脉冲的作用时间即为爆炸震动加速度的等效作用时间, 使爆炸震动对效应物的作用有统一的衡量尺度, 因此爆炸震动的模拟与对效应物的作用效果等效。

冲击试验机产生的加速度信号通常近似半正弦脉冲, 可通过调整冲击加速度值及作用时间来实现对爆炸震动的模拟。

## 3 冲击试验机的工作原理及主体设计

冲击试验机的整体布局见图 1。它由冲击气缸、台体、导轨、换向装置、缓冲器、限位体、隔震基础等组成。试验机采用设定运动速度的冲击轴与台体对心碰撞工作原理。台体的冲击加速度值由冲击轴运动速度来控制, 冲击加速度的作用时间由冲击轴与台体之间的垫层厚度来调整。

### 3.1 冲击气缸

国内外的冲击试验机<sup>[1-6]</sup>, 不论是凸轮式还是落锤式, 均不能满足爆炸震动环境模拟的要求, 而回转摆式冲击试验机结构复杂、体积庞大、能量利用率低。为此本装置采用以压缩空气为动力的速放式冲击气缸<sup>[7-8]</sup> (如图 2 所示), 设计压力为 10MPa, 冲击轴质量为 1.5Mg。工作过程: 首先通过进气孔 A 向动力腔充气, 达到预定压力后关闭, 然后通过进气孔 B 向启动腔充气, 当达到一定压力后, 破坏冲击轴与动力腔的端面密封, 动力腔压缩空气产生绝热膨胀, 推动冲击轴加速运动, 在一定行程后与台体碰撞, 完

\* 收稿日期: 2000-12-12; 修回日期: 2001-04-02

作者简介: 李伯松 (1941—), 男, 研究员。

成一次冲击,然后动力腔内的剩余气体通过排气孔 D 排掉,通过进气孔 C 向复位腔充气,推动冲击轴使它与动力腔端面密封。

### 3.2 台体

台体材料为 ZL107 铸造铝合金,台面面积为  $1.7\text{m} \times 1.2\text{m}$ ,质量为 1980kg。为了使台体既能承受垂直冲击又能承受水平冲击,在台体两端面中心设有  $\Phi 200\text{mm}$ 、高 50mm 的水平冲击体,台体底部中心设有  $\Phi 350\text{mm}$ 、厚 450mm 的垂直冲击体,垂直、水平冲击体与中心宽度为 350mm、两端宽度为 150mm、长 1300mm 的实体相连。

为提高台体的刚度和强度,从台体中心向四端辐射了四条加强筋,与纵向的两条加强筋及横向的五条加强筋交汇成蜂窝状结构,并与箱形结构边框相连。台体上设计了用于垂直冲击及水平冲击的 V 型导向滑槽,并对台体四个端点作切角处理,以减小台体受冲击时台面的端点效应。实测台体自振频率为 700Hz,当垂直冲击加速度为  $2\text{km}/\text{s}^2$  时,台体的应变为  $4.6 \times 10^{-8}$ 。

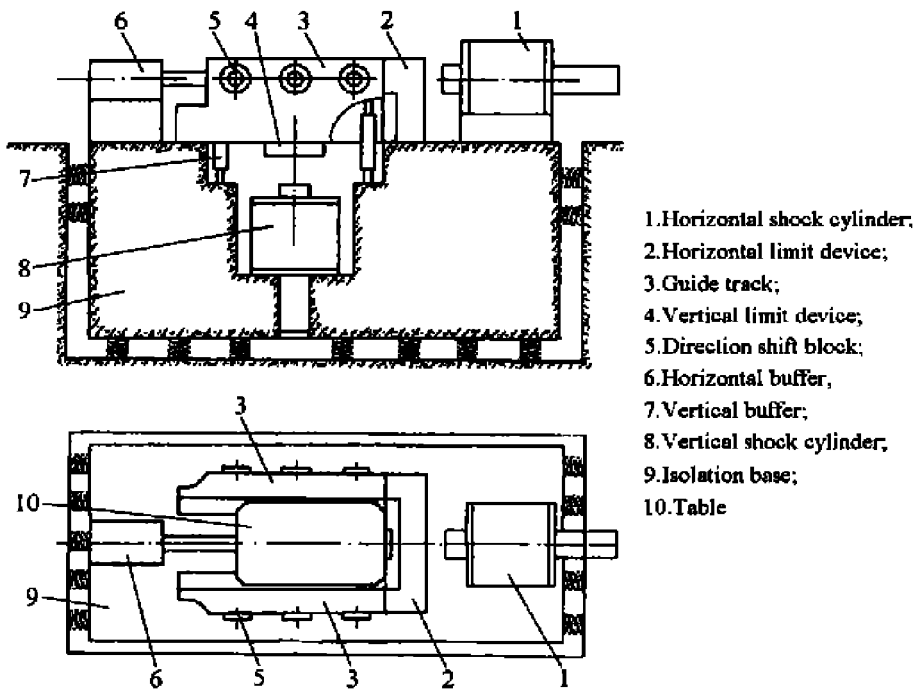


图1 冲击试验机整体布局示意图

Fig.1 The layout of the shock testing machine

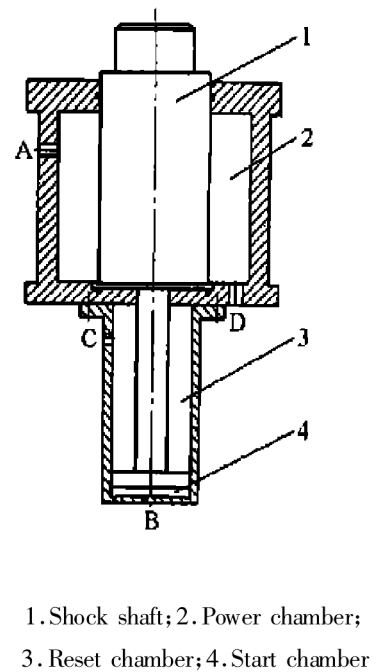


图2 冲击气缸

Fig.2 Shock cylinder

### 3.3 导轨及换向装置

台体的导向和支承采用 V 型——平面型导轨。可转动的柱销式导向体安装在台体两侧的导轨上。当导向体旋转成垂直方向,并伸入到台体垂直向 V 型槽中时,用于垂直冲击;当导向体旋转成水平方向,并伸入到台体水平向 V 型槽中时,用于水平冲击,实现了垂直与水平冲击共用一个台体。

### 3.4 缓冲器

本装置采用套装式变节流油缓冲器限制台体的运动位移,将台体受冲击后的能量转变为变形能和热能。

水平缓冲器由缓冲和复位两部分组成,垂直缓冲器仅有缓冲部分。缓冲部分设置内、外两个缸筒,内缸中装有活塞,筒壁上开设节流孔,内部充液压油,节流孔面积由理论计算和试验确定。当台体受冲击以一定速度运动时,推动缓冲器活塞,油从内缸的节流孔注入外缸,并从外缸通过节流孔返回内缸,形成一个闭合回路。水平冲击时缓冲器与台体接触,为了使台体获得能量,缓冲器的初始段(0~260mm)节流孔面积较大,随着行程的增加,节流孔面积逐渐减小,当完成一次冲击后需启动复位装置,使活塞杆与台体接触;垂直缓冲器共 8 个,分别安装在台体两侧,初始段(0~70mm)设置小节流孔,以对台体的自

重复起缓冲作用。

### 3.5 限位体

由于采用速放式冲击气缸,冲击轴在缸体内一直处于加速状态,当冲击轴与台体碰撞后,冲击轴回弹,但缸内仍有气压作用,冲击轴继续向前运动,有可能与台体产生第二次碰撞,为此,冲击轴与台体碰撞后,应立即放气,但由于气缸容积较大、压力较高,要在几毫秒内完成排气过程难以实现,因此采用机械阻隔的办法,设计了限位体,限位体与基座相连,冲击轴垫层端面与台体的距离为 500mm,冲击轴轴肩至台体的距离为 600mm,当冲击轴第一次撞击台体后继续向前运动时,限位体挡住了冲击轴的轴肩,使剩余冲击能量直接传递到基座上。

### 3.6 基础隔震

为了减小冲击台工作时对周围环境的影响,本装置所有构件均安装在钢筋砼基座上,基座及设备的总质量为 82Mg,基座两端各安装 10 个隔震器,底部安装 26 个隔震器,基座与基础之间设有干摩擦阻尼器。实测隔震体的震动频率为 2.8Hz,基础震动速度最大为 3mm/s。

### 3.7 操作控制及数据处理系统

操作控制系统控制设备各腔室依次充、放气。气路配置选用常规电控气动元件控制低压气源,驱动自行研制的高压气动滑阀,控制工作气源。控制电路选用以远传压力表和数显压力调节仪为主的电控回路,驱动低压电磁阀控制气路。

数据采集和处理选用北京东方振动与噪声技术研究所的 DASP 系统,并自行编制了反应谱计算与绘制软件包。

## 4 达到的技术指标及应用

冲击试验机安装后在固定行程下进行了调试。台面加速度测点布置在台面中央及两端,在同一气缸压力下,试验不少于三次。

本装置达到的技术指标为:(1)台面面积:1.7m×1.2m;(2)最大负载:2Mg;(3)冲击波形:近似单次半正弦波;(4)冲击方向:垂直向(由下向上)、水平向;(5)加速度值范围为 0.05~2km/s<sup>2</sup>,对应作用时间为 45~5ms;(6)台面加速度均匀性、重复性误差不大于 15%;(7)加速度作用时间重复性误差不大于 10%。

表 1 冲击试验机应用情况一览表

Table 1 Applications of the shock testing machine

试验名称	冲击方向	冲击次数	加速度范围/(m/s <sup>2</sup> )	作用时间范围/ms
动物冲击试验	垂直	16	30.0~1700.0	36.0~3.3
	水平	36	9.9~2520.0	48.2~4.4
席梦思床垫	垂直	9	43.0~107.0	26.0~3.4
乳胶海绵	垂直	57	40.0~208.0	8.4~3.6
	水平	62	43.0~428.0	8.8~3.0
ZGG-2000N 隔震器	垂直	10	30.0~130.0	3.9~10.0
砂、炉渣、锯末	垂直	108	30.0~150.0	3.0~20.0
部分仪器及 设备零部件	垂直	48	63.0~68.0	48.0~20.0
	水平	41	55.0~750.0	45.0~18.0
聚氨酯泡沫材料	垂直	21	54.7~355.0	18.0~35.6
	水平	8	29.3~183.0	36.2~44.2

本装置已应用于动物冲击试验, 隔震器、隔震地板、隔震材料冲击试验, 部分仪器及设备零部件冲击试验(见表 1), 试验结果已应用于各相应的研究课题。

## 5 结 束 语

模拟爆炸震动的冲击试验机经过十多年的不断改进和完善, 性能指标达到设计要求, 满足武器、爆炸震动的环境模拟。

与国内外同类设备比较, 其特点有:

(1) 首次将速放式气缸应用于冲击震动试验机, 冲击能量大、安装维修方便, 克服了落体式、回转摆式冲击试验机体积庞大、能量利用率低等问题;

(2) 研制的换向滑块机构变换冲击方向方便, 实现了垂直与水平冲击共用一个台体;

(3) 研制的变节流缓冲器、限位体装置、高压气动滑阀、非线性阻尼器等解决了多项技术难题;

(4) 编制的冲击反应谱软件包使反应谱计算及绘制快速、简捷。

本试验机除上述应用外, 还可应用于设备、结构的抗震试验及民用产品、构件等抗震试验。

## 参考文献:

- [1] Tao Z, Iaitila J. Instrumented Drop Weight Impact Tester [R]. PB92-127455, 1991: 21.
- [2] Garner J M. Shock Test Machine User's Guide [R]. AD-A271333, 1993: 1-20.
- [3] Marur P R. A Compact Testing System for Dynamic Fracture Studies [J]. Journal of Testing and Evaluation, 1995, 23: 267-274.
- [4] 候维达, 李国华, 赵本立. 强碰撞中型冲击机及其应用 [J]. 船舶工程, 1995(1): 28-32.
- [5] 振动与冲击手册编写组. 振动与冲击测试技术 [A]. 振动与冲击手册(第二卷) [Z]. 北京: 国防工业出版社, 1990: 157.
- [6] 哈里斯 C M, 克瑞德 C E. 冲击和振动手册 [Z]. 北京: 科学出版社, 1990: 466.
- [7] 高速锤锻造编写组. 高速锤锻造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1978: 1-28.
- [8] 吴元强, 钟文发. 气缸动态设计 [J]. 液压与气动, 1982(1): 16-20.

## Brief Introduction of Shock Testing Machine for Simulating Blast Vibration

LI Bo-song, HE Yong-sheng, HAN Nai-ren, DU Kui

(Luoyang Hydraulic Engineering Technology Institute, Luoyang 471023, Henan, China)

**Abstract:** The structures of main parts of shock test machine, etc. is introduced in this paper. Applications of the equipment are presented.

**Key words:** shock testing machine; blast vibration; simulating equipment; shock acceleration; shock cylinder