

DOI: 10.11883/bzycj-2017-0394

## 用于软材料的双子弹电磁驱动 SHPB 系统\*

谢倍欣<sup>1</sup>, 汤立群<sup>1</sup>, 姜锡权<sup>2</sup>, 史景伦<sup>3</sup>, 赵伟健<sup>3</sup>, 余瀚笙<sup>3</sup>, 张泳柔<sup>1</sup>, 刘逸平<sup>1</sup>, 蒋震宇<sup>1</sup>

(1. 华南理工大学土木与交通学院亚热带建筑科学国家重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 陆军炮兵防空兵学院, 安徽 合肥 230031;

3. 华南理工大学电子与信息学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 软材料的动态力学性能研究一直备受关注, 目前分离式 Hopkinson 压杆 (split Hopkinson pressure bar, SHPB) 技术是其最重要的测试手段, 然而在测试超软材料时实验装置设计方面仍存在许多有待改进之处。本文中研制了一套双子弹电磁驱动 SHPB 系统, 使用聚碳酸酯作为杆件材料以克服软材料试件带来的诸多困难, 引入了双子弹设计方案解决了电磁驱动方式难以应用于非铁磁材料的问题, 并有效保证了子弹速度的准确控制。使用双子弹电磁驱动 SHPB 系统和传统金属 SHPB 装置同时对硅胶材料的动态力学性能进行了测试, 实验结果的吻合性验证了本套系统的可靠性。应用双子弹电磁驱动 SHPB 系统开展了聚乙烯醇 (polyvinyl alcohols, PVA) 水凝胶这种超软材料在高应变率下的实验, 成功表征出其动态力学性能。

**关键词:** 分离式 Hopkinson 压杆 (SHPB); 电磁驱动; 双子弹; 软材料

**中图分类号:** O347.3

**国标学科代码:** 13015

**文献标志码:** A

软材料具有非常广泛的应用背景, 而其服役过程往往涉及动态加载工况, 因此测试并表征其动态力学性能十分必要。分离式 Hopkinson 压杆 (split Hopkinson pressure bar, SHPB) 技术是目前最重要的表征材料动态力学性能的实验手段<sup>[1]</sup>, 自提出以来已经用于多种材料在高应变率下的力学性能测试, 而研究者们也纷纷利用 SHPB 开展软材料的动态实验<sup>[2]</sup>。虽然试件过软给 SHPB 实验带来了许多困难, 如试件变形难以达到均匀、透射波信号过于微弱、横向惯性影响不可忽略等<sup>[3-5]</sup>, 但学者们已提出了许多有效的对策, 如采用薄试件与小杆件、使用低波阻抗杆件 (高分子杆<sup>[6]</sup> 和空心杆<sup>[7]</sup>)、使用高灵敏度传感计 (半导体应变片和石英压电晶片<sup>[8]</sup>)、进行入射波整形<sup>[9]</sup> 等。现在 SHPB 技术在研究橡胶<sup>[10]</sup>、泡沫<sup>[11]</sup> 等常规软材料的动态力学性能方面的应用已经相当成熟。然而, 近年来水凝胶等模量更低的超软材料的动态力学性能逐渐引起关注, 这给 SHPB 技术带来了新的改进需求。常见的金属 SHPB 装置用于测试超软材料时会因为杆件与试件的波阻抗相差太大而存在一些不足, 如透射波信号太过微弱难以测量、实验曲线在低应力段精度不足、试件变形较难达到均匀等。许多学者提出使用高分子材料制作杆件以图解决这些问题<sup>[6, 12]</sup>。但是, 高分子材质子弹往往质轻, 其发射速度对驱动能量相当敏感, 并直接影响最终的测试应变率。传统的高压气体驱动方式无法保证这类轻质子弹速度的高重复性, 不利于控制实验方案的实施, 而将电磁驱动方式引入到 SHPB 技术中<sup>[13-15]</sup> 有利于克服该不足。电磁驱动方法要求子弹为铁磁材料或者在子弹外缠绕线圈, 而本设计拟采用的高分子杆件是非铁磁性材料, 且在探索实验中发现外缠线圈方式所获取的驱动力太弱, 其对入射波形的干扰也较明显。因此, 发展出一套可控性强的可用于软材料乃至超软材料的 SHPB 系统具有重要意义。本文中, 以聚碳酸酯作为杆件材料, 设计了双子弹电磁驱动方案以保证子弹速度的精确控制, 且通过和传统金属 SHPB 装置的对比实验验证了本套系统的可靠性, 并将所设计的测试系统成功地应用于聚乙烯醇 (polyvinyl alcohols, PVA) 水凝胶的动态力学性能测试。

\* 收稿日期: 2017-10-31; 修回日期: 2018-01-04

基金项目: 国家自然科学基金 (11472109, 11772134); 广东省自然科学基金 (2015A030311046, 2015B010131009)

第一作者: 谢倍欣 (1992—), 男, 博士研究生, 13mars@163.com;

通信作者: 汤立群 (1966—), 男, 博士, 教授, lqtang@scut.edu.cn。

## 1 双子弹电磁驱动 SHPB 系统

### 1.1 杆件设计

在选择杆件材料时,既要尽量降低杆件与试件的波阻抗比,又要保证实验过程中杆件不会进入屈服。选择聚碳酸酯 (polycarbonate, PC) 作为子弹、入射杆和透射杆的材料,该材料的平均密度约为  $1\ 183\ \text{kg/m}^3$ ,准静态压缩实验表明其弹性模量约为  $1\ 350\ \text{MPa}$ ,屈服强度约为  $74\ \text{MPa}$ 。在综合考虑了试件的尺寸及变形、一维应力波传播假定等因素后,本文的杆件横截面直径定为  $20\ \text{mm}$ ,且加工精度和稳定性比较有保证。设计了 2 组杆件的长度方案,如表 1 所示。

表 1 聚碳酸酯杆件的长度

Table 1 Lengths of polycarbonate bars

组号	子弹长度/mm	入射杆长度/mm	透射杆长度/mm
1	200	600	300
2	400	1 000	600

### 1.2 双子弹设计方案

为了解决电磁驱动技术无法直接用于非铁磁材质子弹的难题,提出如图 1 所示的双子弹驱动装置设计方案,其中主要包含的部件为主子弹、副子弹、主导轨、副导轨、缓冲块等。

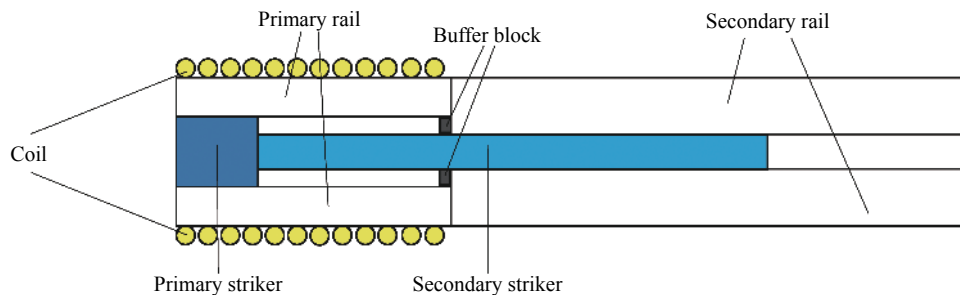


图 1 双子弹驱动装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the double-striker driving device

主子弹由铁磁材料制成,副子弹由非铁磁材料(聚碳酸酯)制成,主子弹的横截面直径大于副子弹的横截面直径。主导轨、副导轨的内径分别与主子弹、副子弹的横截面直径相匹配,在主导轨和副导轨的连接处设置缓冲装置,在主导轨外缠绕线圈。实验开始前,将主子弹置于主导轨左端,副子弹与主子弹相抵。实验开始后,对主导轨外缠的线圈通电,主子弹受到向右的电磁力开始往右运动,副子弹虽然不受电磁力作用但也被主子弹推动着向右运动。根据电磁炮原理,当主子弹运动到主导轨中部后,受到的电磁力会反向变为向左<sup>[14]</sup>,主子弹因此开始减速,但副子弹不受电磁力作用,当摩擦力可以忽略时会继续以原速度向右运动,也就是说从此刻开始,主子弹和副子弹自然分离。最终副子弹以较快的速度被发射,主子弹以较慢的速度撞上缓冲装置而停止运动。需要注意的是,在这个装置中导轨和子弹间的摩擦力很小,这样主子弹和副子弹才不会产生“你追我赶”的碰撞现象而导致副子弹内部产生初始应力波,从而避免这种结构特点对最终的入射波形产生干扰影响。

### 1.3 电磁驱动方案

电磁驱动技术的本质是对线圈施加变化电场从而产生变化磁场,而变化磁场会对位于其中的铁磁体产生电磁力从而驱使其运动。本文的电磁驱动方案根据具体实验所需而设计,其电路和实物装置分别如图 2~3 所示。

具体操作流程为:在实验前将主子弹、副子弹置于初始位置,然后闭合电磁驱动装置的总开关。根据所需的发射速度调节充电电压,接着闭合充电电路的开关,直流电源对电容进行充电。充电完毕后断开充电电路的开关,闭合放电电路的开关,电容对线圈放电,聚碳酸酯子弹就被顺利地驱动了。如果充电完毕后因为各种原因需要终止实验的,可以断开充电电路的开关,闭合去电电路的开关,电容将储存的电能量释放到一个高阻值电阻上,从而保证实验者的安全。

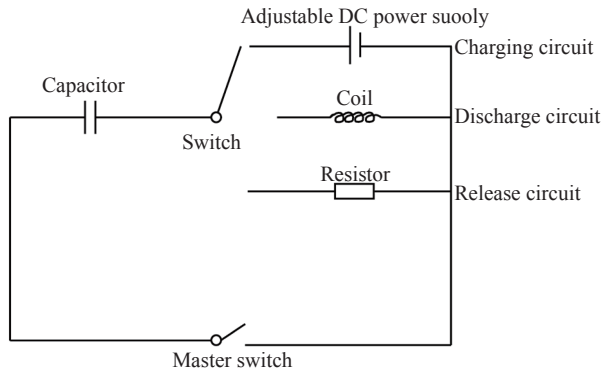


图 2 电磁驱动装置原理图

Fig. 2 Schematic diagram of the electromagnetic driving device

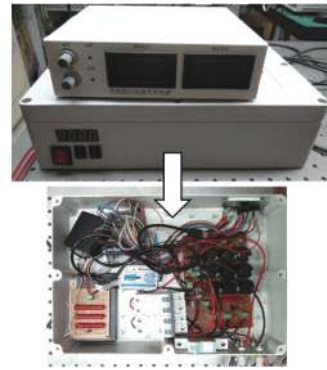


图 3 电磁驱动装置

Fig. 3 Electromagnetic driving device

### 1.4 速度重复性验证

实验中采用圆柱形钕-铁-硼永磁体作为主子弹, 其横截面直径和长度均为 30 mm。副子弹的尺寸如 1.1 节所述, 横截面直径为 20 mm, 长度有 2 种方案, 分别为 200 mm 和 400 mm。采用不同的充电电压进行驱动实验, 在副导轨末端设置一个激光测速器测量副子弹的发射速度。对于每种充电电压值均重复 5 次实验以检验其速度重复性, 实验结果如图 4 和表 2 所示。从表 2 可以看出, 双子弹电磁驱动装置能保证聚碳酸酯子弹的速度有较高的重复性, 为软材料的 SHPB 实验提供良好的可控性。

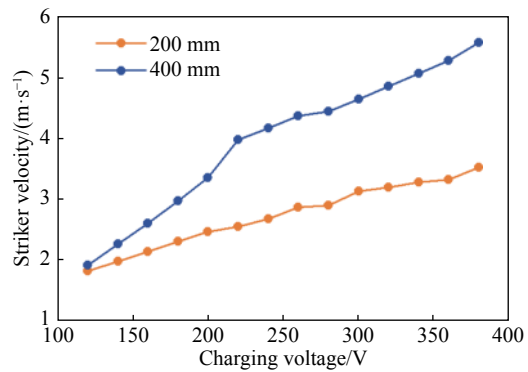


图 4 不同副子弹长度方案下子弹速度与充电电压的关系曲线

Fig. 4 Relations between striker velocity and charging voltage at two different secondary striker lengths

表 2 子弹速度与充电电压的关系

Table 2 Relation between striker velocity and charging voltage

充电电压/V	长200 mm子弹的速度/(m·s <sup>-1</sup> )	长400 mm子弹的速度/(m·s <sup>-1</sup> )	充电电压/V	长200 mm子弹的速度/(m·s <sup>-1</sup> )	长400 mm子弹的速度/(m·s <sup>-1</sup> )
100	1.52±0.10	1.61±0.08	260	2.86±0.09	4.37±0.08
120	1.82±0.09	1.91±0.07	280	2.90±0.10	4.44±0.09
140	1.98±0.09	2.26±0.07	300	3.13±0.11	4.64±0.08
160	2.14±0.09	2.60±0.08	320	3.19±0.11	4.85±0.10
180	2.30±0.10	2.97±0.08	340	3.28±0.10	5.07±0.09
200	2.46±0.10	3.35±0.07	360	3.32±0.11	5.28±0.09
220	2.55±0.09	3.98±0.07	380	3.52±0.12	5.57±0.10
240	2.67±0.09	4.17±0.08			

## 2 系统可靠性验证

### 2.1 验证性实验方案

为了验证双子弹电磁驱动 SHPB 系统的可靠性, 本文中将同时采用本套系统和传统的铝质 SHPB 系统对同一种材料开展相近应变率下的动态实验, 并对这 2 种系统得到的实验结果进行对比。验证性实验中的试件材料必须是一种软硬适中的材料, 经过了细致考虑后, 选取硅胶作为验证性实验的试件材

料。试件形状为环形,其外径为 12 mm,内径为 5 mm,厚度为 2 mm,如图 5 所示。2 套 SHPB 系统各测试 3 个试件,其中金属 SHPB 系统测试试件的编号为 No.1~3,双子弹电磁驱动 SHPB 系统测试试件的编号为 No.4~6。

铝质 SHPB 系统中杆件横截面直径为 37 mm,如图 6 所示,子弹撞击速度约为 2 m/s;双子弹电磁驱动 SHPB 系统选用表 1 中的第 1 组长度方案,如图 7 所示,副子弹撞击速度约为 2.5 m/s。



图 5 硅胶试件  
Fig. 5 Silicone specimen



图 6 铝质 SHPB 系统  
Fig. 6 Aluminum SHPB system

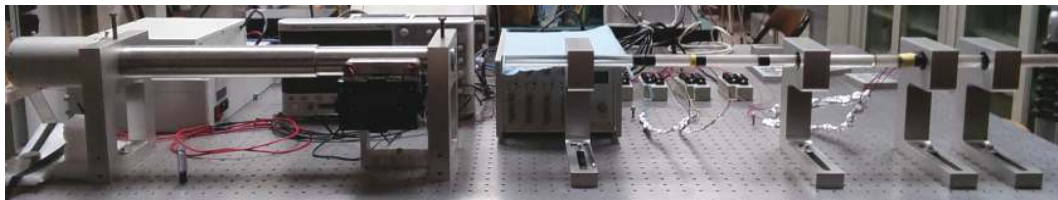


图 7 双子弹电磁驱动 SHPB 系统  
Fig. 7 Double-striker electromagnetic driving SHPB system

## 2.2 验证性实验结果

利用透射波计算应力历史,利用反射波计算应变率及应变历史,进而得到硅胶的动态应力-应变关系。考虑到聚碳酸酯是黏弹性材料,在处理双子弹电磁驱动 SHPB 系统的实验数据时会根据波传播系数法<sup>[16-17]</sup>进行波形修正。将 2 种 SHPB 系统得到的测试结果进行对比,如图 8 所示,可以发现两者的应力-应变曲线基本一致,且测试应变率均约为  $800 \text{ s}^{-1}$ 。鉴于金属 SHPB 系统是已经被学者们多次使用和检验的相当成熟的实验装置,可以推断本文中研制的这套双子弹电磁驱动 SHPB 系统是可靠的。

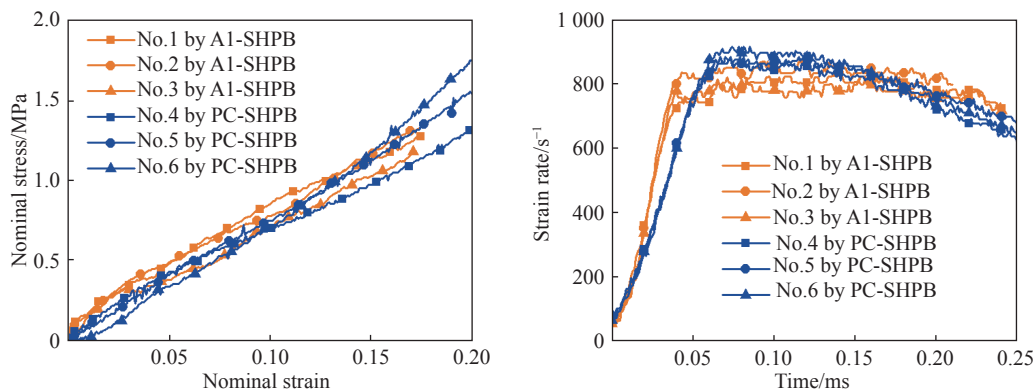


图 8 两种不同 SHPB 系统的测试结果对比  
Fig. 8 Comparison of test results by two different SHPB systems

## 3 PVA 水凝胶的 SHPB 实验

PVA 水凝胶是一种热门的超软材料,尤其是在用作人体关节软骨替代材料方面极具潜力。在这种应用背景下,当人体跌落、跳动时 PVA 水凝胶会承受动态荷载作用,因此对其动态力学性能的研究十分必要,但目前尚未见相关报道。利用常规的金属 SHPB 系统无法测试这种超软材料,而利用本文中研制

的双子弹电磁驱动 SHPB 系统可以开展 PVA 水凝胶的动态力学性能研究。

### 3.1 实验方案

PVA 水凝胶由水和 PVA 纤维组成, 本文中的试件是采用反复冷冻解冻法制备的, 其 PVA 质量分数为 25%。综合考虑试件变形均匀性和制作难度等因素, 圆柱形试件的横截面直径和厚度分别为 8 mm 和 2 mm, 如图 9 所示。采用双子弹电磁驱动 SHPB 系统对 PVA 水凝胶试件进行测试, 子弹、入射杆、透射杆的长度如表 1 所示, 其中第 1 组长度方案用于应变率为  $1\ 100\ \text{s}^{-1}$  的测试, 副子弹撞击速度约为  $3.5\ \text{m/s}$ ; 第 2 组长度方案用于应变率为  $800\ \text{s}^{-1}$  和  $500\ \text{s}^{-1}$  的测试, 副子弹撞击速度分别约为  $2.5\ \text{m/s}$  和  $1.6\ \text{m/s}$ 。值得注意的是, 第 1 组长度方案的杆件比较短, 贴片时应注意避免波形叠加的问题。经过细致考虑, 本文将一组半导体应变片贴在入射杆中点处以采集入射波及反射波, 另一组应变片贴在透射杆上距离试件/透射杆端面 50 mm 处以采集透射波。



图 9 PVA 水凝胶试件

Fig. 9 PVA hydrogel specimen

### 3.2 实验数据及处理

对应变片采集到的波形信号进行弥散修正, 得到的一组典型波形如图 10 所示。虽然因为信噪比的原因无法利用三波法检验试件两端应力平衡情况, 但由于水凝胶的波阻抗约是 PC 的  $1/400$ , 根据 Yang 等的分析<sup>[18]</sup>以及本文的有限元模拟验证, 应力波在试件中完成一个来回的传播, 试件两端应力可以认为达到均匀条件。本文中采用两波法进行数据处理, 其中利用透射波计算应力历史, 利用反射波计算应变率及应变历史。注意到由于惯性效应的影响, 试件的应力-应变曲线会在实验早期出现“异常尖峰”现象<sup>[5, 19]</sup>, 如图 11 所示的未修正的原始实验曲线。对于 SHPB 实验中惯性引起的附加应力, 已经有许多学者进行了理论分析和推导, 其中 Gorham<sup>[20-21]</sup>推导了惯性给不可压缩材料试件带来的附加应力, 其表达式中同时包含了应变率和应变加速度的影响:

$$\sigma_i = \rho_s \left( \frac{h^2}{6} + \frac{d^2}{64} \right) \dot{\varepsilon}^2 + \rho_s \left( \frac{h^2}{6} - \frac{d^2}{32} \right) \ddot{\varepsilon} \quad (1)$$

式中:  $\rho_s$  为试件密度,  $h$ 、 $d$  分别为试件的厚度和直径,  $\dot{\varepsilon}$  和  $\ddot{\varepsilon}$  分别为应变率和应变加速度。利用式 (1) 可以对实验曲线进行修正, “异常尖峰” 将被有效削弱, 如图 11 所示的修正后的实验曲线。因此, 本文中对所有得到的实验曲线均扣除惯性带来的附加应力。

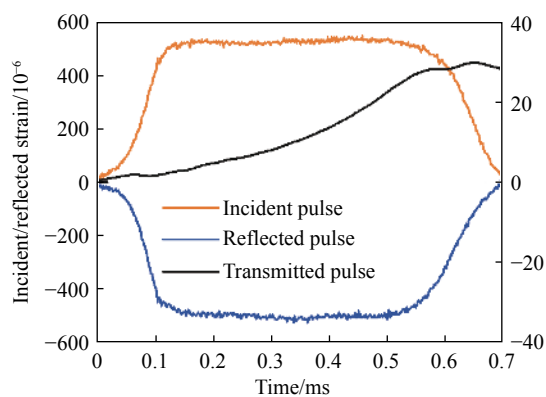


图 10 典型的 PVA 水凝胶 SHPB 实验应变波形

Fig. 10 Typical strain waves from an SHPB test of PVA hydrogel

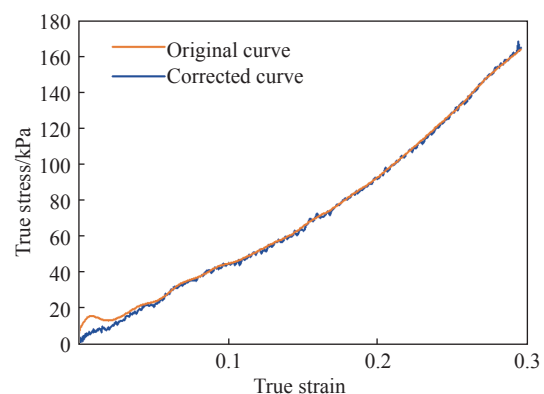


图 11 PVA 水凝胶实验曲线

Fig. 11 Experimental curves of a PVA hydrogel

### 3.3 实验结果

图 12 展示了 PVA 水凝胶在不同应变率下的应力-应变关系, 其中每条曲线均为 4 个试件的平均结果。由图 12 可以发现, 随着应变率的上升, PVA 水凝胶在达到相同应变时表现出更高的应力水平。

## 4 结 论

研制了一套双子弹电磁驱动 SHPB 系统, 其中采用聚碳酸酯这种低波速材料制作杆件, 且有效地保证了轻质子弹发射速度的准确控制, 整套系统的可靠性得到了实验验证。此系统不仅适合研究硅胶等常规软材料的动态力学性能, 还可用于 PVA 水凝胶等超软材料在高应变率下的测试。

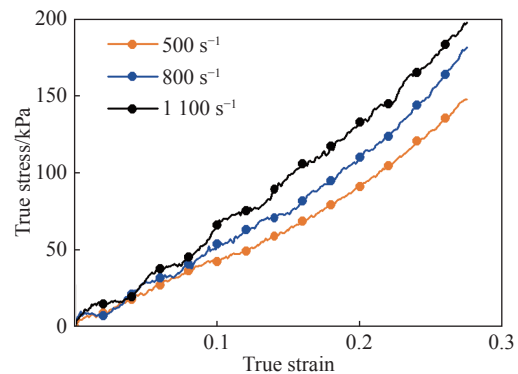


图 12 不同应变率下 PVA 水凝胶的动态应力-应变曲线  
Fig. 12 Dynamic stress-strain curves of PVA hydrogels at different strain rates

本研究在电磁驱动装置设计前期得到了北京理工大学刘战伟教授的指导帮助, 在此谨表谢意!

### 参考文献:

- [1] TAYLOR G I. The testing of materials at high rates of loading [J]. *Journal of the ICE*, 1946, 26(8): 486–519.
- [2] 胡时胜, 王礼立, 宋力, 等. Hopkinson 压杆技术在中国的发展回顾 [J]. *爆炸与冲击*, 2014, 34(6): 641–657. DOI: 10.11883/1001-1455(2014)06-0641-17.  
HU Shisheng, WANG Lili, SONG Li, et al. Review of the development of Hopkinson pressure bar technique in China [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2014, 34(6): 641–657. DOI: 10.11883/1001-1455(2014)06-0641-17.
- [3] CHEN W, LU F, FREW D J, et al. Dynamic compression testing of soft materials [J]. *Journal of Applied Mechanics*, 2002, 69(3): 214–223.
- [4] 卢芳云, CHEN W, FREW D J. 软材料的 SHPB 实验设计 [J]. *爆炸与冲击*, 2002, 22(1): 15–19.  
LU Fangyun, CHEN W, FREW D J. A design of SHPB experiments for soft materials [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2002, 22(1): 15–19.
- [5] SONG B, GE Y, CHEN W W, et al. Radial inertia effects in Kolsky bar testing of extra-soft specimens [J]. *Experimental Mechanics*, 2007, 47(5): 659–670. DOI: 10.1007/s11340-006-9017-5.
- [6] ZHAO H, GARY G, KLEPACZKO J R. On the use of a viscoelastic split Hopkinson pressure bar [J]. *International Journal of Impact Engineering*, 1997, 19(4): 319–330. DOI: 10.1016/s0734-743x(96)00038-3.
- [7] CHEN W, ZHANG B, FORRESTAL M J. A split Hopkinson bar technique for low-impedance materials [J]. *Experimental Mechanics*, 1999, 39(2): 81–85. DOI: 10.1007/BF02331109.
- [8] 林玉亮, 卢芳云, 卢力. 石英压电晶体在霍普金森压杆实验中的应用 [J]. *高压物理学报*, 2006, 19(4): 299–304.  
LIN Yuliang, LU Fangyun, LU Li. The application of quartz transducer technique in SHPB [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2006, 19(4): 299–304.
- [9] 宋博, 姜锡权, 陈为农. 霍普金森压杆实验中的脉冲整形技术 [C] // 第三届全国爆炸力学实验技术交流会. 合肥: 2004.
- [10] SONG B, CHEN W. One-dimensional dynamic compressive behavior of EPDM rubber [J]. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 2003, 125(3): 294–301.
- [11] 王宝珍, 胡时胜. 软质聚氨酯泡沫的冲击力学性能 [J]. *高分子材料科学与工程*, 2009, 25(12): 48–51.  
WANG Baozhen, HU Shisheng. Mechanical properties of flexible polyurethane foams under impact loading [J]. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2009, 25(12): 48–51.
- [12] SHARMA A, SHUKLA A, PROSSER R A. Mechanical characterization of soft materials using high speed photography and split Hopkinson pressure bar technique [J]. *Journal of Materials Science*, 2002, 37(5): 1005–1017.
- [13] 郭伟国, 赵融, 魏腾飞, 等. 用于 Hopkinson 压杆装置的电磁驱动技术 [J]. *实验力学*, 2010(6): 682–689.

- GUO Weiguo, ZHAO Rong, WEI Tengfei, et al. Electromagnetic driving technique applied to split-Hopkinson pressure bar device [J]. *Journal of Experimental Mechanics*, 2010(6): 682–689.
- [14] LIU Zhanwei, CHEN Ximin, LV Xintao, et al. A mini desktop impact test system using multistage electromagnetic launch [J]. *Measurement*, 2014, 49: 68–76.
- [15] 刘战伟, 吕新涛, 陈喜民, 等. 基于多级电磁发射的 mini-SHPB 装置 [J]. *实验力学*, 2013, 28(5): 557–562.
- LIU Zhanwei, LV Xintao, CHEN Ximin, et al. On the mini-SHPB device based on multi-level electromagnetic emissions [J]. *Journal of Experimental Mechanics*, 2013, 28(5): 557–562.
- [16] BACON C. An experimental method for considering dispersion and attenuation in a viscoelastic Hopkinson bar [J]. *Experimental Mechanics*, 1998, 38(4): 242–249. DOI: 10.1007/bf02410385.
- [17] 刘孝敏, 胡时胜, 陈智. 粘弹性 Hopkinson 压杆中波的衰减和弥散 [J]. *固体力学学报*, 2002, 23(1): 81–86.
- LIU Xiaomin, HU Shisheng, CHEN Zhi. The wave propagation attenuation and dispersion in a viscoelastic Hopkinson pressure bar [J]. *Acta Mechanica Solida Sinica*, 2002, 23(1): 81–86.
- [18] YANG L M, SHIM V P W. An analysis of stress uniformity in split Hopkinson bar test specimens [J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2005, 31(2): 129–150. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2003.09.002.
- [19] 王宝珍, 胡时胜. 猪后腿肌肉的冲击压缩特性实验 [J]. *爆炸与冲击*, 2010, 30(1): 33–38. DOI: 10.11883/1001-1455(2010)01-0033-06.
- WANG Baozhen, HU Shisheng. Dynamic compression experiments of porcine ham muscle [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2010, 30(1): 33–38. DOI: 10.11883/1001-1455(2010)01-0033-06.
- [20] GORHAM D A. Specimen inertia in high strain-rate compression [J]. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 1989, 22(12): 1888–1893. DOI: 10.1088/0022-3727/22/12/014.
- [21] GORHAM D A. The effect of specimen dimensions on high strain rate compression measurements of copper [J]. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 1991, 24(8): 1489–1492. DOI: 10.1088/0022-3727/24/8/041.

## A double-striker electromagnetic driving SHPB system for soft materials

XIE Beixin<sup>1</sup>, TANG Liqun<sup>1</sup>, JIANG Xiquan<sup>2</sup>, SHI Jinglun<sup>3</sup>, ZHAO Weijian<sup>3</sup>,  
SHE Hansheng<sup>3</sup>, ZHANG Yongrou<sup>1</sup>, LIU Yiping<sup>1</sup>, JIANG Zhenyu<sup>1</sup>

- (1. *State Key Laboratory of Subtropical Building Science, School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong, China;*  
2. *Army Artillery and Air Defense Force Academy, Hefei 230031, Anhui, China;*  
3. *School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong, China*)

**Abstract:** The dynamic mechanical properties of soft materials have attracted great attention, and the separated Hopkinson pressure bar (SHPB) technique is the most important test method at present. However, the SHPB technique still needs some improvements when it is applied to extra-soft materials. So, a double-striker electromagnetic driving SHPB system was developed. In the developed system, the bars were made of polycarbonate, and the double-striker scheme was designed to precisely control the velocities of the strikers. Both the aluminum SHPB facility and the double-striker electromagnetic driving SHPB system were employed to carry out dynamic experiments on the silicone, and the agreement between the test results by these two systems indicated the reliability of the innovative system. And dynamic mechanical properties of PVA hydrogels were successfully tested by the double-striker electromagnetic driving SHPB system.

**Keywords:** separated Hopkinson pressure bar; electromagnetic driving; double-striker; soft material

(责任编辑 张凌云)