

文章编号: 1006-9941(2011)05-0532-04

# 激光速度干涉仪在大板实验中的应用研究

虞德水<sup>1</sup>, 赵锋<sup>1</sup>, 彭其先<sup>2</sup>, 李平<sup>2</sup>

(1. 中国工程物理研究院 流体物理研究所 冲击波物理与爆轰物理实验室, 四川 绵阳 621900; 2. 中国工程物理研究院 流体物理研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 在大板实验中,为了测量不同位置飞片的运动历史,提出了测量任意反射面的速度干涉仪(VISAR)斜入射测试方法。实验时,VISAR初始测试位置 $X$ 分别为0,10,20,40和80 mm,对应的测试角度 $\beta$ 分别为 $0^\circ$ 、 $4.5^\circ$ 、 $7.5^\circ$ 、 $10^\circ$ 和 $11.5^\circ$ 。试验结果表明:各测点均获得了完整的飞片运动速度时间曲线,有效测试时间达到8~12  $\mu\text{s}$ 。建立的VISAR斜入射测试技术是可行的。

**关键词:** 爆炸力学; 爆轰驱动; 大板实验; 测量任意反射面的速度干涉仪(VISAR)

中图分类号: TJ55; O389

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.05.011

## 1 引言

点起爆圆柱或圆片形炸药块驱动圆形飞片的装置广泛应用于起爆器件、爆炸成型和爆炸作用件,其设计技术需要掌握在较短时间内,飞片各点的变形和走时规律。大板实验<sup>[1-2]</sup>(bigplate experiment)就是这样一种实验方法,以研究爆轰波与飞片在不同的相互作用角下,飞片的运动规律以及爆轰产物的状态方程。

测量任意反射面的速度干涉仪(velocity interferometer system for any reflector, VISAR)<sup>[3]</sup>是20世纪70年代由美国的LANL实验室的L. M. Barker和R. E. Hollenboh发展起来的,这种技术的特点是:(1)连续且非接触测量;(2)时间分辨率高;(3)测量精度高;(4)可以测量漫反射面的速度,适合动高压条件下的研究。随着VISAR研究的不断深入,通过双灵敏度VISAR<sup>[4]</sup>的应用,解决了VISAR测速中信号条纹丢失及怎样补条纹的关键技术;通过折返式标准具<sup>[5]</sup>的设计与应用,有效地提高了VISAR的测试灵敏度。目前,VISAR已经成为冲击波物理与爆轰波物理研究的主要诊断技术之一。

但目前VISAR主要应用于正入射条件,随着VISAR测试技术的发展,其应用领域有待拓展。本文将VISAR测试技术引入大板实验,测量飞片不同位置

点在点爆发散爆轰驱动下的运动规律,以建立在斜入射(即VISAR探头的轴线与被测点静止表面法向的夹角 $\beta \neq 0^\circ$ )条件下,VISAR测试的实验方法。

## 2 大板实验

### 2.1 实验装置

大板实验装置的1/2剖面图如图1所示。实验装置中,圆柱形主装药为 $\Phi 200 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 的TATB基钝感炸药和HMX基高聚物粘结炸药,其中心加工一个用于放置传爆序列的半球形凹坑。主装药两侧分别为 $\Phi 196 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 的黄铜飞片和 $\Phi 200 \text{ mm} \times 6.5 \text{ mm}$ 的钢盖板。半球传爆序列(包括雷管、柔爆索和半球传爆药)放置在主装药中心轴对称位置预设的半球形凹坑内,以引爆主装药,驱动飞片。

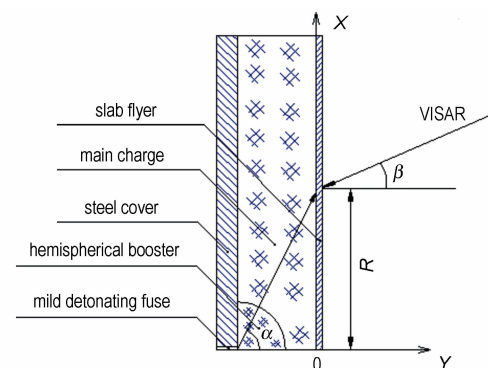


图1 大板实验装置

Fig. 1 Bigplate experimental set-up

收稿日期: 2010-11-04; 修回日期: 2010-12-06

作者简介: 虞德水(1976-),男,硕士,助理研究员,主要从事爆炸力学和常规战斗部研究。e-mail: ruyudeshui@sohu.com

以炸药-飞片的对称轴交界面交点为坐标原点建立坐标系(图1所示)。X为0 mm处,飞片微元的飞行可看作散心爆轰驱动一维球壳情形;X较大处,飞片微元的飞行可看作滑移爆轰驱动情形;这两者之间的过渡区域可看作是散心爆轰驱动和滑移爆轰驱动的迭加。

## 2.2 VISAR 测试角度的确定

实验采用5路VISAR分别测量飞片上过中心点同一直线不同半径X点的自由面速度。测点初始位置X分别为:0,10,20,40和80 mm。

对初始位置X为0 mm的测试点,它处于实验装置的中心轴对称位置,在点爆发散爆轰驱动下,该质点只有Y向速度,实验中,VISAR的测试角度 $\beta$ (探头激光束与飞片静止表面法向的夹角)设置为 $0^\circ$ (即沿Y向)。而对飞片其他拉格朗日坐标点上的质点,在点爆发散爆轰驱动下,同时具有X、Y向速度,且其飞行方向角也是随时间变化的。考虑到VISAR的可测试角度有限,将VISAR探头以一定的角度 $\beta$ 入射在飞片表面,以保证VISAR完整记录飞片的加速度运动过程。

通过理论分析<sup>[6]</sup>和DYNA2D有限元模拟计算,确定了各测试点对应的测试角 $\beta$ 分别为: $0^\circ$ , $4.5^\circ$ , $7.5^\circ$ , $10^\circ$ 和 $11.5^\circ$ 。

## 2.3 VISAR 测试原理

VISAR测试系统由光源、激光发射与接受系统、两个独立的干涉腔及对应的光电转换和记录系统组成。每一个干涉腔具有一个固定的条纹常数。其测试原理<sup>[7]</sup>是:利用入射激光在运动物体表面反射产生多普勒效应,再由激光干涉与光电外差检测的方法测出激光的多普勒频移,进而得到被测点或物体的速度。

## 3 实验结果

将示波器记录到的信号,经过VISAR专用软件数据处理后,得到2发实验飞片不同测试点的自由面速度历史曲线见图2。

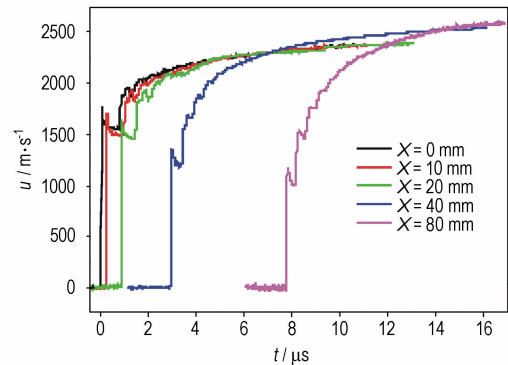
从图2可以看出,两发实验各测试点的有效记录时间达到 $8 \sim 12 \mu\text{s}$ ,各测点的速度曲线完整地显示了该测点处的飞片在爆轰驱动下的不断加速过程,表明本试验所采用的VISAR斜入射测试技术是可行的。

## 4 实验结果与数值计算结果比较

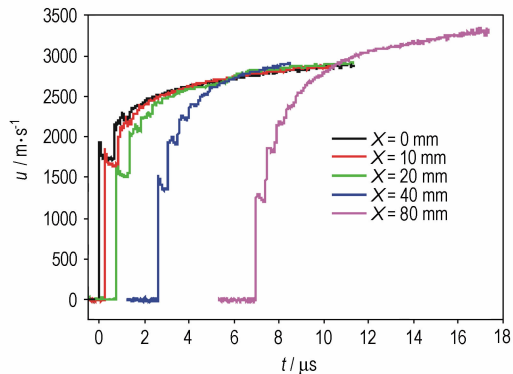
采用显式拉格朗日型有限元程序DYNA2D对本实验模型进行了数值模拟计算,并标定了TATB基钝感炸药和HMX基高聚物粘结炸药爆轰产物的JWL状

态方程参数<sup>[6]</sup>。

计算中半球传爆药采用高能炸药燃烧(high explosive burn)模型和JWL状态方程,主炸药采用流体模型和点火增长三项式反应速率模型,未反应炸药和爆轰产物都采用JWL状态方程,黄铜飞片和钢盖板采用各向同性弹塑性流体动力学模型和Grüneisen状态方程。计算结果与试验结果的比较见图3和图4。从图可以看出,计算结果与试验结果符合得较好。



a. TATB based explosive



b. HMX based explosive

图2 飞片速度曲线

Fig. 2  $v-t$  curves of flyer for TATB based explosive and HMX based explosive

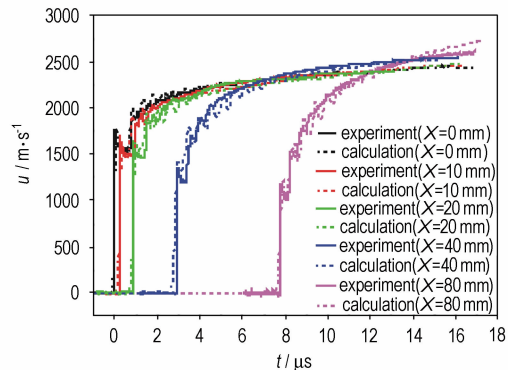


图3 TATB基钝感炸药大板实验结果与计算结果比较

Fig. 3 Comparisons of the calculation results and experimental data for bigplate experiment with TATB based explosive

为了对比分析,采用文献[8]给出的由圆筒实验标定的 HMX 基高聚物粘结炸药参数对大板实验进行计算,结果见图 5,其它各测试点的计算结果类似。从图 5 可以看出,在飞片运动初期其速度比实验值偏高;后期,计算结果比实验值偏低。其可能的因素除了 JWL 状态方程 5 个参数不能唯一确定其解外,更重要的是标准圆筒实验采用高速扫描测试系统记录圆筒膨胀过程,由于记录系统本身的时间和空间分辨率有限,圆筒膨胀运动初期,管壁运动速度较低,在底片上飞片运动起始点难以判定,其结果精度不高。在标定炸药爆轰产物状态方程时,主要采用的是圆筒膨胀运动中后期的结果。

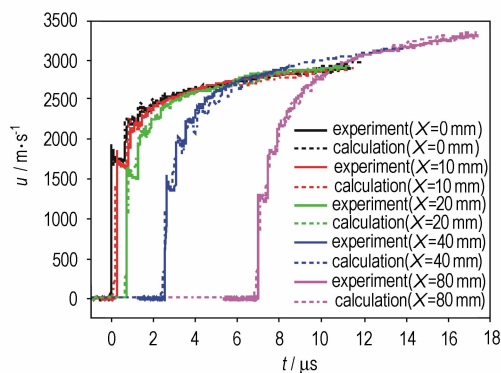


图 4 HMX 基高聚物粘结炸药大板实验结果与计算结果比较  
Fig. 4 Comparisons of the calculation results and experimental data for bigplate experiment with HMX based explosive

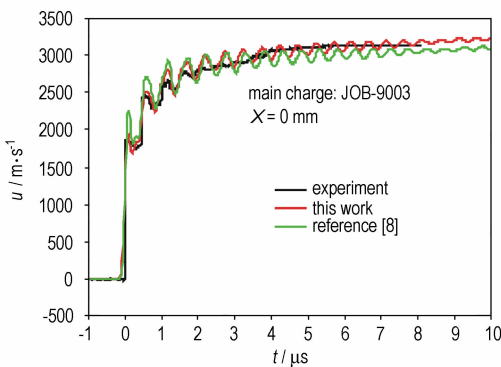
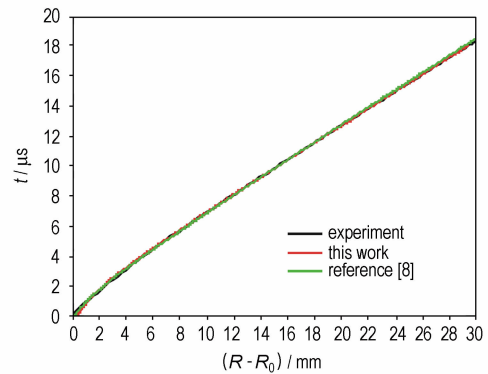


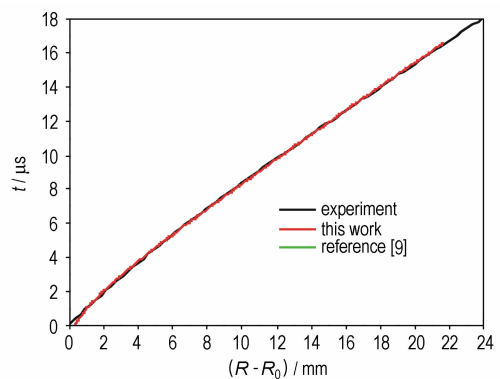
图 5 实验结果与计算结果比较  
Fig. 5 Comparisons of the calculation results and experimental data

为了考核由大板实验标定的炸药爆轰产物 JWL 状态方程参数是否能较好地再现圆筒实验结果,对  $\Phi 25$  mm 圆筒实验进行计算。圆筒半径随时间变化的计算结果与实验结果比较见图 6,图中  $R_0$  为圆筒初始半径。从图 6 可以看出,由大板实验标定的炸药爆轰产物 JWL 状态方程参数的计算结果与实验结果符

合得较好,说明这套参数不仅能较好地再现大板实验结果,也能较好地重现圆筒实验结果。



a. HMX based explosive



b. TATB based explosive

图 6 圆筒实验结果与计算结果比较  
Fig. 6 Comparisons of the calculation results and experimental data for cylinder test

## 5 结论

本研究成功地将 VISAR 测试技术引入大板实验,建立了多点 VISAR 斜入射测试技术,并取得了较好的测试结果,有效测试时间达到  $8 \sim 12 \mu\text{s}$ ,完整记录了飞片的整个加速运动过程。

本研究建立的实验方法可用于点爆发散爆轰驱动下,飞片的运动规律、爆轰波与飞片的相互作用以及爆轰产物的状态方程等方面的研究。

致谢:实验工作得到了龚晏青、孙永强、邓向阳、刘乔、马冬丽、袁树云等同志的协助,在此表示感谢。

### 参考文献:

- [1] Laurence E Fried, Michael J Murphy, P Clark Souers, et al. Detonation Modeling with an in-line thermochemical equation of state [C] // Proc. of 11<sup>th</sup> Symp. (Int.) on Detonation, Snowmass, Colorado. 1998: 889-896.
- [2] Vitello P, P Clark Souers. Stability affects of artificial viscosity in

- detonation modeling[C]//Proc. of 12<sup>th</sup> Symp. (Int.) on Detonation, San Diego, California. 2002.
- [3] Barker L M, Hollenback R E. Laser interferometer for measuring high velocities of any reflecting surface[J]. *J Appl Phys*, 1972, 43: 4669.
- [4] 陈光华, 李泽仁, 陈元坤, 等. 用双灵敏度 VISAR 测量铜飞片自由面速度[J]. *高压物理学报*, 2001, 15(1): 70-74.  
CHEN Guang-hua, LI Ze-ren, LIU Yuan-kun, et al. Flyer velocity measurement using double sensitivity VISAR[J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2001, 15(1): 70-74.
- [5] 彭其先, 马如超, 李泽仁, 等. 高灵敏度 VISAR 研究与设计[J]. *爆炸与冲击*, 2002, 22(4): 343-346.  
PENG Qi-xian, MA Ru-chao, LI Ze-ren, et al. A high sensitivity VISAR with mltireflection etalon [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2002, 22(4): 343-346.
- [6] 虞德水. 发散爆轰驱动平板飞片的实验与计算研究[D]. 绵阳: 中国工程物理研究院研究生部, 2005.  
YU De-shui. The experimental and calculated research of slab flyer driving by the divergent detonation with point initiation [D]. Mianyang: Postgraduate Department of CAEP, 2005.
- [7] 胡绍楼. 激光速度干涉测量技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [8] 孙承纬, 卫玉章, 周之奎. 应用爆轰物理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000; 286-296.
- [9] 于川, 刘文翰, 李良忠, 等. 钝感炸药圆筒试验与爆轰产物 JWL 状态方程研究[J]. *高压物理学报*, 1997, 11(3): 227-233.  
YU Chuan, LIU Wen-han, LI Liang-zhong, et al. Studies on cylinder test and JWL equation of state of detonation product for insensitive high explosive [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 1997, 11(3): 227-233.

## Application of VISAR in Bigplate Experiment

YU De-shui<sup>1</sup>, ZHAO Feng<sup>1</sup>, PENG Qi-xian<sup>2</sup>, LI Ping<sup>2</sup>

(1. Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics Research, Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China;  
2. Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** Velocity interferometer system for any reflector (VISAR) interferometer was used in bigplate experiment to measure the movement of the flyer. The measured places of VISAR are: 0, 10, 20, 40 and 80 mm, the corresponding angles of incidence are decided: 0°, 4.5°, 7.5°, 10° and 11.5°. Results show that the velocity curves measured at different places are completely. The effective time of measurement is from 8 μs to 12 μs. VISAR testing technology with slanting incidence is feasible.

**Key words:** mechanics of explosion; detonation driving; bigplate experiment; velocity interferometer system for any reflector (VISAR)

**CLC number:** TJ55; O389

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.05.011