

文章编号: 1001-1455(2006)05-0448-04

# 定向约束提高炸药作功能力的实验研究\*

彭其先<sup>1</sup>, 刘俊<sup>1</sup>, 李泽仁<sup>1</sup>, 邓向阳<sup>1</sup>, 孔繁龙<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. 中国网通(集团)有限公司济宁市分公司, 山东 济宁 272000)

**摘要:** 采用任意反射面激光干涉测速技术, 通过测量飞片的自由面速度, 对比研究了  $\varnothing 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  的含铝炸药在 10 mm 厚的钢筒约束条件下和无约束状态时对  $\varnothing 50 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$  钢飞片的作功效能, 实验结果表明, 采用钢筒约束装置后, 炸药对钢飞片的作效能明显提高, 钢飞片的飞行速度提高了 34.8%, 动能提高了 81.7%。

**关键词:** 爆炸力学; 速度; 干涉; 炸药; 约束

**中图分类号:** O384

**国标学科代码:** 130 · 3530

**文献标志码:** A

## 1 引言

炸药的作功能力是炸药的一项重要技术指标。同时, 不同的装药方式也会影响炸药的做功效能。通过设计不同的炸药装置以提高炸药的作功效能, 对于武器的研究设计有重大的意义<sup>[1~3]</sup>。

在飞片增压装置中, 用惰性材料(如钢)把炸药套起来, 由于外壳减弱了爆轰产物的侧向飞散, 可以增强爆轰产物对飞片的加速作用, 提高飞片的速度, 达到提高击靶压力的目的。

在本文, 将采用任意反射面激光干涉测速技术, 对  $\varnothing 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  的含铝炸药直接驱动  $\varnothing 50 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$  钢飞片的加速过程进行连续监测, 并对 10 mm 厚钢筒约束  $\varnothing 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  的含铝炸药驱动同样尺寸钢飞片的飞行过程进行测量, 对两种情况下的做功效能进行对比。

## 2 激光干涉测速技术

广泛应用于冲击波物理与爆轰物理研究领域的任意反射面激光干涉测速(VISAR—velocity interferometer system for any reflector)技术, 可对高速运动事件进行非接触连续性测试, 研究冲击与爆轰状态下材料的动态特性<sup>[4~7]</sup>。

采用标准具作为延迟器件的 VISAR 系统, 其原理即广角迈克尔逊干涉仪, 结构如图 1。

带有样品运动速度引起的多普勒频移激光束进入干涉仪, 经分束器分为左右两光臂, 右边的光路安置有一标准具, 在光学成像上使端反射镜 3 的成像位置在反射镜 3 像处, 反射镜 3 像与另一端镜反射镜 1 关于分束器共轭, 从而使反射镜 1 和反射镜 3 在空间方向完全是成像关系, 保证了干涉的空间性要求。

在时间上, 右边光路中光传播因标准具的引入, 光在标准具中的传播速度变慢, 使得在合束时右边

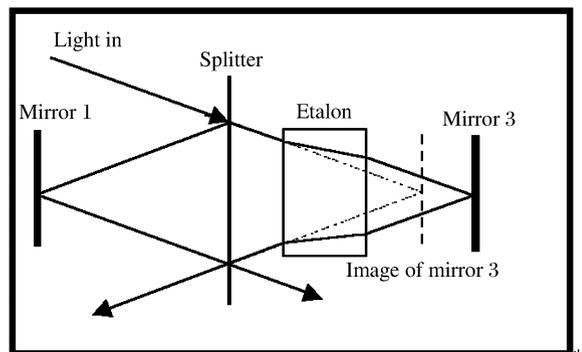


图 1 VISAR 结构简图

Fig. 1 Schematic diagram of the VISAR

\* 收稿日期: 2005-06-20; 修回日期: 2005-12-06

作者简介: 彭其先(1970—), 男, 博士, 高级工程师。

光路比左边光路存在一时间延迟  $\tau$ , VISAR 测量速度的依据就是左光路的  $t$  时刻与右光路的  $t - \tau$  时刻两多普勒光相干涉产生的干涉图, 并由此干涉图信号解析出速度信息。

在此, VISAR 中的延迟时间  $\tau$  及条纹常数  $F$  与标准具长度  $L$  的关系为

$$\tau = \frac{2L}{c} \left( n - \frac{1}{n} \right) \tag{1}$$

$$F = \frac{2\lambda_0}{\tau} = \frac{c\lambda_0}{4(n - 1/n)} \frac{1}{L} \tag{2}$$

式中:  $c$  为真空内的光速;  $n$  为标准具折射率;  $\lambda_0$  为照明激光波长。

同时, 所测试样品速度  $v(t)$  与条纹常数之间有

$$v(t) = FN(t) \tag{3}$$

式中:  $N(t)$  为记录到的干涉条纹数。

实验中, 当炸药爆轰驱动钢飞片运动时, 由钢飞片反射的漫反射激光携带着多普勒信息, 经过 VISAR 的干涉后形成随时间变化的干涉环, 该干涉环由光电倍增管进行转换放大后, 由示波器记录下来, 采用 ORI-VISAR98 程序<sup>[8]</sup>, 经过数据处理, 推算出钢飞片的速度, 分析炸药对钢飞片的作功效能。

### 3 实验装置及测试系统

图 2 是本文中使用的实验装置及测试系统方框图。

在无约束加载装置中, 雷管通过传爆药柱和钢隔板后, 引爆  $\varnothing 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  的含铝炸药, 由该含铝炸药接触爆轰驱动  $\varnothing 50 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$  的钢飞片。实验中在雷管和传爆药柱之间埋设铜箔探针, 当雷管爆炸时, 使铜箔探针短路接通, 为 VISAR 系统提供同步触发信号。

在约束加载装置中, 在  $\varnothing 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  的含铝炸药外加上了 10 mm 厚的钢筒, 使含铝炸药爆轰后的作功动能被限制在沿飞片飞行的一维方向上, 其他参数与无约束加载装置相同。

测试系统中, 激光发射的光由一根光纤引到钢飞片的表面, 照明运动的飞片, 钢飞片的漫反射光由光纤探头中的透镜聚焦后, 经另一根光纤返回 VISAR 干涉仪中, 在干涉仪中进行干涉, 干涉图由光电倍增管转换放大后, 由示波器进行记录。

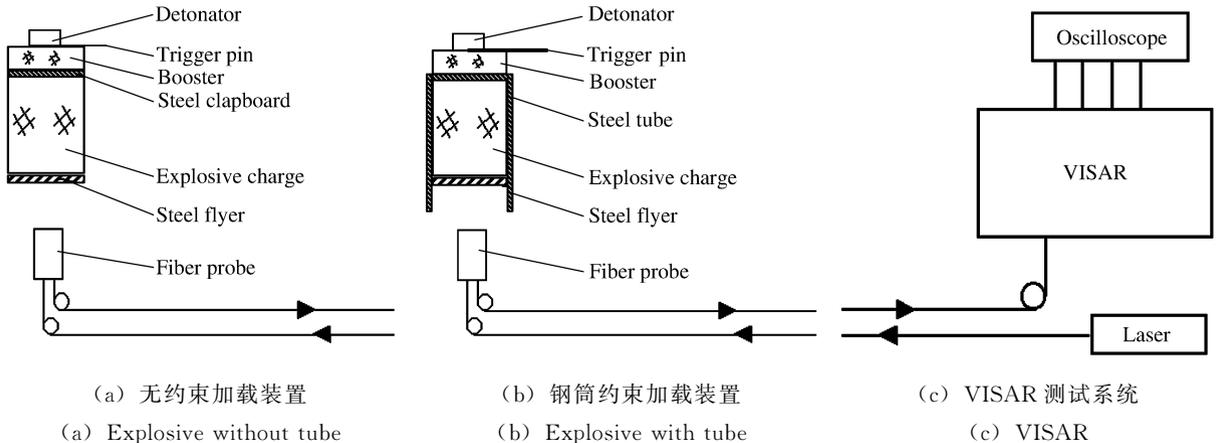


图 2 实验装置及测试系统图  
Fig. 2 Experimental setup

### 4 测试结果

图 3 是示波器记录到的两发实验信号, 其中图 3(a) 是无约束装置时 VISAR 干涉腔的原始干涉信号, 图 3(b) 是 10 mm 厚的钢筒约束情况下 VISAR 干涉腔的原始干涉信号。

图 4 是对干涉信号经过处理后得到的速度-时间曲线, 采用的是自行开发的 ORI-VISAR98 数据处理程序, 并结合双灵敏度 VISAR 数据处理方法。

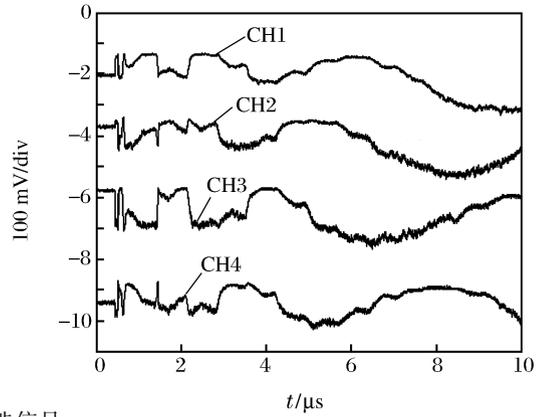
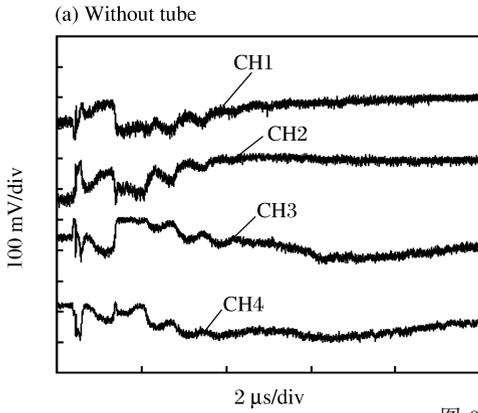


图 3 原始干涉信号

Fig. 3 Original interferential data

### 5 讨论与分析

(1) 相同的加载时间内,有钢筒约束的加载装置能将飞片加速到更高的速度。

如图 4,在启动初期,由于是冲击波对飞片进行冲击加速,两种装置中的飞片速度基本一致,爆轰产物对飞片做功的效应还没有体现出来。启动后,主要是爆轰产物对飞片做功。随着时间的推移,有钢筒约束的装置对飞片驱动的能力明显比无约束装置强。在 10 μs 处,无约束装置中钢飞片的速度为 1 307 m/s,而在约束装置中钢飞片的速度为 1 762 m/s,比无约束装置中钢飞片的速度提高了 34.8%。

(2) 相同的加载时间内,有钢筒约束的加载装置能让飞片获得更大的动能。

对速度进行平方运算,由于两个飞片质量一样,归一后得到飞片的质量动能曲线,如图 5。在 10 μs 处,无约束装置实验中钢飞片的动能为 1.7 MJ/kg,而在约束装置实验中钢飞片的动能为 3.1 MJ/kg,比无约束装置实验中钢飞片的速度提高了 81.7%,具有更大的动能。

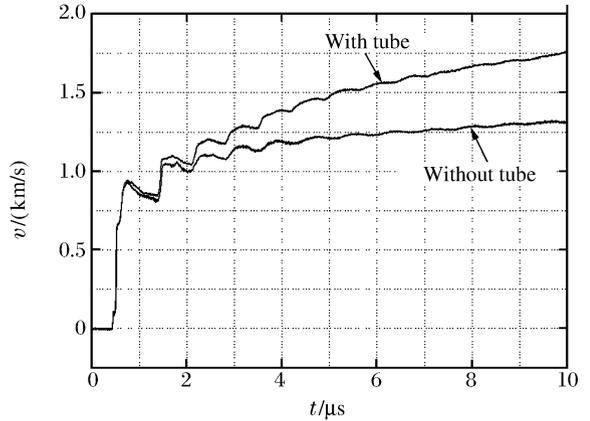


图 4 两发实验的钢飞片的速度历史曲线

Fig. 4 Free surface velocity profile of steel

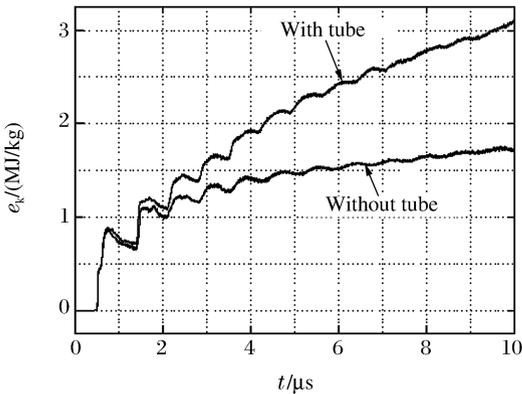


图 5 两发实验钢飞片的动能历史曲线

Fig. 5 Kinetic profile of steel flyer

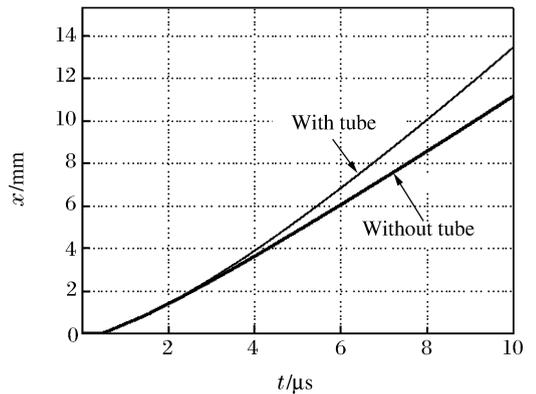


图 6 两发实验钢飞片的位移历史曲线

Fig. 6 Free surface displacement profile of steel flyer

(3) 相同的加载时间内,有钢筒约束的加载装置能让飞片飞行更远的距离。

通过对速度进行积分运算,得到飞片的位移时间曲线,如图 6 所示。在 10 μs 处,无约束装置实验

中钢飞片的飞行距离为 11.15 mm,而在约束装置实验中钢飞片的飞行距离为 13.49 mm,比无约束装置实验中钢飞片的飞行距离提高了 21%。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王作山,刘压存,张景林,等.约束条件对传爆药输出压力的影响[J].火炸药学报,2003,26(2):10—12.  
WANG Zuo-shan, LIU Yu-cun, ZHANG Jing-lin, et al. Effect of restraint conditions on shock pressure of booster [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2003, 26(2): 10—12.
- [3] 陈朗,龙新平,冯长根,等.含铝炸药爆轰[M].北京:国防工业出版社,2004.
- [4] Barker L M, Hollenbach R E. Laser interferometer for measure high velocities of any reflecting[J]. Applied Physics, 1972, 43(11): 4 669—4 675.
- [5] 刘童麟,王蕴珊,王祖增,等.多普勒测速技术的新进展[J].济南大学学报,1995,5(1):64—68.  
LIU Tong-lin, WANG Yun-shan, WANG Zu-zeng, et al. Recent advances of laser doppler technique for measuring velocity[J]. Journal of Jinan University, 1995, 5(1): 64—68.
- [6] 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 multireflection etalon[J]. Explosion and Shock Waves, 2002, 22(4): 343—346.
- [7] 何碧,蒋小华,李泽仁,等.用双灵敏度 VISAR 测试爆炸箔起爆器的飞片速度[J].爆炸与冲击,2005,25(1):31—34.  
HE Bi, JIANG Xiao-hua, LI Ze-ren, et al. Flyer velocity measurement of a exploding foil initiation system using a double 2 sensitivity VISAR[J]. Explosion and Shock Waves, 2005, 25(1): 31—34.
- [8] 陈光华,李泽仁,刘元坤. VISAR 数据处理新方法及程序[J].爆炸与冲击,2001,21(4):315—320.  
CHEN Guang-hua, LI Ze-ren, LIU Yuan-kun. VISAR data reduction method and program[J]. Explosion and Shock Waves, 2001, 21(4): 315—320.

## An experimental study of increasing the driving power of explosive with restricted charge

PENG Qi-xian<sup>1\*</sup>, LIU Jun<sup>1</sup>, LI Ze-ren<sup>1</sup>, DENG Xiang-yang<sup>1</sup>, KONG Fan-long<sup>2</sup>

(1. Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics Research, Institute of Fluid Physics, Mianyang 621900, Sichuan, China;

2. Jining Branch, China Netcom Group Corporation Ltd, Jining 272000, Shandong, China)

**Abstract:** A velocity interferometer system for any reflector was used to measure the free surface velocity of steel flyer. The steel flyer was driven by an explosive charge( $\varnothing 50\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ ) with two different structure. In one case, the charge is restricted with a steel tube. In the other, there is no steel tube outside the charge. Experimental results show the restricted charge can accelerate the steel flyer more efficiently. Compared with the naked charge, the restricted charge can increase the velocity of the same steel flyer ( $\varnothing 50\text{ mm}\times 1.5\text{ mm}$ ) by 34.8% and the kinetic energy by 81.7%.

**Key words:** mechanics of explosive; velocity; interference; explosive; restrict

---

\* Corresponding author: PENG Qi-xian  
E-mail address: qxpenky@126.com  
Telephone: 0816-2484142