

文章编号: 1001-1455(2005)04-0382-03

电炮驱动薄膜飞片的运动速度^{*}

邓向阳, 赵剑衡, 马冬莉, 彭其先

(中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 用双灵敏度激光干涉测速技术测量了充电电压为 18 kV 的电炮加载下薄膜飞片自由面的速度历史。介绍了相关的实验装置及测量方法, 给出了实验结果, 并讨论了影响测速的一些关键技术。整个测速过程约为 1.6 μ s, 最终速度为 6.7 km/s。

关键词: 爆炸力学; 飞片速度; VISAR; 薄膜飞片; 电炮; 桥箔

中图分类号: O384

国标学科代码: 130 · 3599

文献标志码: A

1 引 言

任意反射面激光干涉测速技术(velocity interferometer system for any reflector, VISAR), 利用激光在运动面上反射产生的多普勒频移来对高速运动事件进行非接触连续性测试。响应快、分辨率高的特性使它能很好地测量电炮驱动飞片的自由面速度^[1~3], 以达到当用聚酯薄膜(Mylar)飞片撞击其它样品, 通过冲击波的守恒关系求出样品的冲击压缩数据, 从而了解靶材料的冲击压缩特性的目的。采用双灵敏度 VISAR, 测量了充电电压为 18 kV 的电炮加载下 Mylar 飞片的自由面速度。

2 实验原理、装置及测量方法

VISAR 的测量原理是利用激光入射到运动物体表面产生多普勒频移, 再用光电外差法检测出由多普勒频移引起的干涉光强的变化, 进而得到被测点的速度历史曲线。如图 1 所示, 携带速度信息的光束由信号光纤引入准直器准直, 由公共端反射镜与分束镜将光束分为两束, 分别进入两个独立的干涉腔。在每个干涉腔中, 光束被分束镜分成两束, 一束经公共端反射镜与分束镜回到分束镜; 另一光束两次经过延迟标准具也回到分束镜, 两光束合束干涉。两光束之间有一延迟时间, 并有一与之相关的条纹常数。两个独立干涉腔的延迟时间分别为 0.84、0.19 ns, 相应的条纹常数分别为 316.6、1380 m/s。速度、条纹常数和延迟时间之间的关系为

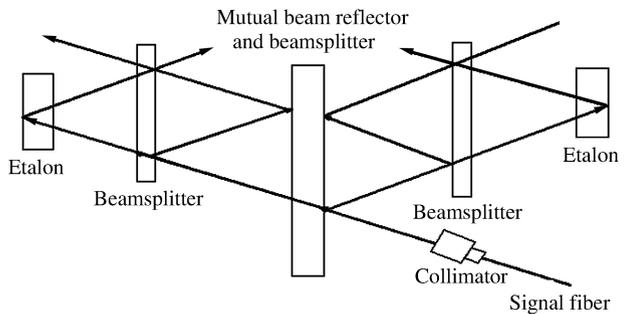


图 1 双灵敏度 VISAR 结构示意图
Fig.1 Sketch of bi-sensitivity VISAR

$$v(t) = FN(t), \quad F = \lambda / (2\tau)$$

式中: v 为运动物体速度, F 为条纹常数, N 为条纹数, λ 为激光光源的波长, τ 为两光束的延迟时间。

实验装置如图 2 所示, 电容器充电完毕后, 同步机给出同步触发信号触发高压开关(高压引爆雷管, 接通开关), 接通回路, 电容器开始放电, 电流使桥箔熔化、气化并进一步爆炸, 剪切出 Mylar 膜飞片, 并在加速腔中被加速到很高的速度。在同步机触发高压开关的同时, 也触发了电光开关、记录 VISAR 信号的示波器。电光开关被触发后, 激光由发射光纤输出, 由光纤探头发射到 Mylar 膜飞片的镀铝面(铝

* 收稿日期: 2004-09-06; 修回日期: 2004-11-19
作者简介: 邓向阳(1975—), 男, 硕士研究生。

膜表面为镜面),被反射后,携带速度信息的光束由接收光纤引到 VISAR 系统,并通过光电倍增管转换成电信号,由同步触发的示波器完成电信号的记录。采用 VISAR 数据处理程序^[4]可推算出电炮加载下镀铝 Mylar 膜飞片的自由面速度及在加速腔中的相应位移。由于 Mylar 膜飞片透明、反射光微弱,无法满足 VISAR 测试的要求,因此在其上镀了厚度可忽略不计的铝膜来增强反射光强度。实验参数:充电电压,18 kV;电容器,32 μ F;回路电阻,13 m Ω ;桥箔尺寸,10 mm \times 10 mm \times 0.05 mm;Mylar 膜厚度,0.15 mm;加速腔尺寸, \varnothing 10 mm \times 8 mm。

3 实验结果及数据处理

图 3 是示波器记录到的双灵敏度 VISAR 的原始干涉信号。为了清楚地给出四路信号之间的关系,沿纵轴平移了四路信号中的三路信号,因此信号的幅度仅与电压的相对值有关,与电压的绝对值无关。从图 3 可看出:在强加载下,冲击波到达自由面后,铝膜反射率约在 1.6 μ s 内并没急剧变小,四路信号中的两对反相信号的反相关系很明显。但据以往实验经验,铝膜的加工工艺是整个测速技术中的关键环节。如果镀膜质量很差,将导致反射率急剧下降,四路信号中的两对反相信号的反相关系湮没在光强的急剧减弱之中,整个测速过程就会失败。

图 4 是图 3 原始信号处理后得到的速度历史曲线,可以看出:小条纹常数与大条纹常数的速度曲线吻合很好,没有丢失条纹;Mylar 膜飞片的加速过程约 1.6 μ s;电炮加载与炸药、气炮很不相同,电炮加载启动阶段速度缓慢,没有减速过程发生,整个加速过程连续,没有速度的间断跳跃。因此在以后的实验中可选择较小的条纹常数,使产生的条纹数尽可能多,不仅可准确地获得后继缓变速度过程,而且可减小整个测速误差。从图 4 的速度曲线积分后的位移曲线图 5 可得出加速时间段的位移约 6.8 mm,这个数据对加速腔的设计能提供很好的帮助。

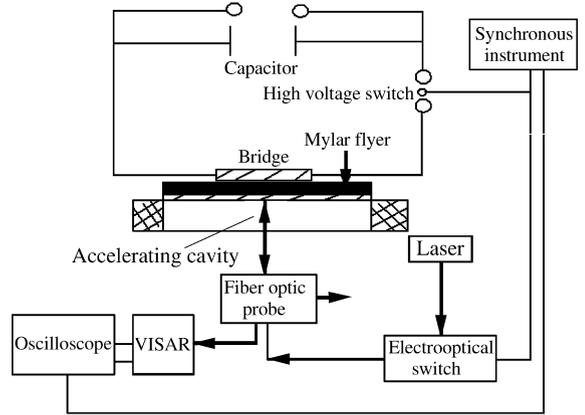


图 2 实验装置示意图

Fig. 2 Sketch of the experimental set-up

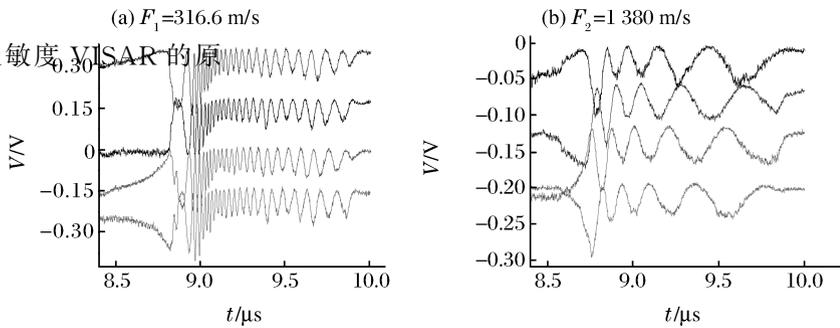


图 3 原始信号

Fig. 3 Original signal recorded in experiment

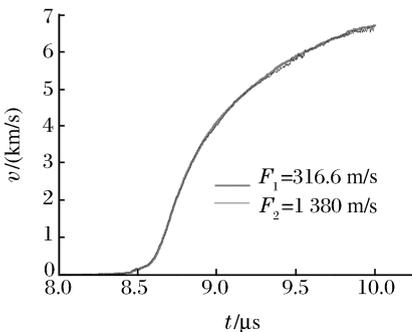


图 4 Mylar 飞片的自由面速度历史

Fig. 4 Free surface velocity history of Mylar flyer

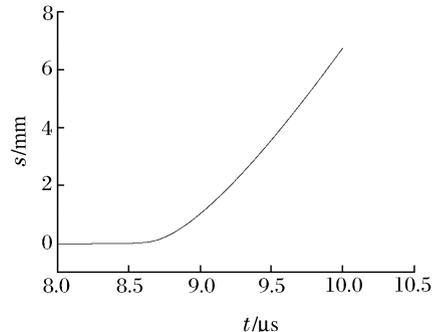


图 5 Mylar 飞片的位移历史

Fig. 5 Displacement history of Mylar flyer

4 讨 论

实验结果表明,电炮加载镀膜铝飞片的加速过程约 $1.6 \mu\text{s}$,最终速度达到 6.7 km/s 。但需要指出的是,整个测试过程非常困难,不但需要解决高压放电以及等离子体爆炸等带来的强电磁干扰、强杂光等问题,而且更需要解决铝膜的加工工艺问题。对于强电磁干扰、强杂光可以采用金属屏蔽和加线宽很小的滤波片来解决。为了更高精度地反映 Mylar 膜飞片自由面速度,要求铝膜非常薄(约 $0.2 \mu\text{m}$),给镀膜工艺带来很大的困难,容易造成镀膜不均匀,甚至存在没有镀膜的小漏洞,镀漫反射铝膜的反射率过低,膜承受的激光辐射功率过低等问题。解决这些难题有两个途径:一是提高探头的收集效率;二是改善膜的光学特性。笔者认为探索 Mylar 膜飞片镀铝膜的工艺技术,是解决测速问题最有效的途径,根据既能满足测试功率又能获得很好速度数据的要求,探索铝膜合适的制作工艺。

5 结 论

采用双灵敏度 VISAR 测试技术,很好地测得了电炮加载下 Mylar 膜飞片自由面的速度历史。实验结果表明,当充电电压为 18 kV 时,整个自由面速度的测试过程约 $1.6 \mu\text{s}$,最终速度达 6.7 km/s 。

参 考 文 献:

- [1] Chau H H, Memilan C F, Osher J E. Application of a fabry-perot velocimeter to high speed experiments[R]. VCR-98483, 1998.
- [2] Schwartz J J. Unique passive diagnostic for slapper detonator[R]. SAND-94-0246C, 1994.
- [3] Chau H H. Electric gun: a versatile tool for high-pressure shock-wave research[J]. Review of Science Instruments, 1980, 51(12):1676—1681.
- [4] 陈光华,李泽仁,刘元昆. 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.

Experimental study on velocity of a film flyer driven by electrical gun

DENG Xiang-yang^{*}, ZHAO Jian-heng, MA Dong-li, PENG Qi-xian

(Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics,
Mianyang 621900, Sichuan, China)

Abstract: Free surface velocity histories of a film flyer driven by electrical gun at charging voltage of 18 kV were measured using bi-sensitivity VISAR. The experimental setup, testing method, and experimental results are given in this paper. Several key factors for velocity measurement are discussed. The whole testing process lasted $1.6 \mu\text{s}$, and the final velocity reached at 6.7 km/s .

Key words: mechanics of explosion; flyer velocity; VISAR; film flyer; electrical gun; bridge

* Corresponding author: DENG Xiang-yang
E-mail address: adson0001@163.com
Telephone: 0816-2484178