

文章编号: 1001-1455(2002)04-0343-04

高灵敏度 VISAR 研究与设计*

彭其先, 马如超, 李泽仁, 刘俊, 刘元坤, 邓向阳, 陈光华, 王容
(中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 针对 VISAR 测速系统中的速度灵敏度问题, 提出了折返式标准具设计, 有效地提高了现有仪器的速度灵敏度, 并就此设计进行了动态实验, 实际测试了炸药驱动钢飞片自由面速度历史, 取得了较好的测试结果。

关键词: 激光测速; 干涉仪; 条纹常数; 标准具

中图分类号: O436.1 文献标识码: A

1 引言

广泛应用于冲击波与爆轰物理研究领域的 VISAR (Velocity Interferometer System for Any Reflector) 测试技术, 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特性^[1-3]。

决定 VISAR 速度灵敏度的参数是仪器所采用的延迟器件的长度。长度越大, 其条纹常数越小, 速度灵敏度越高。但在加工中, 对器件材料和加工技术要求越高, 所需费用相应增加。而器件的材料和加工质量直接影响干涉信号的质量, 并制约了仪器速度分辨本领和测试精度。

美国 VALYN 公司研制的标准具长度可达约 500mm, 其商业化的仪器条纹常数达到了 100m/s (VALYN-04 型 VISAR)。采用透镜延迟系统的 VISAR, 理论上可使干涉仪条纹常数达到 15.8m/s^[4], 但在具体实现时, 难度很大。

本文中采用标准具的 VISAR 系统提出了新的延迟器件结构设计。

2 设计思路

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

带有样品运动所致多普勒频移的激光束进入干涉仪后, 经分束器 (Splitter) 分为左右两光臂。右边的光路安置有一个标准具 (Etalon), 使端镜 M_3 的成像位置在 M_3' , M_3' 与另一端镜 M_1 关于分束器共轭, 从而使 M_1 和 M_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, 使得在合束时右边光路存在一时间延迟 τ , VISAR 测量速度就是依据左光路的 t 时刻与右光路的 $t-\tau$ 时刻两个多普勒光相干涉产生的干涉图, 解析出速度信息。

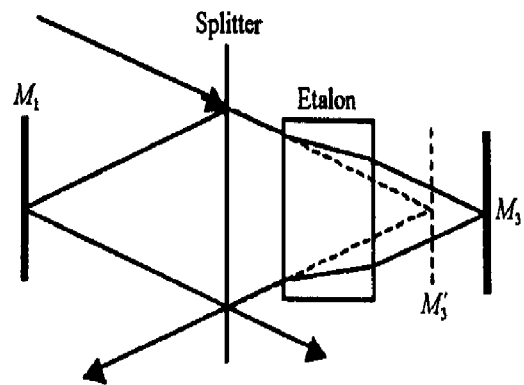


图 1 VISAR 结构简图

Fig.1 Schematic of the VISAR

* 收稿日期: 2001-07-05; 修回日期: 2001-09-03

作者简介: 彭其先 (1970—), 男, 硕士, 工程师。

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

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

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

式中: c 为真空内的光速; n 为标准具折射率; λ_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

$$v(t) = FN(t) \quad (3)$$

式中: $N(t)$ 是记录到的干涉条纹个数。

由(2)式可以看出, 条纹常数与标准具的长度成反比, 标准具越长, 条纹常数越小, 则 VISAR 的测速灵敏度越高。从(3)式, 对于一定的速度源而言, 条纹常数相当于测量标尺, 其数值越小, 对应的干涉条纹计数越多, 测量越精确。因而在设计 VISAR 时都加大标准具的长度以减小条纹常数, 提高仪器的速度灵敏度。实际上, 在加大标准具长度的同时, 又要保证标准具在选材和加工中波长量级的精度要求, 特别是大尺寸高精度光学胚料的熔炼、加工和镀膜工艺, 这是很难做到的。

基于此, 对标准具的结构进行了新的设计, 如图 2。采用较短的标准具 $ABCD$, 在前端面 AD 分区镀析光膜和高反射膜, 在后端面 BC 分区镀增透膜和高反射膜。入射光由前端面析光膜分光后, 一路直接反射, 另一路进入标准具内, 并在标准具内前后两端面高反射膜之间多次反射后才离开标准具, 这样一来实际增加了标准具的有效长度, 相应增加了延迟臂的延迟时间。按照棱镜展开方法, 标准具相当于单次通过的图中虚线所示的标准具 $AB'C'D'$ 。例如用 150mm 长的标准具, 使光束在其内来回反射三次, 其延迟功能相当于 450mm 长的标准具。

设计中将图 1 中的分束器和右端镜分别集成在图 2 标准具的前端面 (M_2) 和后两端面 (M_3) 上, 简化了光学元件和仪器调节结构。这个设计有几个优点:

(1) 相同条纹常数下, 降低了标准具加工的难度。如 450mm 的标准具, 国内需要专门的研究课题来实施; 而 150mm 的标准具现在是很容易加工的。

(2) 采用这种折反光路, 同 V 形结构单次延迟标准具 VISAR 相比, 可以减少所用光学元件, 简化仪器内部结构, 使整机结构更简洁、小巧, 从可靠性上来讲, 也会较大地提高整机光学系统的可靠性。

(3) 减少光学加工和机械加工的费用, 特别是光学加工的费用。

3 实验结果与讨论

采用上述设计方案, 实际设计了 $\varnothing 130\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的标准具, 光束在其内来回反射三次, 相当于 450mm 的标准具。标准具材料为 UBK7 玻璃, 折射率为 1.5, 照明激光波长为 532nm, 设计条纹常数为 100m/s, 整个系统采用四探头 VISAR 结构, 记录系统采用 H6780 光电倍增管。

实验装置如图 3。静态调试表明, 该设计是成功的, 干涉条纹的形状和对比度较好。动态实验采用炸药加载的方式驱动钢飞片, 并测量飞片自由面的速度过程。

图 4 为记录到的干涉信号, 其中 (b) 为 (a) 中高频部分的放大。图 5 为对应的钢飞片自由面速度历史曲线。

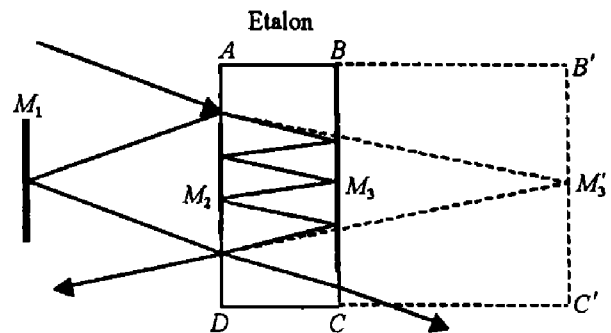


图 2 折反式标准具结构

Fig. 2 Design of the multireflection etalon

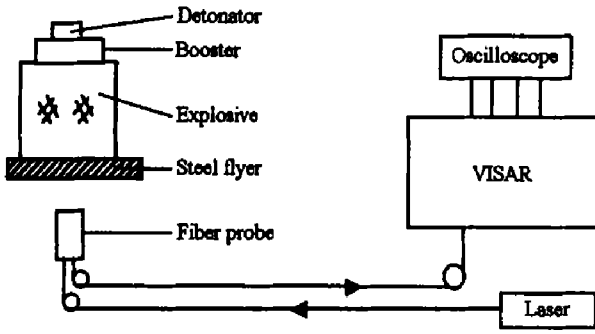


图 3 实验装置图
Fig.3 Experimental diagram

从实验结果可以看出，新设计的 VISAR 记录到的干涉信号有较好的信噪比，速度历史曲线也实时反应了飞片的物理过程。

实验中同时使用了较为成熟的条纹常数为 400m/s 的单次通过标准具 VISAR 对表面速度进行了测量。将两者对比看出，条纹常数为 100 m/s 的折反式 VISAR 的测速分辨率高，记录到的干涉条纹数明显增多，更能反应速度过程中的微小变化。

实验中，速度历史曲线前沿的 C 点出现在了 VISAR 测速中经常出现的条纹丢失现象，这是很正常的。特别是对高灵敏度的 VISAR 测量档，由于相同速度源下，对应的干涉信号频率更高，记录系统带宽往往有限而致使记录信号发生丢失。由图 4 (b)

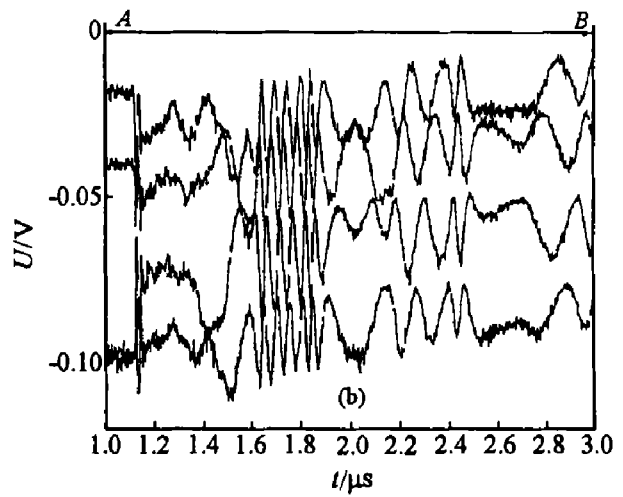
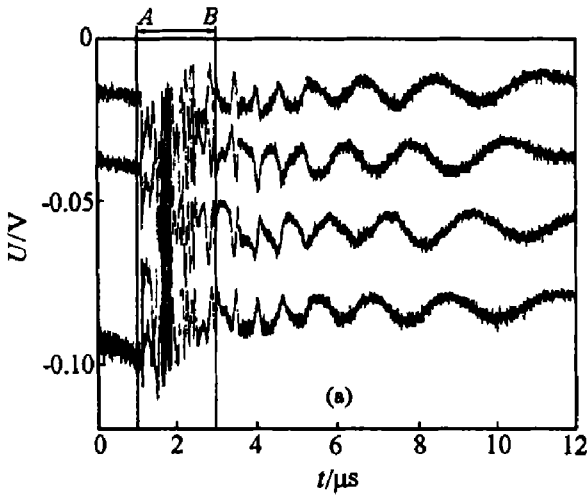


图 4 VISAR 干涉信号
Fig.4 VISAR origin data

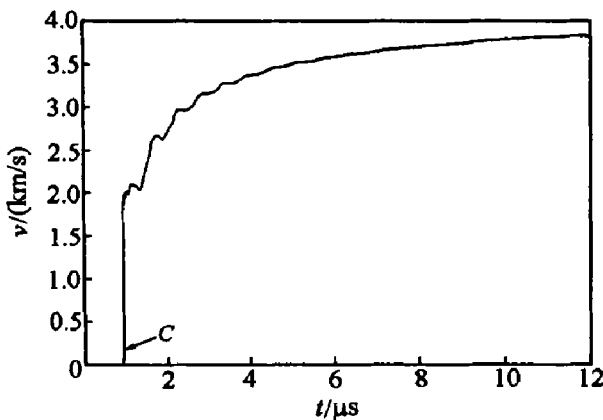


图 5 自由面速度曲线
Fig.5 Velocity-time curve at free surface

可见，信号频率因采用高灵敏度 VISAR 而大大提高，记录到的信号频率约在 100MHz 以内，这与示波器 500MHz 的采样频率所对应的信号频率是相吻合的。对丢失的条纹数可以通过双灵敏度测试的方法加以确定^[5]。

4 结 论

提出了折反式标准具的设计构思，并设计了等效于 450mm 长的折反式标准具和条纹常数为 100m/s 的高灵敏度 VISAR 系统。从钢飞片自由面的速度过程实验结果看，该项工作是成功的。在现有的加工技术条件下，该设计具有很重要的现实意义。

参考文献:

- [1] Barker L M, Hollenbach R E. Laser Interferometer for Measure High Velocities of Any Reflecting[J]. J Appl Phys, 1972, 43(11):4669-4675.
- [2] Hemsing W H. Velocity Sensing Interferometer (VISAR) Modification[J]. Rev Sci Instrum, 1979, 50(1): 73-78.
- [3] 李泽仁. JSG-1 型激光速度干涉仪的性能及其应用实例[J]. 爆炸与冲击, 1987, 7(3):271-275.
LI Ze-ren. Performances and Applications of Model JSG-1 Laser Velocity Interferometer[J]. Explosion and Shock Waves, 1987, 7(3):271-275.
- [4] 胡绍楼. 激光干涉测速技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001:57-59.
HU Shao-lou. Laser Velocity Interference Technogy[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2001:57-59.
- [5] 李泽仁, 姚建铨. VISAR 测速中的信号丢失及丢失条纹数的确定[J]. 爆炸与冲击, 1999, 19(2):182-187.
LI Ze-ren, YAO Jian-quan. Signal Loss and Determination of Lost Fringe Number in VISAR Application[J]. Explosion and Shock Waves, 1999, 19(2):182-187.

A High Sensitivity VISAR with Multireflection Etalon

PENG Qi-xian, MA Ru-chao, LI Ze-ren, LIU Jun, LIU Yuan-kun,
DENG Xiang-yang, CHEN Guang-hua, WANG Rong
(*Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang 621900, Sichuan, China*)

Abstract: A VISAR with a new type delay leg is presented in the paper. In this interferometer a multireflection etalon is designed for increasing the delay time and the velocity sensitivity, and it also has practical sense in lowering the process difficulty and cutting down the cost. With this new VISAR, an excellent experimental result for steel flyer driven by explosive is obtained.

Key words: VISAR; interferometer; fringe constant; etalon