

JSG-1型激光速度干涉仪

胡绍楼

王文林

马如超

研制了JSG-1型激光速度干涉仪,它是一种宽量程、双延迟支路系统,可用于测量任意反射表面运动参数随时间变化的规律。采用大功率氦-氖激光器作光源,光电倍增管作光电转换系统。仪器包括五个记录信道,以正交方式记录干涉仪信号,可以用作双延迟支路速度干涉仪,记录冲击波阵面处粒子速度跃变时爆发的总条纹数。仪器还包括采用变象管相机记录的接口,便于改装为光学记录的速度干涉仪系统(ORVIS)。

引言

在冲击波物理、流体动力学实验研究中,目前最感兴趣的测试量之一是速度-时间曲线。最近几十年内,为此发展了多种光电测试技术,例如高速摄影技术,各种电、磁传感器技术,以及激光干涉仪技术等。其中,激光干涉仪技术以特殊优点,正引起越来越大的兴趣。该技术适宜测量的压力范围可以从 10^5 帕到 10^{11} 帕,速度从0.1米/秒到近10千米/秒,而测量速度的时间分辨本领可达到纳秒至亚纳秒量级。尤其是VISAR——可用于任意反射表面的速度干涉仪系统,从1972年美国圣地亚实验室报导第一个装置之后^[1],这种仪器的发展和推广应用都得到很大的成功。美国利弗莫尔研究所1974~1979年改进他们的爆炸流体动力学测试设备,把引进激光多普勒干涉测量法作为流体动力学试验的一种标准诊断方法。认为“Fabry-Perot系统和VISAR这两种技术,目前在解释流体动力学现象方面作出了重大贡献。使我们首次能在理论计算和实验得到的速度数据之间直接进行定量比较”。

1982年第15届国际高速摄影及光子学会议的通信中^[2],报导了美国ATA公司研制的205型VISAR。该仪器条纹常数为20~2000米/秒/条纹,最高时间分辨本领约2纳秒,被认为是当前较为先进的仪器。

我们研制的JSG-1型激光速度干涉仪,其基本性能和205型VISAR相近,在使用性能和结构上并有一定改进。本文简要介绍该仪器原理、特点和性能。

原理和仪器特点

速度干涉仪光路原理见图1。

激光经有孔全反镜6射向待测样品4,被样品散射的光束由前置透镜收集送入仪器。当样品运动时,因多普勒效应,返回光束含有速度信息。光束进入仪器,经过缩径望远镜7和起偏器8以后,分为三部分。

第一部分经分束镜9送入光强监测探头V,用以监测光束强度变化,提高信号测试精度。

第二部分经分束镜10送入含有标准具延迟单元的干涉仪系统。该光束又经分束镜11分别送入直接支路和标准具延迟光路,当它们返回而重新叠加时,两光束因光程差别并且传输介质相异而含有不同时刻的多普勒信息,因此频率不同,除非样品速度是恒定的。叠加结果产

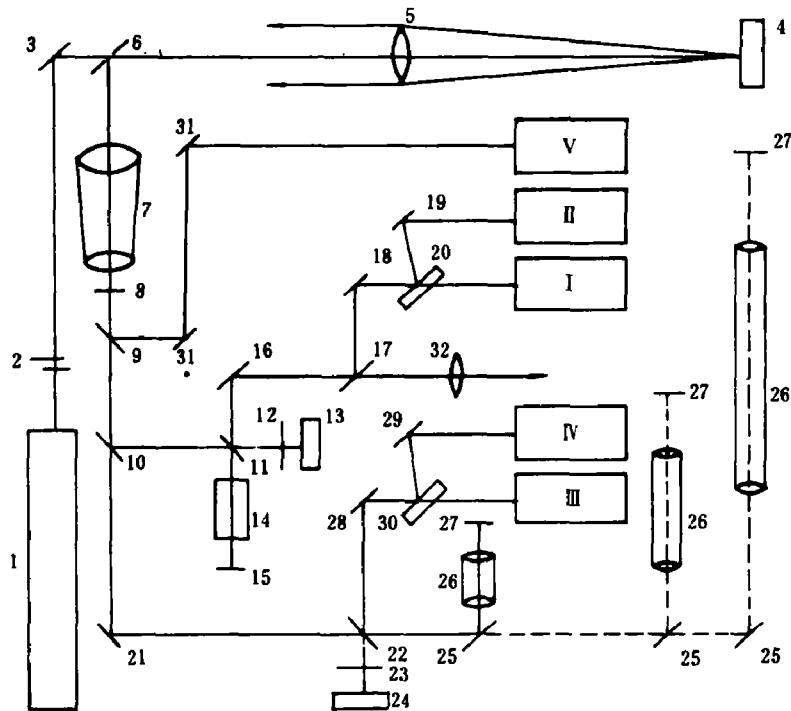


图1 JSG-1型速度干涉仪原理图

1. 激光器, 2. 快门, 3、13、15、16、17、18、19、21、24、25、27、28、29、31. 全反射镜,
4. 被测样品, 5. 前置物镜, 6. 有孔全反射镜, 7. 缩径望远镜, 8. 起偏器, 9、10、11、22. 分
束镜, 12、14. 标准具, 20、30. 偏振分束器, 26. 透镜系统, 32. 柱面镜

生调制在它们差拍频率的信号。另外, 因直接支路光束两次通过八分之一波片12, 使两偏振分量产生 $\pi/2$ 相位差, 因而叠加结果实际上产生相位差90度的两套信号。由偏振分束器20分别送入信号探头 I, II, 并用示波器进行记录。

信号频率和延迟时间内的速度变化成正比, 而记录的条纹数和速度成正比。速度和条纹数之间的关系可表示为

$$v(t) = \frac{\lambda}{2\tau} F(t) = k F(t) \quad (1)$$

其中 λ 是所用的激光波长, τ 是延迟支路相对于直接支路的延迟时间, $F(t)$ 是到 t 时刻记录到的条纹数。而 $k = \lambda/2\tau$ 指出每个条纹代表的速度变化量, 称为条纹常数, 由它决定干涉仪的测速灵敏度。

第三部分是透过分束器10的光束, 进入含有透镜组延迟单元的干涉仪系统, 相干原理和前者相同, 但两光束之间具有更长的延迟时间。本部分包括三种不同焦距的透镜组26, 移动反射镜25, 可得到三种不同的测速灵敏度。

JSG-1型激光速度干涉仪条纹常数 $k = 19.7$ 米/秒/条纹 ~ 2.78 千米/秒/条纹, 共分为7级测速灵敏度。各级可以单独使用, 也可以由两套干涉仪配合成为双灵敏度系统。

仪器中包括一个柱面镜32。调节干涉仪, 使它产生接近平行的干涉条纹花样。移开反射镜17, 通过柱面镜把光会聚成一条线, 然后经物镜聚焦在变象管相机的入口狭缝上。相机扫描, 就可得到样品速度随时间变化的记录。激光速度干涉仪和变象管相机的这种结合方式, 在

国外称为ORVIS (Optically Recording Velocity Interferometer System), 是VISAR 仪器近年内的重要发展方向之一。用这一技术可大大提高VISAR 的时间分辨本领。例如圣地亚实验室曾用IMACON790相机和VISAR 配合, 把时间分辨本领提高到300 皮秒⁴⁾。

JSG-1 型激光速度干涉仪和205型VISAR 相比, 有以下特点:

1. JSG-1 型可以配合成多种双灵敏度测试系统。因为仪器产生的信号频率和延迟时间内的速度变化成正比, 虽然延迟时间 τ 很小 (本仪器为0.114~16.1纳秒), 但冲击波前的速度跃变仍会产生超出仪器频响范围的信号频率, 因而造成条纹丢失。双灵敏度系统可以帮助我们找到丢失的条纹数。

2. JSG-1 型带有变象管相机输入接口, 易于改装为ORVIS。已经指出, 这是VISAR 仪器的重要发展方向之一。

3. 本仪器采用大功率氦-氖激光器作光源, 和205型VISAR 的氩离子激光器光源比较, 操作和维修都大大简化了。

4. 因为包含的元件较多, 仪器采用了立体结构设计, 使用时只要移动一个反射镜就可完成更换测速灵敏度的工作。

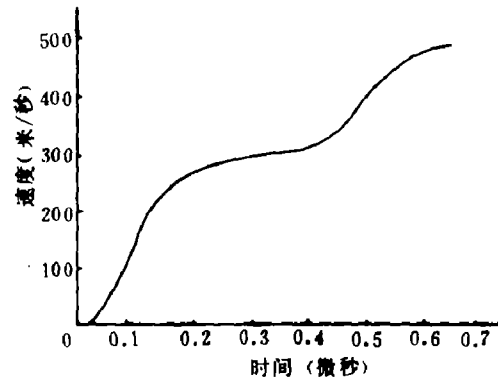
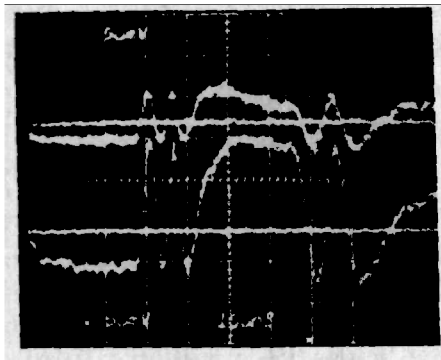
主要技术性能:

1. 测速范围: 几十米/秒~几千米/秒。
2. 条纹常数: 19.7米/秒/条纹~2.48千米/秒/条纹。
3. 速度分辨本领: 小于2米/秒。
4. 测速误差: 小于3% (速度大于40米/秒时)。
5. 仪器固有时间分辨本领: 0.114~16.1纳秒。
6. 检测系统: 光电倍增管上升时间小于2.5纳秒。输出幅度大于0.1伏, 负载50欧。
7. 光源: 大功率氦-氖激光器。单模功率大于25毫瓦。
8. 电源: 220伏, 50赫。
9. 主机外形尺寸: 115×52×40厘米

应用范围和实例

激光速度干涉仪的应用领域正在开发中。目前已经开展的应用包括: 一维和多维冲击波传播, 爆轰学研究, 高速碰撞及对材料的冲击响应, 激光、高能粒子束和物质的相互作用, 内外弹道学研究, 快速活塞和阀门运动等。

图2是使用JSG-1型激光速度干涉仪作的一次试验照片和处理结果。试验用于测量 $\phi 50 \times 1$ 毫米钨飞片的自由表面速度。用T/B炸药加载。为了改善冲击波波形, 使用了一个炸药透镜来引入平面爆轰波。试验表明, 本仪器可以得到很好的信噪比。



(a) 实验记录

(b) 测量的钨片自由面速度

垂直灵敏度: 50毫伏/格, 水平扫描100纳秒/格

图2 试验照片和处理结果

直接参加这项工作的还有俞诚、张玉松、李泽仁、戴静华等同志。上海激光技术研究所、大连光学仪器厂等单位为本仪器加工了主要的光学元件, 本文采用的试验照片取自李泽仁、李大红等同志所作的试验, 向他们致以谢意。

参 考 文 献

- [1] Barker, L. M., Hollenbach, R. E., *J. Appl. Phys.*, **43**(1972), 4669.
- [2] Carpluk, G. T., *UCRL - 52000 - 79 - 1*, (1979).
- [3] Isbell, W. M., *High Speed Photography and Photonics Newsletter*, Vol. 1, No. 1, (1982).
- [4] Bloomquist, D. D., Sheffield, S. A., *J. Appl. Phys.*, **54**(1983), 1717.

MODEL JSG-1 LASER VELOCITY INTERFEROMETER

Hu Shaolou Wang Wenlin Ma Ruchao

Abstract

A laser velocity interferometer of JSG-1 model is developed. It is a wide range measuring system having a dual-delay legs part which makes it effectively in measuring the time history of the velocity of any moving reflector. A high power He-Ne laser is used as its light source and photomultipliers as the optic-electronic converting system. The instrument possesses five channels, recording the interference signals crosswisely. As a dual-delay-leg velocity interferometer, it can record the total fringe counts bursted accompanying with the discontinuous jump in particle velocity at shock fronts. With its access to the image converter camera, it can also be re as-

sembled as an ORVIS.

岩石钻井中充水测量地震纵波的研究

陈裕泽

本文分析了岩石钻井注水测量地震纵波的可能性, 给出岩石和水中力学量的转换关系, 并利用水中测量加速度在石油地震模拟试验现场获得结果。

在地震勘探石油的模拟实验中, 为了获得震源附近岩石的应力波信号, 通常是利用专门的推靠系统将传感器紧贴钻井井壁进行测量。这种深井推靠检波器耗资惊人, 必需改变。我们使用岩石钻井注水, 将传感器悬浮于水中测量地震纵波, 在野外现场测试获得结果。

本文给出应力波作用下, 岩石力学量与柱形水井中力学量的关系, 介绍实际测量的一些结果。实践表明, 该方法操作简便, 成本低廉, 便于推广实施。

一、理论推导

假设在岩石中有半径为 a 的钻井, 其截面如图一所示, 井内外介质弹性常数分别为 $\rho_2, \mu_2, \lambda_2; \rho_1, \mu_1, \lambda_1, \rho$ 为密度, λ, μ 为 Lamé 常数。

考虑到水的无粘特性, $\mu_2 = 0$, 假设在无限弹性的岩石介质中, 入射平面弹性纵波碰到钻井水腔时, 将产生反射波和折射波, 前者与后继入射波综合在岩石中形成新的应力波场, 后者进入水腔形成驻波, 按文献(2)相应的位移和应力表达式为

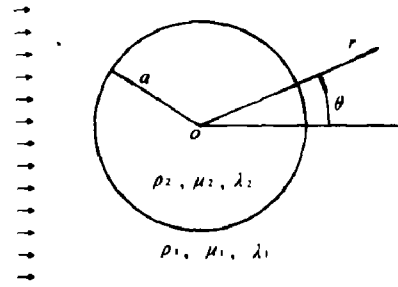


图1 钻井模型

$$\begin{aligned}
 u_{r,1} &= \frac{1}{r} \sum_{n=0}^{\infty} [\varphi_0 \varepsilon_n i^n \varepsilon_{11}^{(1)}(a_1, r) + A_n \varepsilon_{11}^{(1)}(a_1, r) \\
 &\quad + B_n \varepsilon_{12}^{(1)}(\beta_1, r)] \cos n\theta e^{-i\omega t} \\
 u_{r,2} &= \sum_{n=0}^{\infty} C_n a_2 J_n'(a_2, r) \cos n\theta e^{-i\omega t} \\
 \ddot{u}_{r,2} &= - \sum_{n=0}^{\infty} C_n a_2 \omega^2 J_n'(a_2, r) \cos n\theta e^{-i\omega t} \\
 \sigma_{r,1} &= \frac{2\mu_1}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_0 \varepsilon_n i^n \varepsilon_{11}^{(1)}(a_1, r) + A_n \varepsilon_{11}^{(1)}(a_1, r) \\
 &\quad + B_n \varepsilon_{12}^{(1)}(\beta_1, r)] \cos n\theta e^{-i\omega t}
 \end{aligned}$$