

流场显示中的 NYAB 激光动态剪切干涉术

明 海 伍永安 王 奎 尹协振 谢建平

(中国科学技术大学, 合肥 230026)

黄奕川 陈 光

(中国科学院福建物构所, 350002)

Dynamic shearing interferometry with NYAB laser in flow visualization

Ming Hai, Wu Yongan, Wang Kui, Yin Xiashen, Xie Jianping

(University of Science and Technology of China, Hefei)

Huang Yichuan, Chen Guang

(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Academia Sinica, Fuzhou)

Abstract: The shearing interferometry of holographic doubling grating by Nd:Y_{1-x}Al₃(BO₃)₄(NYAB) laser to measure flow field of shock tunnel with M=4.46 is reported. The quantitative evaluation of a shearing interferogram for an axisymmetric density field on a 15 half angle cone is performed and the result is compared with theoretical values.

Key words: flow visualization, NYAB laser, shearing interferometry

本文报道把微型的 NYAB(硼酸钕钇铝)自倍频激光器用于风洞流场动态剪切干涉测量的工作。

一、测量原理

本文采用双频光栅剪切干涉法^[1]测量风洞流场,原理光路如图 1 所示。由透镜 L_1 扩束的 NYAB 激光束经透镜 L_2 准直成平行光通过风洞试验段 T , 经透镜 L_3 把光束会聚, 全息双频光栅 DH 放置在 O 附近。由双频光栅一级衍射波干涉, 未引入位相物体时在观察屏 K 处形成的剪切条纹的间距^[2]为

$$S = d'(\cos \theta_1 + Z/D) \quad (1)$$

这里 d' 和 θ_1 分别为全息双频光栅的拍周期和一级平均衍射角, Z 是观察屏 K 到光栅 DH 的轴向距离, D

是透镜 L_3 的焦点 O 到双频光栅 DH 的间距。如果引入位相物体, 剪切条纹将发生漂移, 用 ΔS 表示条纹漂移量, 则剪切条纹的相对漂移量 $\Delta S/S$ 为

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta \varphi}{2\pi} = \frac{\Delta y}{\lambda} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\partial n(x, y, z)}{\partial y} dz \quad (2)$$

这里 Δy 是干涉条纹的剪切量, (2)式表示相对条纹漂移量正比于折射率在 y 方向上的梯度

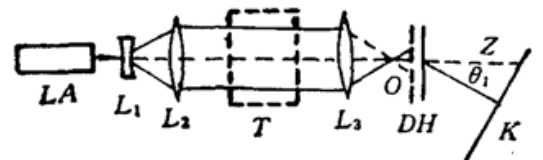


Fig. 1 Optical configuration to measure flow field by shearing interferometry

值。对于气体介质来说,折射率 n 与密度 ρ 的关系由 Glaston-Dale 公式: $n-1=K\rho$ 相联系,这里 K 是常数,于是(2)式可以写成

$$\Delta S/S = \frac{\Delta y \cdot K}{\lambda} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\partial \rho(x, y, z)}{\partial y} dz \quad (3)$$

二、流场显示实验和结果

实验在 JB-430 型激波风洞内进行,实验气流马赫数 4.46,实际采用的光路如图 2 所示。和图 1 的光路相比较,这里用一个焦距为 3 m,直径为 300 mm 的球面反射镜 M 代替了前后两个会聚透镜 L_2 与 L_3 ,使实验空间缩短了一半,减少了加工的困难,球面反射镜一般能够做得比较大,适合宽阔的风洞流场研究。实验中 NYAB 激光器的晶体尺寸为 $\phi 3 \times 13$ mm,用 $\phi 3 \times 15$ mm 的微型氙灯作泵浦源,腔长 52 mm,输出波长 530 nm,光谱半宽度约 0.217 nm,发散角为 0.93 mrad,单脉冲能量约 1 mJ,静态脉宽 10 μ s,用染料片调 Q 后脉宽为 10 ns。整个激光器件连同电源外形尺寸只有 $13 \times 7 \times 5.5$ cm³。用 He-Ne 激光束通过 NYAB 晶体来校准光路, L_1 为扩束镜, S 为半透光板, C 是照相机,富士 400 型胶卷为记录材料。实验用的双频光栅的拍频周期 $d' = 0.416$ mm,衍射效率约 20%,一级平均衍射角 $\theta_1 = 15.94^\circ$ ($\lambda = 530$ nm)。为了使剪切干涉图上圆形的风洞试验窗不致变成椭圆状,有利于直观的观察、计算和确定激波角等,把双频光栅转动一个倾角 $\theta_0 = \arcsin\left(\frac{1}{2} \sin \theta_1\right)$ 。

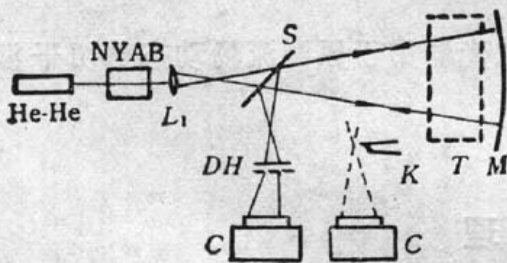


Fig. 2 Experimental setup to measure flow field by NYAB laser shearing interferometry

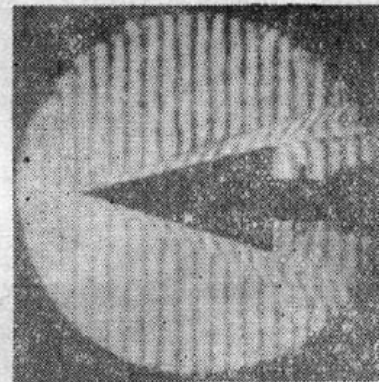


Fig. 3 Shearing interferogram of the cone flow field photographed by NYAB laser

图 3 是用 NYAB 激光器拍摄的一个半角 15° 圆锥模型的轴对称流场剪切干涉图。在数据处理时,应用由图 1 光路推导的公式,条纹漂移量要修正一个因子 $\beta = 0.9075$,这时条纹的剪切量由下式决定:

$$\Delta y = \frac{f\lambda}{d' \cos \theta_0} \frac{\frac{S}{d' \cos \theta_0} - 1}{\cos^2 \theta_0 + \frac{S}{d' \cos \theta_0} - 1} \quad (4)$$

上式的 f 和 λ 分别为球面反射镜的半径和光源的波长,本实验中 $\theta_0 = 7.89^\circ$ 。

由图 3 剪切干涉图解出了 $\rho(r)/\rho_0$ 的数值结果,锥面密度场的实测值与理论值的最大误差是 6%。考虑到激波受圆锥表面光洁度及喷管扰动波的影响,与理想锥形流比较有一定偏

差,从这一点来谈实验值和理论曲线在一定的误差范围符合得较好,说明了 NYAB 激光剪切干涉法测试风洞流场的有效性。如果采用 CCD 检测条纹,微机进行实时数据处理,将对用 NYAB 激光剪切干涉术测试风洞流场走向实用化具有重要意义。

参 考 文 献

- 1 Ming Hai, Xie Jianping, Fu Shaojun, *Proc. SPIE.* 814, 618(1987)
- 2 谢建平,明海,盛定远,《仪器仪表学报》,9(3),324(1988)

(收稿日期: 1990 年 6 月 18 日)

单模光纤受激喇曼散射的脉冲倒空

赵华正 朱克荣*

(安徽大学物理系,合肥 230039)

Pulse depletion of monomode fiber SRS

Zhao Huasheng, Zhu Kerong

(Department of Physics, Anhui University, Hefei)

Abstract: Stimulated Raman Scattering (SRS) in germanium-doped silicate monomode fiber are discussed in the visible light range. The pump and three orders of Stokes pulses depleted by their next Stokes pulse have been obtained. Each Stokes pulse is shorter than that of the previous order.

Key words: monomode fiber, SRS, Depletion

单模光纤 SRS 的实验用的是 Nd:YAG 调 Q 倍频激光作泵浦源,用快速雪崩二极管探测光脉冲信息,用存储示波器记录波形,光路如图 1。图中 1 是 JGM-1 型色心调 QNd:YAG 激光器,倍频后($0.53\mu\text{m}$)脉宽为 20 ns,输出能量为 $125\mu\text{J}\sim 100\text{mJ}$ 。2 是滤去 $1.06\mu\text{m}$ 剩余光的滤光片,3 是分束片,4 是 LPE-IA 激光功率/能量计,以监视输入能量,5、7 是耦合透镜,6 是光纤,8 是单色仪,9 是 Ge-ApD 雪崩二极管,10 是 PM3266 型存储示波器,上升时间 1 ns,最小可分辨 3.5 ns。

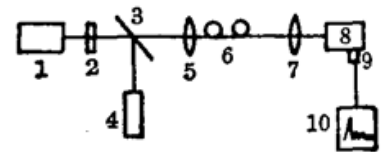


Fig. 1 The scheme of experimental arrangement used for SRS in fiber

对于芯径为 $8\mu\text{m}$ 的 $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$ 单模光纤,长 165 m,入射能量为 $30\mu\text{J}$ 时,得到一组脉冲波形。图 2(a)~(d)中,(a)是经 SRS 激发分光后泵浦光的波形,(b)、(c)、(d)分别是 1、2、3 级斯托克斯光脉冲的波形。输入光纤的泵浦光是一个完整的脉冲,而经 SRS 激发分光后,泵浦光及各级斯托克斯线的脉冲波形中间都有一个凹陷,这说明前一级被后一级倒空。虽然在 SRS 过程中存在群速色散,但因色散小,光纤短,色散可以不计。喇曼光子几乎与入射光子同

* 现在安徽大学实验与计算中心。