

# 全光纤激光多普勒测速技术的研究

向 永 江

(南京航空学院测试中心, 南京 210016)

## 提 要

介绍一种全部采用普通单模光导纤维作为光路的激光多普勒测速系统。在该系统中采用普通单模光纤声光频率偏移装置实现被测流场速度方向的判别; 以单模光纤偏振控制器控制光纤中激光偏振态, 与常规激光多普勒测速系统相比, 该系统结构简单, 体积小、调整方便, 而且测速探头具有极好的移动灵活性。

关键词 单模光纤; 多普勒效应, 频率偏移, 偏振控制。

## 1 引 言

由于通常激光多普勒测速系统采用各种分离的玻璃光学元件构成光路, 系统结构复杂, 体积庞大, 并对光学元件的安装有极苛刻的机械精度和稳定性的要求, 增加了调整使用的复杂性, 特别是测量探头的体积大, 移动的灵活性很差, 使这种先进技术在许多重要场合的应用受到了限制。

近年来, 光导纤维技术的日趋成熟以及光纤无源器件、小型化光电探测器件的迅速发展为发展小型化、结构简单、调整方便的光纤激光多普勒测速技术提供了极为有利的条件。本文论述一种设计研究的光纤激光多普勒测速系统及其实验结果。该系统由普通单模光纤构成激光多普勒测速光路, 采用光纤频率偏移装置取代常规的布喇格声光调制偏频元件(Bragg Cell), 以实现被测流场速度方向的判别, 同时采用单模光纤偏振控制器取代晶体  $\lambda/4$  波片及  $\lambda/2$  波片元件, 实现激光束偏振态的调整, 从而构成了全光纤激光多普勒测速系统。

## 2 基本 原 理

激光多普勒测速技术的光路系统一般可分为双光束差动式、参考光式和单一光式三种<sup>[1]</sup>。在双光束差动式光路系统中运动粒子散射光的多普勒频差与观测的方位无关, 信噪比大, 是应用最广泛的一种光路系统。

在双光束差动式激光多普勒测速系统中, 激光束被分为强度相等具有一定夹角的两光束, 该两光束在相交处将产生明暗相间的等距离干涉条纹, 如图 1 所示, 当流体中的微粒子越过该干涉条纹区时, 粒子将产生散射光, 散射光信号是干涉条纹强度信号的调制, 调制频率  $\Delta f_d$  称为多普勒频移, 它与垂直于条纹的速度分量成正比。可以证明,  $\Delta f_d$  与粒子的运动速度有以下关系

$$\Delta f_d = \frac{1}{\lambda} V_e \cdot 2 \sin(\phi/2) \tag{1}$$

式中  $\lambda$  为激光波长,  $\phi$  为两光束之间的夹角,  $V_e$  为运动粒子垂直于干涉条纹的速度分量。速度方向的判别通常是使双光束中的一束激光产生频率偏移, 使干涉条纹以恒速向一个方向移动, 从而使粒子散射光的强度调制频率取决于粒子运动速度与干涉条纹移动速度之和。如其中一激光束的频率偏移量为  $\Delta f_s$ , 粒子运动的正向速度和反向速度分别用  $+V_e$  和  $-V_e$  表示, 则粒子散射光的调制频率可表示为:

$$\Delta f_d = \Delta f_s \pm \frac{1}{\lambda} V_e \cdot 2 \cdot \sin(\phi/2) \tag{2}$$

因此, 只要判别多普勒频率是大于  $\Delta f_s$ , 还是小于  $\Delta f_s$ , 就能实现速度方向的判别。

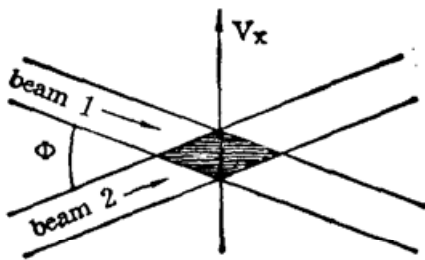


Fig. 1 Schematic diagram of interference pattern in a differential LDV

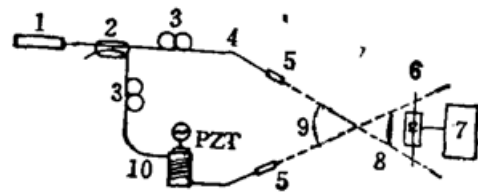


Fig. 2 Schematic diagram of all fibre LDV  
 1—laser 2—fibre coupler 3—polarization controller  
 4—single mode fibre 5—selfoc lens 6—photodetector  
 7—spectrum analyser 8—lens 9—laser beams 10—frequency shifter

图 2 为全光纤双光束差动式激光多普勒测速系统示意图。来自激光器的激光束, 由 3dB 光纤耦合器分为强度相等的两光束, 它们分别通过两根普通单模光纤后以某一角度会聚形成干涉区。被测流场的粒子通过该区时产生的散射光经透镜聚焦后由半导体光电探测器 (PIN) 检测, 光电探测器输出的多普勒频率信号经放大器放大后输给频谱分析仪。

构成全光纤光路的一个重要指导思想是设计研制新型的光纤元件来取代常规的玻璃光学元件。在上述系统中, 一条光纤光路中采用了自行设计研制的普通单模光纤声光频率偏移装置 (取代常规的 Bragg cell) 使一束激光得到一定的频移量, 以实现被测流场速度方向的判别。由于激光器发出的线偏振光经单模光纤出射后一般成为偏振方向任意的椭圆偏振光, 影响两束光的干涉效果。为了实现对两束光经光纤出射后偏振态的控制和调整, 在两光纤光路中都采用了自行设计研制的单模光纤偏振控制器, 以取代一般的  $\lambda/4$  波片和  $\lambda/2$  波片。正是由于采用了以上两个单模光纤元件构成了完全连续的光纤光路, 因此它们是构成全光纤激光多普勒测速系统的两个关键性元件。有关它们的详细工作原理可参阅文献 [2, 3]。

### 3 实验结果

在全光纤激光多普勒测速系统中, 作者设计了一个频率偏移量为 1MHz 的单模光纤频率偏移器。实验结果表明, 该光纤频率偏移器成功地实现了频率偏移, 其偏移值与设计值完全相符, 并且不希望有的边带被抑制达 30 dB。在该系统中采用了外腔式氦氖激光器作光

源,其发出的激光为波长  $0.6328\ \mu\text{m}$  的线偏振光,实验表明根据该波长设计研制的光纤偏振控制器能方便地将光纤出射端的光束调整成所需方向的线偏振光。

为了验证图 2 所示全光纤激光多普勒测速系统的性能,本文以常规激光多普勒测速系统粒子发生器产生的粒子流为被测对象,该粒子流的流动速度由美国引进的 TSI 公司的激光多普勒测速系统标定.将静止的具有毛糙表面的有机玻璃片放在干涉区作为被测运动速度为零的状态来观察频谱分析仪的信号。

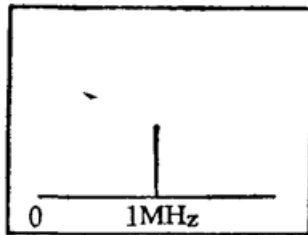


Fig. 3 Doppler signal for  $V_z=0$

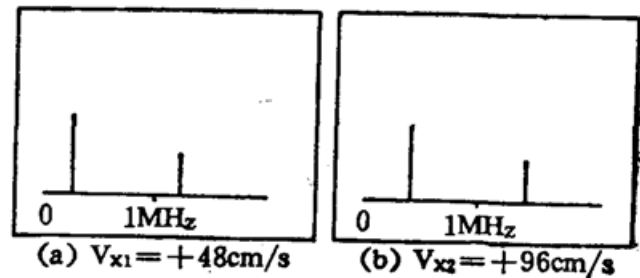


Fig. 4 Doppler signal for  $+V_z$

当被测速度为零时,从频谱分析仪上得到的多普勒频率信号为  $1\text{MHz}$ ,如图 3 所示,等于光纤频率偏移器的偏移频率,当被测运动速度  $|V_z| > 0$  时,正向速度和反向速度所得的实验结果分别如图 4 和图 5 所示,在图中对每种情况还表示了两个不同的速度值  $V_{z1}$  和  $V_{z2}$ ,并且  $|V_{z1}| < |V_{z2}|$ .从图中可见,同时出现一种较强的频谱信号和一种较弱的频谱信号,其中较弱的频谱信号是由包含有频移光波的两散射光经光电探测器外差检测产生的.实验结果表明,多普勒频率和偏移频率(在本实验中为  $1\text{MHz}$ )之差与散射粒子的速度成正比,并且此两频率差的符号对正向速度和反向速度是相反的,从而实现了速度方向的判别,实验结果与理论分析完全相符.图中较强的频谱信号是由两光束中频率未偏移的成分产生的多普勒频率,它与粒子运动的正、反向运动速度都成正比,亦能用来测量被测速度的大小,但不能反映速度的方向,因此这个多普勒信号是多余的,在信号处理时可设法将它去掉。

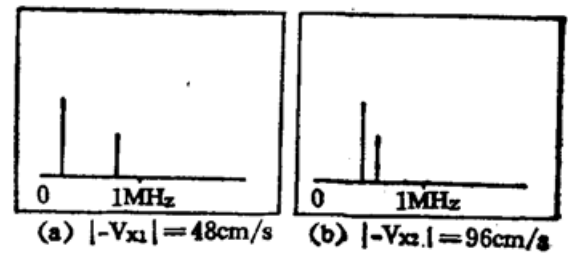


Fig. 5 Doppler signal for  $-V_z$

## 4 结 论

综上所述,本文的实验成功地实现了一种新型的全光纤激光多普勒测速系统.在该系统中采用光纤耦合器作为分束器,单模光纤声光频率偏移器实现被测流场速度方向的判别,单模光纤偏振控制器调整光束的偏振态.该系统模型所得的实验结果为激光多普勒测速系统的全光纤化提供了理论和实验依据.如进一步采用小型化半导体激光器作光源,偏振保持光纤作光路,则光纤系统将为激光多普勒测速技术的小型化、低成本、使用的方便和灵活性开辟更美好的前景。

## 参 考 文 献

- [1] F. Durst, A. Melling, J. H. Whitelaw, *Principles and Practice of Laser-Doppler Anemometry*. New York: Academic Press Inc, 1981: 86~104
- [2] J. Ji, D. Vttam, B. Culshaw, Acousto-optic Frequency Shifting in Ordinary Single-mode Fibre. *Electronics Letters*, 1986, **22**: 1141~1142
- [3] H. C. Lefevre, Single-mode Fibre Fractional Wave Devices and Polarisation Controllers. *Electronics Letters*, 1980, **6**: 778-780

**Investigation of all fibre laser Doppler velocimetry**

XIANG YONGJIANG

(Measurement Center, Nanjing Aeronautical Institute, Nanjiang 210016)

(Received 29 November 1991; revised 10 February 1991)

**Abstract**

A laser Doppler velocimeter system in which ordinary single-mode optical fibre is used to form the all optical paths is described. The velocity direction sensing is performed by an acoustic-optic frequency shifter using ordinary single-mode fibre. Single-mode fibre polarisation controllers are used to provide adjustment of the polarisation state in fibre exits. This system is simple, miniature, flexible and easy to adjust because of the all fibre configuration.

**Key words** single-mode optical fiber, Doppler effect, frequency shifting, polarisation control.