

遥控脉冲激光多普勒测速仪

邓锡铭 吴兆庆 唐贵琛 梁培辉
高福源 龚亮贤*

(中国科学院上海光机所)

提要: 介绍一台脉冲激光遥控测速仪的结构和实验结果。光源是双脉冲放电激励的染料调Q红宝石激光器,用标准具做光谱分析仪。在250米的距离可测定合作目标瞬刻的飞行速度。

A remote controlled pulsed laser Doppler velocimeter

Deng Ximing, Wu Zhaoqing, Tang Guishen
Liang Peihui, Gao Fuyun, Gong Liangxian

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The structure and the experimental results of a remote controlled pulsed laser Doppler velocimeter is described. Using dye for Q-switching, a ruby laser pumped with double pulse discharge was used as the light source and an etalon as the spectral analyzer. This system has been used to measure the temporal velocity of the cooperated object in the range of several kilometers per second.

引言

激光多普勒测速仪目前已有系列化产品。但就作者所知,这些仪器大都使用连续波激光作光源,用光电法测量频移,它们比较适合于在实验室内测量流体内小颗粒的运动速度。但在测量被高功率激光或冲击波加速的高速靶面运动速度时,直接用光谱仪记录波长移动要比测量相位移动方便得多^[1]。

本文报导一个遥控脉冲激光多普勒测速装置,以法布里-珀罗标准具为光谱分析器。

在距离飞行靶250米外测出靶的飞行速度,测量范围在几公里/秒的量级。

装置

当探测光束垂直于靶面时,反射波的多普勒波长移动为

$$\Delta\lambda = 2\lambda \frac{v}{c} \quad (1)$$

其中 λ 为探测光束波长, v 为靶的法向速度,

收稿日期:1982年12月20日。

* 参加工作的还有乔福堂、王国兴、项诚、李绳式等同志。靶场实验还有许多所外同志,在此不一一列出。

c 为光速。如果已知被测物速度的量级, 可以选择合适的标准具间隔尺寸 t , 使得 $\Delta\lambda$ 正好落在参考光束的模级间隔之内, 则 $\Delta\lambda$ 就由干涉环级间隔 dm 决定。多光束干涉的基本公式为

$$2t \cos \theta = m\lambda \quad (2)$$

其中 θ 为进入标准具光束的入射角, 如 $\cos \theta = 1$, 则有

$$v = \frac{c\lambda}{4t} dm \quad (3)$$

dm 就是信号光与参考光干涉环距离与参考光的级差(数据处理方法见[2]), 假定被测对象的速度在 1~5 公里/秒, 由(3)式可以计算出 $t \geq 1$ 厘米。自由光谱范围为 $\lambda^2/2t = 0.25 \text{ \AA}$, 设激光器谐振腔长 $L_{\text{腔}}$, 纵模模式间隔 $\frac{c}{2L_{\text{腔}}}$, 很容易得出自由光谱范围最多可容纳的纵模模式数为 $L_{\text{腔}}/t$ 。如 $L_{\text{腔}} = 0.5$ 米, 则此数为 50。室温下红宝石 R_1 线的线宽为 11 厘米^{-1} 。如果激光器的增益很高而又没有纵模限制措施, 纵模数超过 50 是可能的。由此可见激光器的纵模数应该限制到一个。在相干的条件下, 若脉冲的宽度为 Δt , 从 $\Delta t \Delta \nu \approx 1$ 的关系中可得 $\Delta \nu \approx 1/\Delta t$, 当 $\Delta t = 10^{-8}$ 秒, $\Delta \nu \approx 1/3 \times 10^{-2} \text{ 厘米}^{-1}$, 为自由光谱范围即级间间隔的 1/100 左右。这是仪器测量的最佳相对误差值。

实验装置如图 1。它包括激光器 1、发射望远镜 2 和接收望远镜 4、光学瞄准 5、法布里-珀罗标准具和照相机 6。发射望远镜输

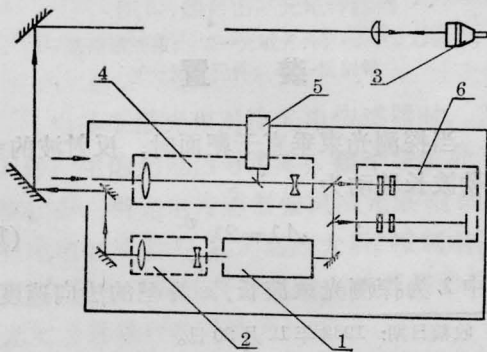


图 1 主机光路系统

出孔径 $\phi 60.5$ 毫米, 倍率 6.5, 接收望远镜为 $\phi 150$ 毫米, 15 倍。标准具间隔 $t = 1$ 厘米, 反射率 $R = 95\%$ 。其中一只标准具单独记录参考光的光谱, 参考光直接取自激光器高反射腔板的输出。

靶场测量实验

我们研制的脉冲激光测速仪主要应用在靶场对飞行靶 3 作遥测, 距离 $L = 250$ 米。为了实现如此长距离的光学测试, 在靶前放 $f = 2$ 米的透镜, 这样反射的信号光将具有较好的方向性, 增加了进入接收望远镜的能量。

被测靶是 $\phi 120 \times 4$ 毫米的铝板, 表面光洁度 $\nabla 5$, 它由炸药平面波发生器的冲击波推进, 实验就是测量起爆一段时间(~几微秒)之后铝靶的飞行速度。

用这个系统我们曾做过静态的模拟实验, 结果表明, 当靶面离开透镜的距离为焦距 ± 10 毫米时, 标准具拍下的干涉环的强度约下降一半。离焦 ± 20 毫米, 仍能得到较清晰的照片。结果也表明, 当靶面法线与光线夹角小于 30° , 均可取得反射光的数据。

电学操作系统示于图 2。在主脉冲放电(下转第 852 页)

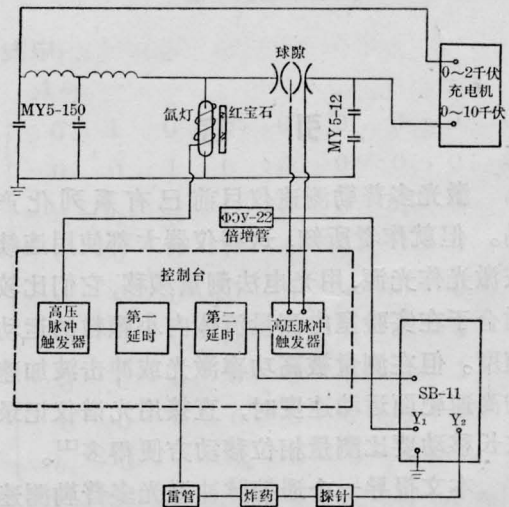


图 2 主机电控系统

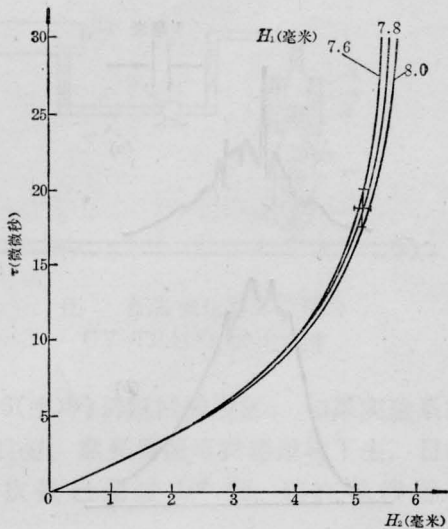


图5 空间测量误差对脉宽测试结果的影响

结 论

以一维二极管列阵和普通示波器为显示设备, LiIO_3 为倍频晶体, 采用非共线倍频的排布, 我们测出钽玻璃锁模激光脉冲的平均

脉宽, 并清楚地显示出脉冲的亚结构, 表明这种实验装置可以测出零点几微微秒到几十微微秒的脉冲宽度。这种装置具有价格低廉、设备简单、调整方便等优点。很适宜在使用固体微微秒激光器的实验室内作实时测量和监视的常规设备。

参 考 文 献

- [1] D. J. Bradley; in *Ultrashort Light Pulses*, ed. by S. L. Shapiro. (Springer Verlag, 1977), p. 28.
- [2] J. Janszky *et al.*; *Optics Com.*, 1977, **23**, No. 3, 293.
- [3] R. N. Gyuzalian *et al.*; *Optics Com.*, 1979, **29**, No. 2, 239.
- [4] C. Kolmeder *et al.*; *Optics. Com.*, 1979, **30**, No. 3, 453.
- [5] 梁培辉等;《中国激光》, 1983, **10**, No. 2, 117.
- [6] A. Yariv; *Introduction to Optical Electronics*, Second Edition, 1976, p. 45.
- [7] G. Nath, S. Haussuhl; *Appl. Phys. Lett.*, 1969, **14**, No. 5, 154.
- [8] H. P. Weber, H. G. Danielmeyer; *Phys. Rev.*, 1970, **A2**, No. 5, 2074.

(上接第 844 页)

之后 t_1 时间, 触发二次脉冲, 同时将信号送入双线示波器。在 Δt_1 之后产生激光脉冲, 光信号由光电倍增管送入示波器, 这样便可以获得激光输出时间的数据。

在 t_1 的触发信号也同时触发雷管, 引爆炸药, 同时在靶上装有电探针, 将靶起动的时刻也输入到示波器的另一线。从示波器上可以得到靶与激光的同步时间——激光输出时刻与靶起飞时刻的时间差。

为了使测量时靶正好落在靶前透镜的焦距上, 靶与透镜的距离大于焦距, 即留有提前量。用这种方法记录反射光束的多普勒频移量, 其测量误差主要来源于对 F-P 干涉环的判读精度。

小 结

运用我们研制的脉冲激光多普勒测速仪, 成功地在 250 米以外测到了配合目标的飞行速度, 速度范围在公里/秒量级, 数据稳定重复。但仍存在一些待改进的地方。激光器的同步时间与纵模数的矛盾还没有消除, 照相法记录固然有不怕电干扰的优点, 但不能做到实时测量。因此有必要改进激光器, 并考虑使用光电子学读出方法, 使用微处理机, 实现数据自动处理, 实时显示。

参 考 文 献

- [1] S. P. Obenschain *et al.*; *Rev. Sci. Instrum.*, 1980, **51**, No. 12, 1661.
- [2] 唐贵琛等;《激光》, 1979, **6**, No. 1, 39.
- [3] 梁培辉等;《激光》, 1979, **6**, No. 4, 40.