

465-468

# CO<sub>2</sub> 相干激光多普勒测速的研究

蔡喜平 赵远 戴永江 孙东松 葛春风  
(哈尔滨工业大学应用物理系, 黑龙江, 哈尔滨, 150001)

**A 摘要** 叙述了运用CW CO<sub>2</sub>相干激光雷达测量运动目标速度的原理和实验装置,并给出了实验结果.测速精度为0.01m/s,速度分辨率为0.05m/s,外场试验表明,对于漫射目标,作用距离200m.

**关键词** 激光雷达,相干探测,测速.

TN958.98

## 引言

激光多普勒测速的基本原理是根据目标运动造成的多普勒频移  $f_d$  来测量径向速度  $V$ , 即  $V = \lambda/2 \cdot f_d$ , 其中  $\lambda$  是辐射光源的波长. 很显然, 在速度一定的情况下, 波长越短, 多普勒频移越大. 目前, 运用工作于可见光区域的高功率气体激光器, 如: 0.633 $\mu$ m 的 He-Ne 激光及 0.488 $\mu$ m 和 0.514 $\mu$ m 的 Ar<sup>+</sup> 激光器测量速度的技术已经相当成熟, 但是工作于这些波段的多普勒激光测速仪工作距离很短, 最远只能测量几十 m<sup>[1]</sup>. CO<sub>2</sub> 相干激光雷达是提高作用距离的最佳选择. CO<sub>2</sub> 激光工作波长为 9.2~10.9 $\mu$ m, 其中辐射最强的一支(P20)为 10.59 $\mu$ m, 对径向运动速度为 1m/s 的目标, 所产生的多普勒频移是 189kHz. 这样, 即使对一个以 100m/s 速度运动的目标, 其多普勒频移也只有 18.9MHz, 这也在探测器的响应带宽之内. 另外 CO<sub>2</sub> 激光对大气的穿透能力强, 是大气传输的一个窗口; CO<sub>2</sub> 激光波长较长, 易于实现相干探测; 经适当的扩束后对人眼没有损害; CO<sub>2</sub> 激光器的能量转换效率高约 10%. 由于上述优点, CO<sub>2</sub> 激光是相干激光雷达的良好光源, 已经引起了国内外的关注.

## 1 实验装置及测量原理

CO<sub>2</sub> 激光多普勒测速装置, 普遍采用相干探测原理, 如图 1 所示. 图 1 中的  $\lambda/4$  波片与  $\lambda/2$  波片被认为是实现相干探测必不可少的, 但制备比较困难. 本文提出了图 2 所示的实验方法, 去掉了  $\lambda/4$  波片与  $\lambda/2$  波片, 简化了实验光路, 减小了实验装置的体积. 图 2 中 CW CO<sub>2</sub> 激光经分束镜分为两束, 一束作为本振光, 另一束作为信号光, 信号光由光学天线发射至目标, 又经目标反射回光学天线, 光学天线所接收到的回波信号经分束镜反射至全反镜, 经全反镜反射至探测器表面与本振光混频, 从而实现相干探测. 其中回波信号的频率为  $f_s$ , 振幅为

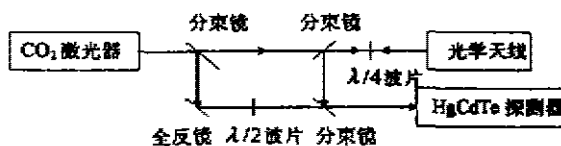


图 1 相干探测原理图  
Fig. 1 Principle diagram of typical coherent detection system

$E_s$ ; 本振信号的频率为  $f_{L0}$ , 振幅为  $E_{L0}$ . 由于探测器在这些频率的非线性特性, 探测器的输出电流中包含了一个频率为  $f_{HBT} = f_{L0} - f_s$ , 幅度正比于  $E_{L0} * E_s$  的量. 由于  $E_{L0}$  可以任意大, 相干探测的灵敏度可达量子噪声限. 若发射频率和本振频率相同, 则此时差频  $f_{HBT}$  就等于目标的多普勒频移  $f_d$ .

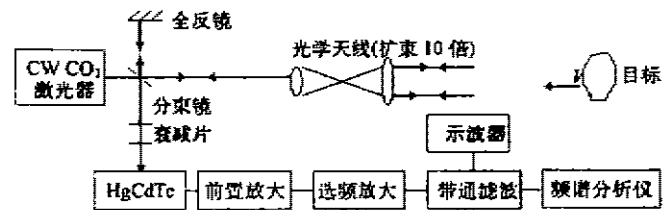


图2 CO<sub>2</sub>激光测速装置示意图  
Fig. 2 Schematic diagram of CO<sub>2</sub> laser velocimeter

## 2 测速实验

用图3所示的速度模拟器作为目标, 通过控制驱动源的电压来控制电机的转速, 用一个计数器来记录其转速, 进行了目标速度测量精度的实验. 图4是目标(速度模拟器)距接收机约10m远处时测量的速度曲线. 由图4可以得到测速精度为0.28m/s. 图5是在频谱仪上观察到的位于约10m远处的人沿视线方向以约1.5m/s速度运动时的多普勒差频信号, 其中频谱仪所选取的参数为: 频散200kHz/格, 带宽1kHz, 增益50dB. 所观察到的差频信号距零频1.5格, 即多普勒差频信号为300kHz. 图6是图5对应的波形. CO<sub>2</sub>激光多普勒测速装置的性能参数见表1.

表1 CO<sub>2</sub>激光多普勒测速装置性能参数  
Table 1 Performances of CO<sub>2</sub> laser Doppler velocimeter

CO <sub>2</sub> 激光器	CW 稳频, TEM <sub>00</sub>	功率(W)	3.5
频率稳定度(s)	10 <sup>-5</sup>	功率稳定度(%)	±0.58
束散角(mrad)	2θ=5.1	工作波长(μm)	10.6
探测器	单元 HgCdTe	速度分辨率(m/s)	0.05
测速精度(m/s)	0.01		

## 3 外场试验的结论

从80年代开始研究, 一直处于实验室研究阶段. 我们利用所建立的CO<sub>2</sub>激光相干多普勒测速装置进行了外场试验. 主要观察了大街上来往的汽车所产生的多普勒频移及波形; 以及气温在-18℃及4~5级风力情况下, 气温及环境对测速的影响; 对目标的振动特性进行了研究; 同时研究了利用测量目标的多普勒频移进行目标识别的可能性.

经过外场试验可以得出以下结论:

(1) 试验测量汽车运动速度范围大致为0.1~2.7m/s, 受当时气候的影响及实验场地的限制, 实际车速在0~3m/s以内, 测量结果与实际情况相吻合.

(2) 所建立的CO<sub>2</sub>相干多普勒测速装置在当时实验条件下, 对于漫射目标, 最大作用距离为200m.

(3) 测量速度分辨率为0.05m/s.

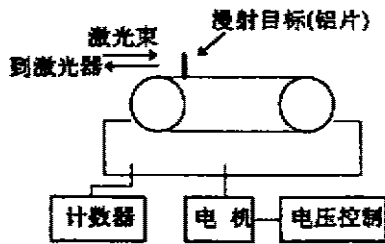


图 3 速度模拟器示意图  
Fig. 3 Schematic diagram of velocity simulator

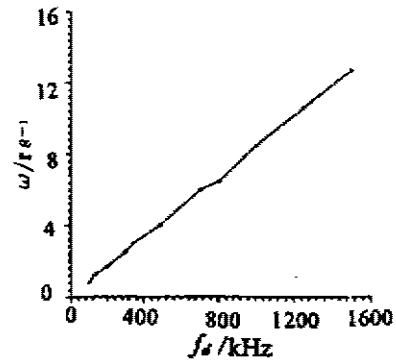


图 4 速度曲线  
Fig. 4 The measured curve of velocity



图 5 沿视线方向运动产生的多普勒差频信号(200kHz/格,1.5格)  
Fig. 5 Doppler difference frequency signal induced by a man walking along the corresponding line of sight



图 6 与图 5 对应的波形  
Fig. 6 Waveforms corresponding to Fig. 5

(4) 差频信号幅度与目标的反射率关系很大,如白色汽车所产生的差频信号幅度要比棕色汽车所产生的差频信号幅度大很多,而对黑色汽车则几乎观察不到差频信号.

(5) 利用所建立的测速装置,通过测量多普勒频移进行目标识别是可能的.

(6) 通过对电吹风在不同方向上、不同风力时多普勒频移的观察,得到此装置测量风速范围约为 1.2~8.4m/s.

(7) 此装置进一步改进后,可用于大气环境测量、风场测量、云层高度测量、目标振动特性分析、直升机避障等.

### 参考文献

- 1 Vaughan J M, Forrester P A. *Wind Engineering*, 1989, 13(1):1~15
- 2 Sepp G, Breining A, Eisfeld W. *et al.* In: *Coherent Laser Radar: Technology and Applications*. SPIE, 1989, 1181:296~300
- 3 Wolfgang K. In: *Coherent Laser Radar Technology and Applications*. SPIE, 1989, 1181:301~306
- 4 David C. Soreide, John A. McGarvey, In: *Laser Radar VI*. SPIE, 1991, 1416:280~285

## CO<sub>2</sub> COHERENT LASER DOPPLER VELOCIMETRY

Cai Xiping Zhao Yuan Dai Yongjiang Sun Dongsong Ge Chunfeng

(*Applied Physics Department, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China*)

**Abstract** The principle and the experimental setup to measure the velocity of Moving targets by the CW CO<sub>2</sub> coherent laser radar were described, and the experimental results presented. The accuracy is 0.28m/s and the velocity resolution is 0.05m/s. The outdoor experiments indicate that the working range of the laser radar could attain to 200m when the target is a diffuser.

**Key words** laser radar, coherent detection, velocimetry.