

双斜射非对称激光多普勒测速仪

杨开健

(北京航天光新科技有限公司, 北京 100000)

摘要: 一种双斜射非对称车载激光测速装置,在参考光束型激光多普勒测速探头其激光入射到行驶面前的激光路径上设置小夹角分光棱镜。参考光束型激光多普勒测速探头入射到行驶面上的激光被小夹角分光棱镜分成夹角为 α 的两束出射光入射到行驶面上。沿两束出射光原方向返回的两束地面散射光一起作为信号光,参考光束型激光多普勒测速探头中的参考光和与信号光在参考光束型激光多普勒测速探头中的光电探测器的光敏面上进行混频,光电探测器收集参考光和信号光混频形成多普勒信号传输至信号处理单元,信号处理单元分别提取出两束出射光对应的多普勒频率,实现速度解算。本发明可以解决测量时安装角难标定和车辆颠簸影响测量精度的问题。

关键词: 双斜非对称;激光多普勒

Double-oblique-incidence asymmetric vehicle-mounted laser velocity measurement device

Yang Kaijian

(Beijing Hangtianguangxin Technology Company Limited)

Abstract: A vehicle-mounted dual-oblique asymmetric laser velocity measurement device is provided. A small-angle splitting prism is installed on a laser path where the laser beam of the reference-beam LDV probe is incident onto a driving surface. The laser beam is split by the small-angle splitting prism into two emergent beams having an included angle α for incidence onto the driving surface. Two ground-scattered light beams returning along the original direction of the two emergent beams are used as signal light together. Reference light is mixed with the signal light on a photosensitive surface of a photodetector of the reference beam LDV probe. The photodetector mixes the reference light and the signal light to form Doppler signals for transmission to a signal processing unit. The signal processing unit extracts the Doppler frequencies corresponding to the two emergent beams separately, to implement velocity calculation. The problems of the difficulty in calibrating the installation

angle and the impact of vehicle bumping on the measurement accuracy during measurement are solved.

Keywords: double oblique incidence asymmetric; laser Doppler

1 传感器设计背景和应用价值

1.1 设计背景

激光多普勒测速仪常见的测量模式有三种：参考光模式、自混合模式及双光束差动模式。在激光多普勒测速仪的车载应用场合中，参考光模式最合适。这是因为，一方面车辆运行过程中车辆离地面的距离是不断变化的，而双光束差动模式无法进行离焦测量，车辆上下颠簸会导致信号丢失；另一方面，自混合模式通过检测激光器后端输出光强的波动频率来测速，工作电流和外界温度的变化对多普勒频率的测量精度影响非常大，使得自混合模式的测速精度不高。但是参考光模式中发射倾角变化带来的测量误差。本设计方案巧妙运用双斜射非对称结构消除了车辆运行过程中的颠簸导致发射倾角的变化对速度测量精度的影响。

1.2 应用价值

本方案涉及一种双斜射非对称车载激光测速仪，是一种用于测量车辆运动速度的仪器，更具体而言是利用两束斜射非对称激光束对应的多普勒频率以及两束光的夹角测量车辆相对于大地的速度，这里用双斜射非对称激光束代替传统一束斜射激光，可以解决测量时安装角难标定和车辆颠簸影响测量精度的问题，在车载自主导航系统中有非常广泛的应用。

2 创新点与优势

(一) 巧妙地利用小夹角分光棱镜出射两束激光均斜入射到地面上，根据两束光对应的多普勒频率和两束光的夹角即可推算出车辆的运行。车辆运行的速度仅与两束光的夹角相关，与两束光的发射倾角无关，消除了车辆运行过程中的颠簸导致发射倾角的变化对速度测量精度的影响。

(二) 系统根据两束光对应的多普勒频率和两束光的夹角还可以实时测量出两束光的发射倾角，即可以求得载体在运行过程中俯仰角的变化。

(三) 系统仅在传统参考光束模式结构的基础上增加了一个小夹角分光棱镜，以及信号处理算法上进行了适当的调整。系统保持了结构简单、可靠性高和成本低等优点。

3 实现方案简介

3.1 设计原理

为克服传统参考光模式激光测速仪在车载应用中的上述缺点，本项目提供一种双斜射非对称车载激光测速装置及测速方法。

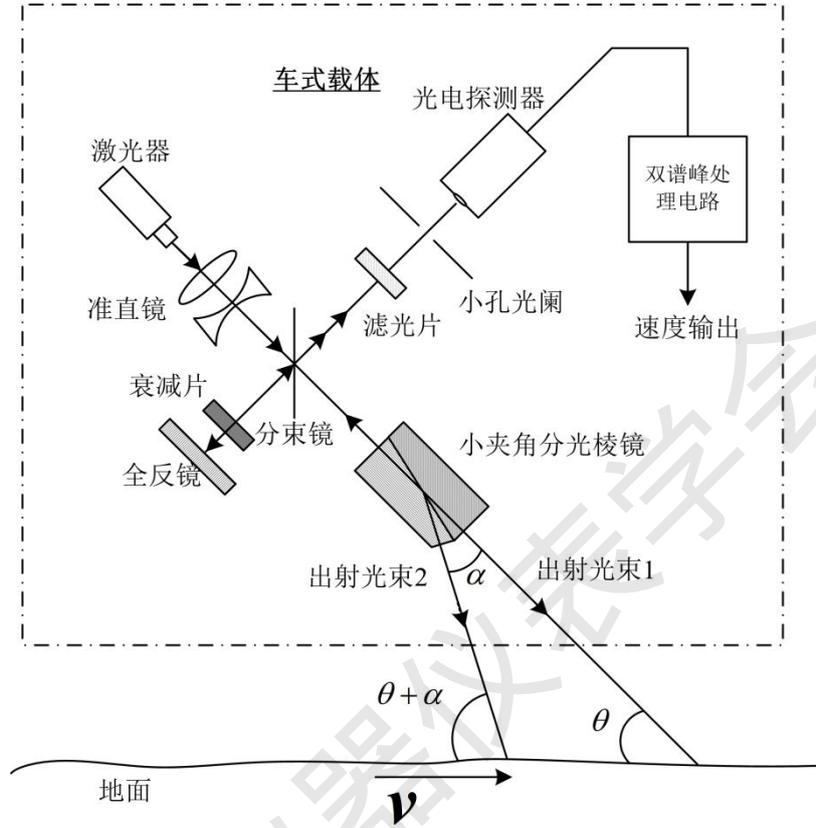


图1 双斜射非对称车载激光测速系统的总体结构

本发明所采用的技术方案是：双斜射非对称车载激光测速系统的总体结构如图1所示。整个激光测速仪固联在车式载体上，测量车辆相对于地面的运动速度。激光器出射的激光经准直镜准直后，由分束镜分成强度相等的两束光，一束经衰减片和全反镜沿原方向返回，再经过分束镜、滤光片和小孔光阑入射到光电探测器上，为参考光；另一束被小夹角分光棱镜分成夹角为 α 的两束光入射到运动表面上，这两束光各自的沿原方向返回的散射光，合在一起为信号光。由于两束光的发射倾角不同，与传统参考光模式不同这里的信号光包含两个不同的频率。同样，参考光与信号光在光电探测器的光敏面上进行混频，得到两个不同的多普勒频率

$$f_{D1} = \frac{2v \cos \theta}{\lambda} \quad (1)$$

$$f_{D2} = \frac{2v \cos(\theta + \alpha)}{\lambda} \quad (2)$$

其中 f_{D1} 是出射光束1沿原方向返回的散射光与参考光混频后对应的差频，即出射光束1对

应的多普勒频率； f_{D2} 是出射光束 2 沿原方向返回的散射光与参考光混频后对应的差频，即出射光束 2 对应的多普勒频率。 α 是出射光束 1 与出射光束 2 的夹角，其大小由小夹角分光棱镜决定，其准确值由生产厂家提供。

联立（1）式和（2）式，可得

$$v = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha} \sqrt{f_{D1}^2 + f_{D2}^2 - 2f_{D1}f_{D2} \cos \alpha} \quad (3)$$

$$\theta = \arctan \frac{f_{D1} \cos \alpha - f_{D2}}{f_{D1} \sin \alpha} \quad (4)$$

由（3）式可知，通过探测出射光束 1 对应的多普勒频率 f_{D1} 和出射光束 2 对应的多普勒频率 f_{D2} ，结合已知的两束光的夹角 α 即可推算出车辆运行的速度 v 。显然，车辆运行的速度 v 仅与两束光的夹角 α 相关，与两束光的发射倾角 θ 和 $\theta + \alpha$ 无关，即车辆运行过程中的颠簸导致发射倾角的变化，不会影响车辆运行速度的测量。另外，由（4）式可知，两束光的发射倾角 θ 和 $\theta + \alpha$ 也可以通过多普勒频率 f_{D1} 、 f_{D2} 以及两束光的夹角 α 实时求得。

3.2 设计方法

双斜射非对称车载激光测速系统中运用的小夹角分光棱镜是由两个棱镜胶合而成，如图 2 所示，胶合面镀透反比为 1:1 的分光膜，入射面和出射面镀增透膜。

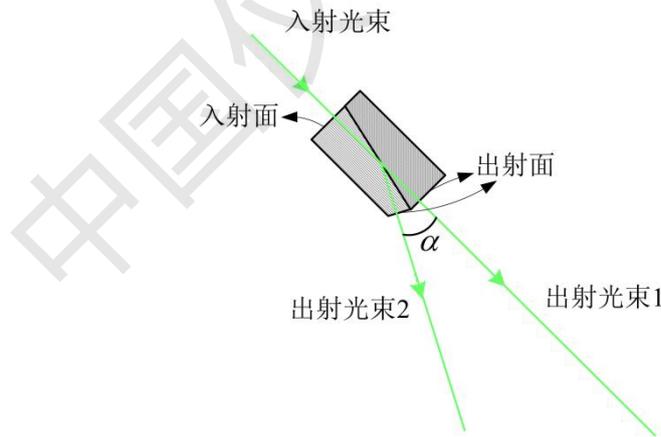


图 2 小夹角分光棱镜光路结构图

双斜射非对称车载激光测速系统中的多普勒信号中包含两个不同的多普勒频率 f_{D1} 和 f_{D2} ，因此，系统中的信号处理电路是一种双谱峰处理电路，主要功能是精确提取出两个多普勒频率。虽然，双谱峰处理电路中信号处理算法也是基于 FFT 谱分析的算法，但是与传统信号处理电路的算法只搜寻一个多普勒谱峰不同，双谱峰处理电路中信号处理算法需要同

时搜寻两个多普勒谱峰，然后再进行速度解算。

3.3 实验验证过程

实验中，选用国营第 459 厂 DZL-1 型电子里程计进行结果比对。该里程计转动一圈会产生 120 个 TTL 脉冲信号，根据测量的位移和所用时间可以求出载体的运行速度，在车轮不变形，不打滑的前提下，速度精度优于 0.1%，可以以其测量值作为速度标准，计算 LDV 速度测量的相对精度。两种方法测量的结果如图 3 所示。由图 3 可知，LDV 测得的结果与里程计测得的结果很吻合，以里程计测得的速度为基准，LDV 速度测量的相对误差小于 1%。另外，由图 3 易知，这段时间内 LDV 测得的结果比里程计要多得多，这是因为与里程计相比，LDV 输出数据的速率更快(LDV 数据更新频率为 25Hz，而里程计数据更新频率为 1Hz)。

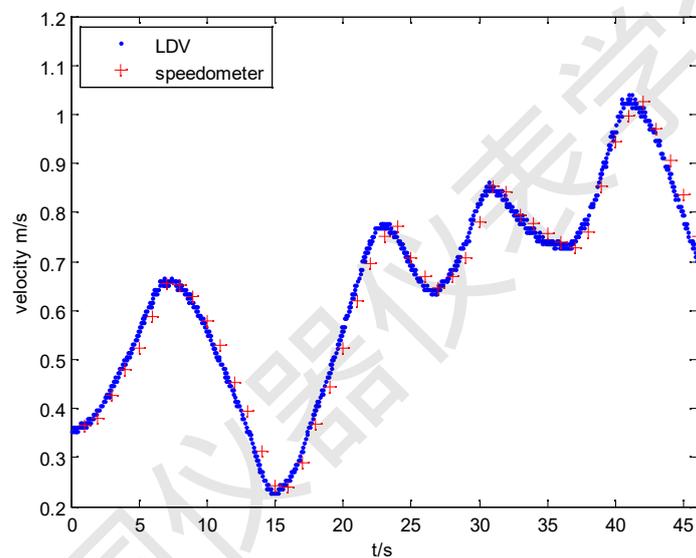


图 3 两种方法测量结果的比较