

光栅调制两维激光多普勒测振装置

孙渝生 唐开元 张自栋

(上海市激光技术研究所)

提要: 描述一台两维激光多普勒测振装置, 介绍其基本原理、组成部分及工作过程。试验表明这一装置可以满意地测量两维平面振动, 亦可用于两维平面运动的测量。

Two dimensional laser Doppler vibrometer with a grating modulator

Sun Yusheng, Tang Kaiyuan, Zhang Zidong

(Shanghai Institute of Laser Technology)

Abstract: This paper describes the principle structure and operation process of a two dimensional laser Doppler vibrometer. The test shows that two dimensional planar vibration as well as the movement in two dimensional plane can be satisfactorily measured by this device.

一、基本原理

利用激光射到运动物体上所产生的多普勒效应可以测量运动物体的速度^[1]。如果在基于这一原理的差分式激光多普勒测速仪光路中预置光频移, 就可以辨别物体的运动方向^[2], 将这两者结合起来, 就可测量物体的振动。我们的装置利用旋转光栅分光, 并同时起频率偏移作用, 代替一般激光多普勒测振装置中的光束分裂器和昂贵的频移装置——声光调制盒及激励源, 并省去了必需与声光盒配合使用的频率综合器。因而使用方便, 价格低廉, 更为重要的是: 可以同时测量垂直于光轴平面内二个方向上的振动。

我们的两维激光多普勒测振装置如图1所示。由外腔式氦-氖激光器输出的线偏振

光束经由透镜 l_1 会聚于旋转光栅, 通过光栅产生零级光及 $\pm 1, \pm 2, \dots, \pm n$ 等多级衍射光, 这里仅取零级光及 ± 1 级两束衍射光。

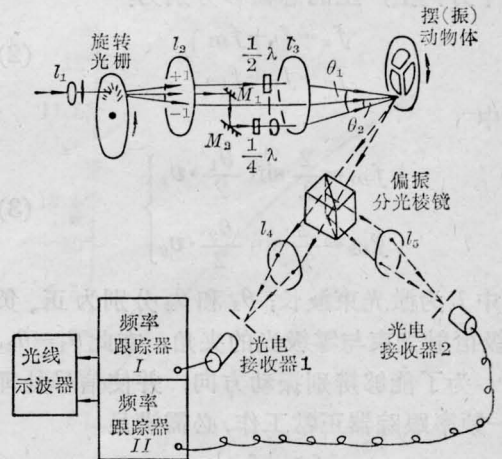


图1 二维激光多普勒测振装置原理图

收稿日期: 1983年3月1日。

旋转光栅, 将分别使 +1 级衍射光和 -1 级衍射光相对于零级光产生正、负频移, 其频移量分别为:

$$\pm f_s = \omega \cdot N \quad (1)$$

其中 ω 为光栅旋转角速度; N 为光栅圆周上的总刻线数。透镜 l_2 使这三束光变为平行光, 然后用反射镜 M_1 和 M_2 使零级光平行地位移。三束光在垂直于光轴平面上的相互位置如图 2 所示, 其中 $\angle AOB = \frac{\pi}{2}$, $AO = BO$, 且 AB 连线通过光轴。零级光通过四分之一波片后, 变为圆偏振光, 并让 +1 级光通过二分之一波片, 使其偏振方向与 -1 级光的偏振方向垂直。这样, 正、负 1 级衍射光之间不相干, 但是它们都与零级光(它由两个相互正交的偏振光组成)的相应分量相干。它们经过 l_3 会聚于被测振动物体表面, 在被测点上, 振动物体沿 x 方向和 y 方向振动时, 它们之间相互相干的散射光将能够在光电接收器阴极面上产生拍频效应, 并得到多普勒频率 f_{D1} 和 f_{D2} 。其中 +1 级衍射光的散射光与零级光中同一偏振分量的散射光之间的频差决定了 x 方向的运动规律, -1 级衍射光的散射光与零级光中另一偏振分量的散射光之间的频差决定了 y 方向的运动规律。在这两个方向上产生的总频移分别为:

$$\left. \begin{aligned} f_x &= f_s + f_{D1} \\ f_y &= f_s + f_{D2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} f_{D1} &= \frac{2}{\lambda} \sin \frac{\theta_1}{2} \cdot v_x \\ f_{D2} &= \frac{2}{\lambda} \sin \frac{\theta_2}{2} \cdot v_y \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中 λ 为激光束波长; θ_1 和 θ_2 分别为正、负 1 级衍射光束与零级光的夹角, 在此 $\theta_1 = \theta_2$ 。

为了能够辨别振动方向, 并使信号处理机-频率跟踪器正常工作, 必需满足

$$\left. \begin{aligned} f_s &> |f_{D1}| \\ f_s &> |f_{D2}| \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

以 x 方向为例, 当 $f_x = f_s$, 表示振动物体在

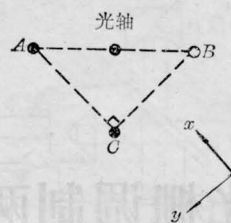


图 2 三束平行光束位置及测量方向

x 方向上速度为零, 当 $f_x > f_s$ 时, 表示物体沿 x 轴方向移动, 而当 $f_x < f_s$ 时则表示物体沿 x 轴反方向移动。 y 方向上的振动情况亦如此。

在接收散射光时, 用一个偏振分光棱镜, 就可以把 +1 级衍射光产生的散射光和 -1 级衍射光产生的散射光区分开, 使它们分别与零级光散射的相应分量在光电接收器 1 和 2 上差拍, 以得到频率分别为 f_x 和 f_y 的光电流信号。用频率跟踪器处理这些信号, 就可得到 x 方向和 y 方向的速度波形^[3]。

二、装置性能分析及实验

用图 1 所示的方式构成了一台二维测振装置, 光栅旋转角速度为 3000 转/分, 光栅圆周上总刻线数为 12000 条。由式(1)可计得频移 $f_s = 600$ 千赫; 发送透镜 l_3 的焦距为 300 毫米, 会聚光束的交角 $\theta_1 = \theta_2 = 2^\circ 52'$ 。由式(3)可计得 1 厘米/秒的速度相当于 790 赫的多普勒频率位移。

二台信号处理机为频率跟踪器。它们能处理频率在 300~900 千赫的电信号。在光学系统中加了频移后, 600 千赫的电信号相当于零速度, 所以对于相反两个方向上的运动, 实际能处理的最高多普勒频率为 300 千赫。

对于小的速度波动, 频率跟踪器能跟踪的最高速度波动频率为 10 千赫, 对于大的速度波动, 能跟踪的最高速度波动的频率为 1 千赫。所以, 对于速度变化小的振动, 可测的最高振动频率为 10 千赫, 而对于速度变化大

的振动,可测的最高振动频率为1千赫。

频率跟踪器输出的直流模拟电压直接正比于速度,其速度精度可达 $1\sim 2\%$ ^[3]。测量振动时,就是把这一正比于被测振动点速度的电压送入光线示波器记录,以得到振动的速度波形。将被测振动点的速度波形送入计数器,就能得到振动频率。在频率跟踪器允许的最高速度波动频率范围内,这一参数的测量精度极高。

此外,频率跟踪器还输出一列正弦波,其频率正比于测点速度,精度高达0.5%。测出每一振动周期内这一正弦波的周期数,就可从中得到振动幅度。

综上所述,该装置的测量范围及指标为:

测量距离: 300 毫米,

振动方向: 垂直于光轴,

振动频率: 直流至10千赫,

振动幅度: 大于0.1毫米,

速度精度: $1\sim 2\%$ 。

我们对一台闹钟摆轮的振动做了原理性实验,测量了它的摆动规律。实验中共记录了摆轮上 U 、 V 二点(见图3)的摆动速度波形,每一点都有 x 、 y 二个方向上的摆动速度波形如图4所示。将速度脉动波形计数,直接得到摆动频率为100次/分,正是这一闹钟摆轮的摆动频率。在摆轮摆动过程中, U 点上 y 方向的速度波动大于 x 方向上的速度波动,而 V 点上 y 方向的速度波动小于 x 方向上的速度波动。这规律在图3上是显而易见

(上接第172页)

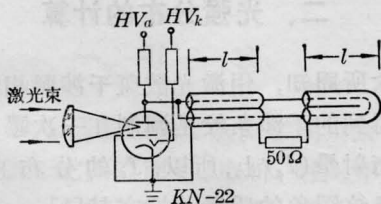


图5 激光触发冷阴极管开关线路图

的)延迟时间是与触发的激光能量密度有关。我们所用的聚焦透镜的焦距是60毫米,焦点

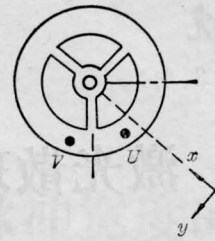


图3 摆轮上被测点位置

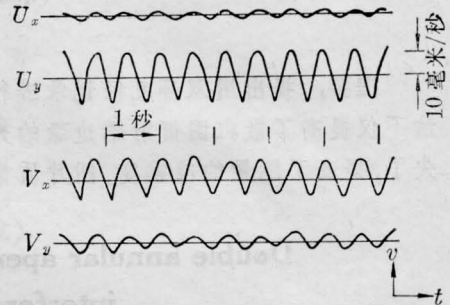


图4 测得的摆动速度波形

的,图4中所得到的速度波形证实了这一点。

以上的实验证实了这台二维激光多普勒测振装置的功能。由于这种测振方法属于非接触测量,特别适用于高温、带腐蚀性气体、流体中振动物体的测量,而且在精确测量振动频率等参数的同时,确定二个方向上的振动参量,所以具有广泛的应用价值。

参 考 文 献

- [1] 孙渝生,张自栋,许旭铭;《四川激光》,1982,3, No. 1, 14.
- [2] 唐开元等;《应用激光》,1982,2, No. 2, 26.
- [3] 孙渝生;《激光》,1979,6, No. 5, 34.

上的触发能量约为15微焦耳,在这样的触发能量下,得到的延迟时间为30~40毫微秒。若使光触发开关正常工作,需要小心地调整作为触发用的激光光路,激光触发能量一定要适当,过大的激光能量将损坏冷阴极管。这是必须注意的。

参 考 文 献

- [1] R. L. Hyde et al.; *J. Phys. (E)*, 1977, 10, No. 7, 1106.