

激光干涉测振仪*

清华大学工程力学系激光技术组

结合我们工作的实际需要,本组于1972年研制了一套激光干涉测振仪,主要用于校准振动传感器。振幅的测量可以准确到 $0.2\mu\text{m}$,实验表明,与使用读数显微镜比较,精度提高了,而且操作方便,大大缩短了校准实验的时间。

(R)作为参考光束,由半透半反镜反射到固定的参考反射镜,再反射回来至半透半反镜,并透过半透半反镜照射到光电倍增管,与测量光束(M)重新会合,从而发生干涉,形成一定的干涉条纹图形。当振动架振动时,测量光束(M)与参考光束(R)的光程差发生变化,干涉条纹移动,光电倍增管接受到的光讯号发生明暗交替

一、基本原理

由于氩氟气体激光器输出的激光单色性非常好,波长很稳定,因此用激光的波长来度量振动位移幅度的大小,具有较高的精确度。激光干涉测振仪基本原理如图1所示。

激光干涉测振仪是根据光学干涉原理制成的。光学系统基本与迈克耳孙干涉仪相同。氩氟气体激光器输出的激光($\lambda = 0.6328\mu\text{m}$),经过半透半反镜,将激光分为两束。透过的部分(M)作为测量光束投射到装在振动架上的测量反射镜片上,再由测量反射镜反射回来,经半透半反镜反射进入光电倍增管。另一束

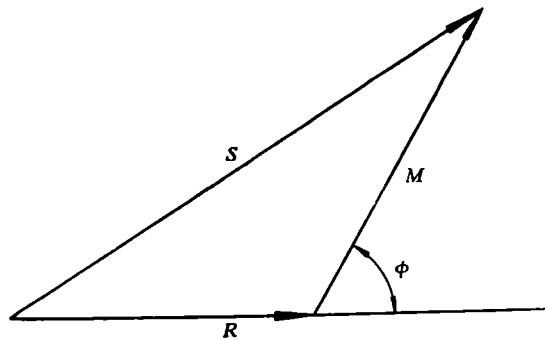


图2 测量光束和参考光束及其合成光讯号

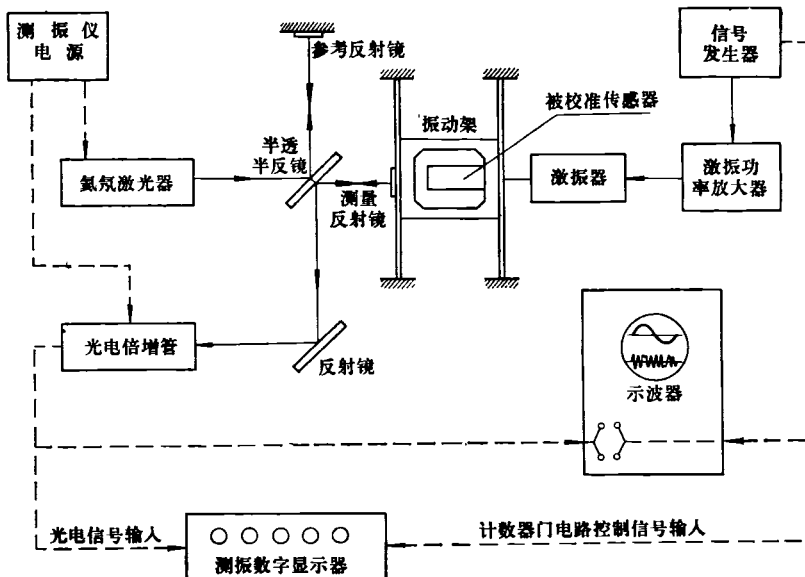


图1 基本原理图

的变化。

可以这样来考虑光电倍增管的输出:用如图2所示场向量 M, R, S ,分别表示测量光束 M ,参考光束 R 及合成的光讯号 S 。 ϕ 为 M 向量与 R 向量的夹角。

当振动架的振动为 $x = A \sin \omega t$ 时(A 为位移振幅, ω 为振动圆频率),由于振动引起光束相角的变化为

$$\begin{aligned} \Delta \phi &= -\frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2A \sin \omega t \\ &= -\frac{4\pi A}{\lambda} \sin \omega t, \end{aligned}$$

* 1973年10月15日收到。

因而

$$\begin{aligned}\phi &= \phi_0 + \Delta\phi \\ &= \phi_0 - \frac{4\pi A}{\lambda} \sin \omega t,\end{aligned}$$

ϕ_0 为 $t = 0$ 时 M 向量与 R 向量之初始夹角。

由图 2 得:

$$S^2 = M^2 + R^2 + 2MR \cos \phi,$$

而光电倍增管的输出电流 I 正比于 S^2 , 即

$$I \sim S^2 = M^2 + R^2 + 2MR \cos \left(\phi_0 - \frac{4\pi A}{\lambda} \sin \omega t \right).$$

在双迹示波器荧光屏上可看到如图 3 所示波形。上部为振动架的振动波形, T 为振动周期。下部为光电倍增管输出的电信号。

合成的光量可用向量 S 的长度来描述。当测量反射镜振动时, 改变着测量光束 M 的光程, 也就是改变向量 M 相对于向量 R 的相角 ϕ , 使向量 M 相对于向量 R 沿顺时针方向转动, 引起合成向量 S 相应地周期变化。每当振动位移经过半个波长 ($\lambda/2$) 的距离, 对应于 M 向量围绕 R 向量端点旋转一周, 光电倍增管输出电信号的波形相应的振荡一次。振动幅度 A 愈大, 在振动一个周期内输出的电信号振荡次数愈多。

将光电倍增管输出的电信号和激振电源讯号同时加到数字显示器中, 用激振电源讯号控制数字显示器的门电路, 测得一定振动周期中的振荡次数, 即可确定振动位移幅度的大小:

$$\text{振动位移幅度 } A = W \times \frac{\lambda}{2} \times \frac{1}{4H},$$

其中 W 为显示器显示的数值, H 为所计测的振动架振动的周期数。在本仪器中, 为了读数方便, 使显示的读数能直接粗略的表示以公制微米为单位的振幅值, 我们取 $H = 8$,

于是

$$A = \frac{0.6328}{64} W = 0.00989 W.$$

如果以 0.01 代替 0.00989, 则只要把显示器读数的小数点向左移二位即可直接读出微米为单位的振幅数。例如显示器读数为 1000, 即振幅为 $10.00 \mu\text{m}$ 。同样, 取 $H = 80$, 则小数点向左移三位, 即读数为 1000, 振幅为 $1.000 \mu\text{m}$ 。

第 1 期

这样得到的读数, 其误差仅为 1.1%。若需更精确的读数, 只需将上述读数结果乘以 0.989 系数, 即可去掉这个读数误差。

如前所述, 仪器测得的振动幅度是由激光波长 λ 和所记光电倍增管输出电信号的振荡次数决定的, 因此振幅读数的误差也由此二项决定。因为采用氦氖气体激光器, 其波长稳定程度约为 3×10^{-6} 量级, 对于本仪器精度来说可以忽略, 无须再另加稳频装置。对于光电倍增管输出电振荡的计数, 由于振幅有时不可能被 $\frac{\lambda}{2}$ 除尽, 不采取其他措施时, 每振动半个周期可能带来 ± 1 个数的误差。由于半个周期内振动物体经过的距离为二倍振幅, 因此振幅读数可能具有 $\frac{\lambda}{4}$ 的误差, 即准确到 $0.16 \mu\text{m}$ 。

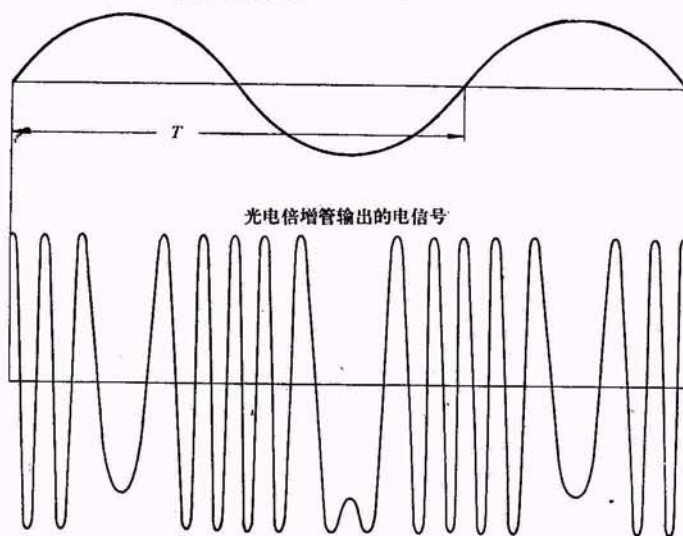


图 3 双迹示波器荧光屏上所示波形

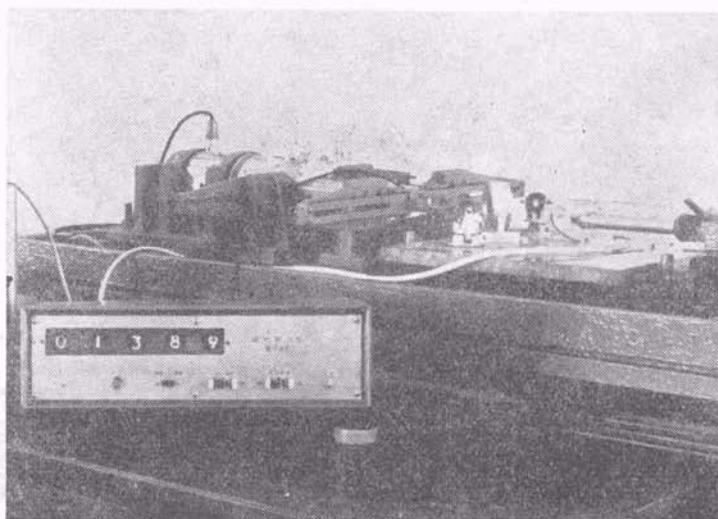


图 4 激光干涉测振仪

二、装置简介

1. 振动架

由钢板弹簧支持的框架水平放置,仅允许沿纵轴作单自由度运动,框架上可以固定被校准的振动传感器,框架前端中心装一全反射镜。实验证明,在本仪器校准试验范围内,可以认为框架是刚性的。

框架由激振器激振,由讯号发生器及激振功率放大器供给激振器激振电流。激振器、振动架与测振仪光学系统均安装在同一刚性的铁座上,激振器与振动器的纵轴均与激光光轴重合、铁座与基础之间加海绵橡皮隔振。

2. 激光光源

采用内腔式氦氖气体激光器,输出功率1毫瓦,单横模。

3. 光学系统布置

基本与迈克耳孙干涉仪同。参考反射镜安装在可以细调的镜座上,在安装时将干涉条纹调得尽可能宽一些。光信号先经过一个小孔光栏和一个透镜,再到达光电倍增管。小孔位于条纹亮区的中心部分,透镜使光讯号扩散开,以便均匀地投射到光电倍增管阴级的较大面积上。

4. 光电接受器

选用光电倍增管 GDB-22,采取负压电源高增益分压器接法。

5. 数字显示器

采用比率计数法,即用激振周期控制计数器的门电路,使计数器能在规定的振动周期数内计数。计数显示部分方块图见图5。

采样脉冲发生器是由一多谐振荡器产生周期为4秒的脉冲,经选择开关加到触发电路。选择开关有自动和单次显示两挡,在自动挡,即每隔4秒清除并显示振幅数值一次。

脉冲计数电路和分频器采用我校生产的 MOS 场效应管集成电路,体积小,使用调整方便。读数为5位,用 SZ-1 型数码管。分频器采用九分频。

由于研制时间短促,工作不够细致,还存在不少问题。因为整个测振装置是针对校准某型振动传感器而设计的,因此仪器应用的范围有一定的局限性。目前使用的频率范围为 3c/s 到 150c/s,可测量最大振幅为 250 μ m (单振幅)。就激光干涉测振方法本身而言,可以远远超过目前的技术指标。此外如何从光电信号中直接测量振动的频率,如何进一步改进为便携式仪器,直接用于工业测量中,都需要进一步的工作。

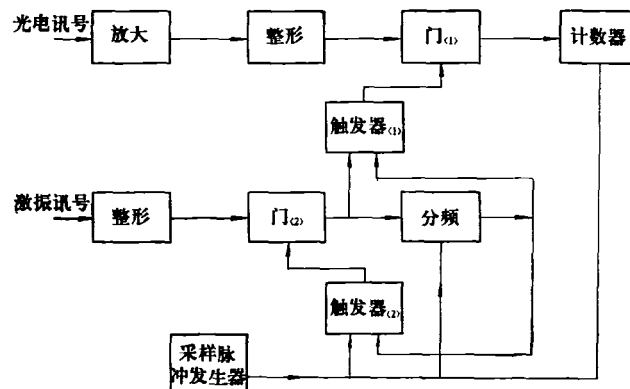


图5 计数显示部分方块图

激光自动打孔机*

上海钟表元件厂生产组

上海钟表元件厂在上海轻工业研究所、中国科学院的上海光学精密机械研究所和上海硅酸盐研究所、复旦大学等单位的大力支持和协作下,反复试验,反复实践,经过近三年的努力,终于试制成功铍玻璃的(图1)和二氧化碳的激光自动打孔机(图2),并已全部应用在手表宝石轴承打孔的工序上。

机械打孔,要分三道工序,加工时噪声很大,还要

消耗可观的昂贵的金刚石磨料,劳动生产率低,需要的劳动力多,占用厂房面积大。而激光打孔,只有一道工序,加工时基本上没有噪声,不需要消耗金刚石磨料,劳动生产率提高到二倍以上(只是精加工时,比机械打孔稍低些),需要的劳动力减少了50%,占用的厂房面

* 1973年10月17日收到。