

用于换能器校准的激光干涉测振技术

吴先梅, 钱梦^{马录}

(同济大学声学所, 上海, 200092)

摘要: 本文介绍了用激光干涉仪对换能器表面振动位移进行绝对测量的原理, 对不同情况下的信号处理方法进行了探讨, 分别给出了低频及高频时的实验及进行信号处理后的结果。从实验结果及信号处理后的结果可以看出, 记条纹数的处理方法比较简单直观, 而最大频率法则可解决小数条纹的测量。

关键词: 换能器校准; 测振; 激光干涉
中图分类号: TB52+3 文献标识码: A

Vibration measuring technique using laser interferometer for calibration of transducers

WU Xian-mei, QIAN Meng-lu

(Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In this paper, the principle of absolutely detecting the vibrating displacement of ultrasonic transducer by laser interferometer is introduced. The signal processing method in different cases is studied. The experimental results of low frequency and high frequency and their signal processing results are given. From the experimental and the signal processing results, it is shown that the method of accounting stripes is suitable for small amplitude and transient maximal frequency is suitable for large amplitude.

Key words: transducer calibration; detecting vibration; laser interference

功率超声换能器在超声清洗、焊接、加工及声化学等方面都有着重要的应用, 但由于功率超声换能器的工作频率一般都在几十千赫, 工作时在液体中存在着超声空化现象, 使得用通常的辐射压力法, 标准换能器法对其进行校准变得比较困难。而利用激光干涉仪可以测量换能器的表面振动位移进而计算出辐射声功率, 因此该方法是一种值得探讨的校准功率超声换能器的方法。

1 实验原理

利用激光干涉仪测量换能器表面位移的原理如图 1 所示。一束 He-Ne 激光 ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$, $p = 20 \text{ mW}$) 经过分光镜分为两束, 一束入射到参考镜 M, 另一束入射到待测的功率换

能器增幅杆的表面, 各自反射回来后分别经过 PBS 透射和反射再到达扩束镜 L 和光电倍增管 D。这两支光束在检测平面上形成一组宽度为 h 的干涉条纹。位于干涉条纹 x 处的光电检测器的输出光电流 I 为:

$$I = I_0 + I_1 \cos 2\pi x / h \quad (1)$$

此处 x 是光电检测器在激光干涉条纹中的位置, h 是干涉条纹的宽度。当换能器表面位移为 $A = \lambda / 2$ 时, 干涉仪两相干光束的光程差的改变为 λ , 检测器处就移过一条条纹, 则条纹的位移为 $R = h$, 于是有:

$$R/h = 2A/\lambda \quad (2)$$

如果参考镜 M 的振动为 $y = A \cos \omega t$, 则条纹也以 $x = R \cos \omega t$ 的形式振动, 此时光电检测器的输出为:

$$\begin{aligned} I &= I_0 + I_1 \cos [(2\pi/h) (x - R \cos \omega t)] \\ &= I_0 + I_1 \cos [(2\pi x/h) - (4\pi A/\lambda) \cos \omega t] \end{aligned} \quad (3)$$

收稿日期: 2000-01-25; 修订日期: 2000-03-02
作者简介: 吴先梅(1974-), 女, 博士研究生。

利用换能器表面振动与检测器处条纹的移动及其输出信号之间的关系, 可得以下两种求出换能器表面振动位移振幅的方法。

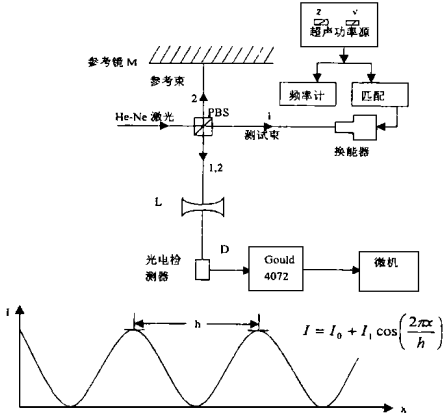


图 1 激光测振实验系统

2 信号处理方法

2.1 条纹记数法

当换能器表面位移 A 增加 $\lambda/2$ 时, 检测器处移过一条条纹, 输出信号改变一个周期。则在换能器表面振动半周期中输出信号为 N 周时, 表面位移振幅则为:

$$A = (N/2)(\lambda/2) \quad (4)$$

频率为 30Hz 和 40Hz 时换能器振动的检测器输出信号如图 2(a) 和图 2(c) 所示:

从图 2(a) 中可得到 30Hz 时半周期的条纹数 $N = 8.1$, 则该换能器的表面振动位移振幅为 $A = 1.281\mu\text{m}$ 。从图 2(c) 中可得到 40Hz 时半周期的条纹数 $N = 9.4$, 则该换能器的表面振动位移振幅为 $A = 1.487\mu\text{m}$ 。

由于换能器的振动位移较小, 半周期的条纹很容易数得清楚, 但是对于不足一条条纹的地方, 只能进行近似的估计。为此, 可应用下面所述的最大瞬态频率法较合适。

2.2 瞬态最大频率法

光电检测器的输出信号 I 是一个调制频率信号, 由(3)式可得其瞬态频率 f_0 为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \left[\frac{2\pi x}{h} - \frac{4\pi A}{\lambda} \cos \omega t \right] = \frac{2}{\lambda} A \omega \sin \omega t$$

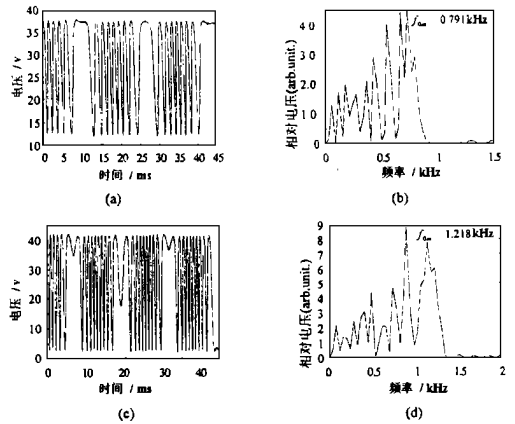


图 2 (a) 换能器 30Hz 时检测器的输出信号
(b) 30Hz 时的频谱
(c) 换能器 40Hz 时检测器的输出信号
(d) 40Hz 时的频谱

则瞬态最大频率为

$$f_{om} = (2/\lambda) A \omega = (2/\lambda) A \cdot 2\pi f \quad (4)$$

因此, 位移振幅为

$$A = (f_{om}/2\pi f)(\lambda/2) \quad (5)$$

其中 f 为换能器的工作频率。

从(5)式可以看出, 通过对输出信号进行频谱分析, 得到其瞬态最大振动频率, 进而便可得到换能器表面振动的位移振幅。对上述 30Hz 时的换能器输出进行快速富氏变换后得到其瞬态最大振动频率为 $f_{om} = 0.791\text{kHz}$ (如图 2(b)), 表面位移为 $A = 1.328\mu\text{m}$; 40Hz 时 $f_{om} = 1.218\text{kHz}$ (如图 2(d)), 表面位移为 $A = 1.533\mu\text{m}$ 与第一种方法所得基本吻合。

频率为 18.25kHz 的功率超声换能器在电功率为 14.5W 和 20.4W 时的输出信号及其快速富氏变换的结果如图 3 所示。得到 14.5W 时瞬态最大振动频率为 $f_{om} = 2.290\text{MHz}$ 可得其表面位移振幅 $A = 6.319\mu\text{m}$, 用条纹记数法得 $N = 39.4$, 计算可得 $A = 6.233\mu\text{m}$ 。20.4W 时 $f_{om} = 2.794\text{MHz}$, $A = 7.709\mu\text{m}$; 用条纹记数法得 $N = 48$, 表面位移 $A = 7.594\mu\text{m}$, 也与第一种方法基本吻合。

对比图 3(a) 和 (c) 可以看出, 电功率大

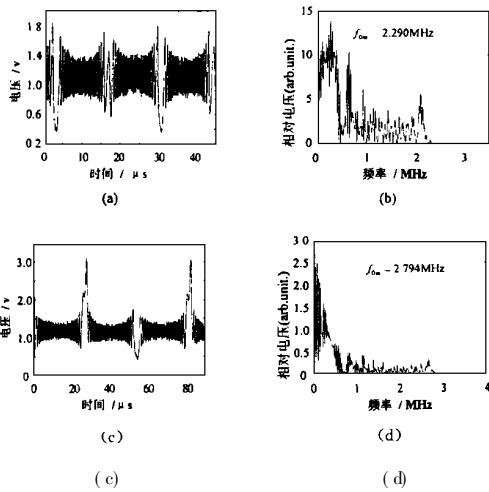


图 3 (a) 18.25kHz 的换能器在功率为 14.5W 时检测器的输出信号

- (b) 14.5W 时的频谱
(c) 20.4W 时检测器的输出信号
(d) 20.4W 时的频谱

时半周期内的条纹数明显大于电功率小时相应的条纹数,但是大电功率时的信号幅度却明显的小于小电功率时信号的幅度,这是由于高功率时换能器表面振动速度较功率小时为大,条纹移动速度很快,在光电检测器中的

光子数尚未达到饱和之时条纹已经移过,所以光电检测器的输出电流幅值减小,但信号的相位变化仍反映了换能器表面的振速。

3 结 语

本文介绍了激光测振方法,并针对不同频率介绍了不同的信号处理方法。应用实验结果表明利用激光干涉测振的条纹计数法与瞬态最大频率频率法都能对换能器表面的振幅及振速进行绝对测量,两者测量结果一致。但条纹记数法仅可用于周期振动,而瞬态最大频率法不仅可用于周期振动的振速测量,也可用于非周期振动的表面测速。

参考文献:

- [1] C B Scruby and L E Drain, Laser Ultrasonics: Techniques and Applications [M]. Adam Hilger., 1990.
[2] Gilheary J J, Optical Homodyning: Theory and Experiments [J]. Am. J. Phys., 1991, 39(5): 507.
[3] 何祚镛. 赵玉芳编. 声学原理基础[M]. 国防工业出版社, 1981: 247.

(上接第 82 页)

尺寸基本保持不变,而结晶度的变化则与原料种类、超声处理的条件有关。

(3) 超声波处理后,纤维的保水值增大,可提高材料对试剂的可及度及纤维间的结合力。由于声化学机理异常复杂,超声空化效应的影响因素很多,所研究的体系又是一个有非对称尺寸不均匀固体存在的非均匀相复杂体系,目前的研究尚未能充分解释超声空化对纤维素纤维的作用机理,有待于开展进一步的研究和工作。

本文经丘泰球教授审阅指导,特此致谢。

参考文献:

- [1] Jiayang Chen, Industrial Production and Research Results on Pulping and Papermaking of Fast-Growing Woods in China, Proceeding of the International Symposium on Emerging Technologies of Pulping and Papermaking of Fast-Growing

Wood M]. Nov. 23, 1998, Guangzhou, China. 36-50.

- [2] 赵逸云, 鲍慈光, 冯若等. 化学通报[J], 1994, (8): 26-29.
[3] (美) J P 凯西主编, 董芝元等译. 制浆造纸化学工艺学(第三版, 第二卷) [M]. 化学工业出版社, 1988 年第一版: 40-41.
[4] Norman, J. C., Sell, N. J and Daneelski, M. Tappi[J], 1994, 77(3): 151-158.
[5] Hung Chih-Lin. Wood and Fiber Science[J], 1995, 27(1): 49-54.
[6] Weise, U, Maloney, T and Paulapuro, H. Cellulose[J]. 1996, 3: 189-202.
[7] Hamad, W. Y, and Provan, J W. Cellulose [J], 1995, 2: 159-177.
[8] 熊健, 叶君, 梁文芷. 声学学报[J], 1999, 24(1): 66-70.
[9] 丁东. 声学技术[J], 1992, 11(3): 41-44.