

固体内耗仪测控系统的改进设计^{*}

喜冬¹, 龚 康¹, 熊小敏¹, 薛淑军², 张进修¹

(1. 中山大学物理学系, 广东 广州 510275;

2. 中山大学电子机械研究中心, 广东 广州 510275)

摘 要: 对传统的固体内耗仪进行了改进. 主要通过对测控系统的重新设计, 使测量频率范围达到 $1 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^2$ Hz, 变频精度达到 0.05%; 内耗测量精度提高到 3×10^{-5} , 同时消除了原测量方法所带来的系统误差; 实现了主控计算机系统的升级. 为扩展内耗的研究范围, 以及为固体振动能吸收谱的研究提供了工具.

关键词: 固体内耗仪; 测控系统; 测量频率; 测量精度

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

自 1947 年葛氏摆发明以来, 历经 50 多年的演变, 扭摆内耗仪仍是研究固体内耗的主要手段^[1]. 随着科学技术的发展, 人们不断地用新技术改进扭摆内耗仪, 使现代扭摆内耗仪成为一种高度自动化的精密仪器. 它是研究固体物理中机械振动吸收能谱的必备设备, 在固体缺陷、晶界、相变和阻尼等研究中发挥着重要作用. 因此, 有必要不断地研制更新颖的扭摆内耗仪为更高层次和多样化的研究创造条件.

近年来, 由于微型计算机及现代测量技术在内耗仪中的应用, 国际上已研究出一些性能较好的内耗仪^[2]; 在国内也有对内耗仪进行了改造, 以及扩展内耗仪研究范围的报导^[3]. 总的说来, 对内耗仪的改进主要集中在以下两个方面: 一是对扭摆结构的改进, 使之能适应不同特性的试样, 这是葛氏摆的进一步发展, 也是内耗仪的核心所在, 这方面有人作了很多有效的工作^[4]; 其二是对测控系统的改进, 这对提高测量精度起着至关重要的作用. 内耗仪的精度越高, 要求的采样速度也就越高. 例如, 对于 5 Hz 的测量频率, 达到 1×10^{-4} 的相位分辨率时, 所需的采样速率约为 300 kHz. 由于受计算机及 AD 采样速度限制, 以及噪声等因素的影响, 高精度 DA 及 AD 转换器的设计往往是内耗仪测控系统的关键所在. 目前内耗仪大多采用的多通道 AD 采样器存在固有的采样随机延时, 这导致了内耗值的固有系统误差, 也制约了测量精度的进一步提高. 为了解决这些问题, 在我们的设计中, 采用了软件控制高速 DA、AD 转换, 双路采样等技术, 使测量频率范围和测量精度有了显著提高.

1 工作原理

通常内耗仪用于测定固体材料在动态下的内耗和弹性模量的变化, 以及在静态时的蠕变、应力弛豫、弹性后效等参量. 一般配有变温、变压装置, 工作频率较低, 一般为

^{*} 基金项目: 教育部重点基金资助项目(99095)

收稿日期: 2000-01-10; 作者简介: 丁喜冬(1968~), 男, 工程师.

$10^{-4} \sim 10^1 \text{ Hz}$, 变频精度为 1% 左右。

在用内耗仪进行内耗测量时 (以强迫振动为例), 正弦变化的应力与应变之间的相角差 θ 与材料的内耗值 Q^{-1} 有如下关系:

$$Q^{-1} = \text{Tan}(\theta) = \frac{X_1 \circ F_2 - X_2 \circ F_1}{X_1 \circ F_2 + X_2 \circ F_1}$$

实验中 F (应力) 和 X (位移) 为 2 个测量量, 对 F 和 X 的时间序列进行富氏变换, 求出 F_1 、 F_2 、 X_1 和 X_2 , 从而根据上式求出内耗值 Q^{-1} 。

内耗仪组成原理如图 1 所示。

可见, 它为一倒扭摆结构, 共由 8 部分组成, 其中激发系统用以产生激发信号, 测量系统用以对光电信号进行放大及采样。

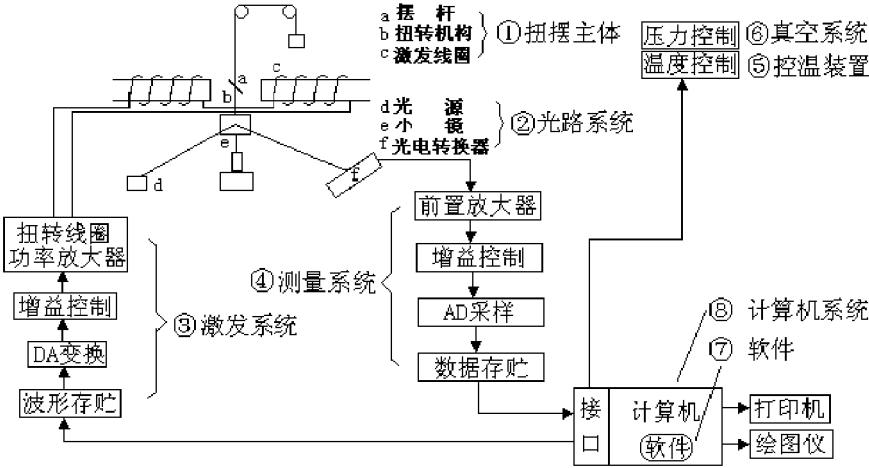


图 1 内耗仪原理方框图

Fig 1 Block diagram of the internal friction instrument

以中科院固体所 1986 年出产的 MFIFA-1 型固体内耗仪为例, 它的主要技术指标如下 (强迫振动时): 工作频率为 $10^{-4} \sim 10 \text{ Hz}$, 变频精度为 1%; 最高分辨率为 $1 \times 10^{-4} \text{ rad}$ (在 5 Hz 时); 工作温度为 100~600 K。

在我们的使用过程中, 发现它主要存在以下不足:

- (1) 主要针对低频测量, 采用的硬件波形发生器波形点数不能任意变化, 导致在进行内耗频率谱测量时, 频率范围及变频精度不够, 限制了仪器的应用范围。
- (2) 由于系统采用多通道 AD 进行数据采样, 因此不能对应力与应变信号同时采样, 存在着系统固有延时, 且其相位差随频率上升而增大, 导致测量的内耗值有更大的误差。
- (3) 为当时的计算机条件所限, 采用 8088 微机为主控计算机, 速度慢、不能升级, 制约了许多新技术的应用。

2 系统的改进

激发与测量系统是决定内耗仪测量精度的关键所在。为了使仪器性能有较大改善, 对激发与测量系统全部进行了重新设计。设计中, 尽可能地采用高速、高精度的元器件: 采

3 仪器调试及实验情况

按上述原理制作了相应硬件，先进行硬件测试，再进行调零，最后用汇编程序对硬件进行了调试。

测得激发系统中 DA 转换器输入数据与输出电压之间的关系如图 3 所示。

两路 AD 采样器输入信号电压与输出采样值之间的关系如图 4 所示。

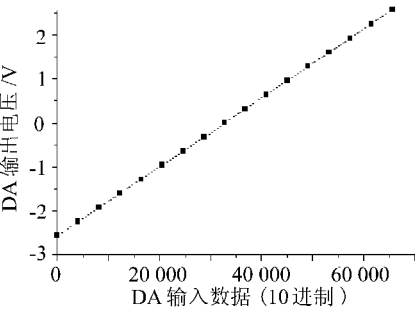


图 3 DA 数值与输出电压间的关系

Fig 3 The relationship between the DA value and the output voltage

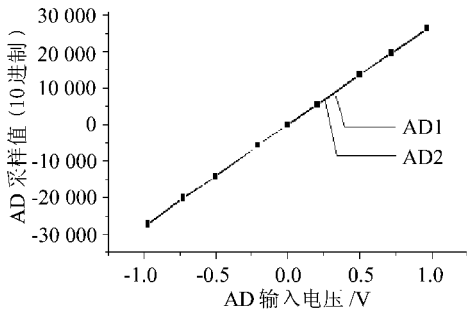


图 4 输入电压与 AD 采样值之间的关系

Fig 4 The relationship between input voltage and AD sampling results

可见，DA 及 AD 部分零点偏移较小，线性良好，DA 及 AD 部分工作正常。

值得一提的是，在调试过程中，计算机开关电源对测量系统会产生较大干扰，干扰信号频率范围为 10~100 kHz。解决的办法是在信号线及电路板采用适当的屏蔽措施，同时将测量系统的电源进行隔离。

测试表明，在直接采用 ISA 总线进行总线控制时，DA 及 AD 总的最高速度约为 100 kwords/s。

最后，在本系统上，对样品进行了测试，得到室温下 Cu—Al ($w=4\%$) 的机械能振动吸收谱如图 5 所示。由该图左上方小图可见，在 5 Hz 时，其测量精度优于 3×10^{-5} rad。

4 主要结果

- (1) 最高工作频率由原来的 10 Hz 提高到 500 Hz，频率分辨率由原来的 1% 提高到 0.05%，为进行内耗频率特性的研究提供了工具；
- (2) 测量精度（在 5 Hz 时）由原来的 1×10^{-4} 达到优于 3×10^{-5} rad，有明显的提高，满足了系统精度要求；

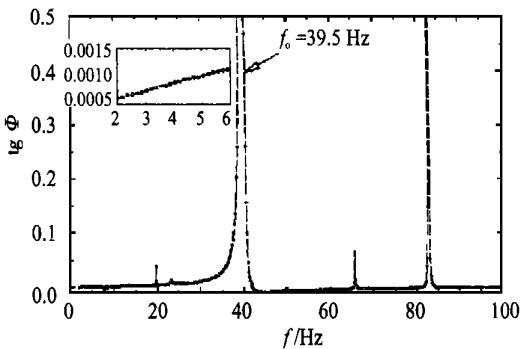


图 5 室温下 Cu—Al ($w=4\%$) 的机械能振动吸收谱

Fig 5 The vibrational resonant spectrum of Cu—Al ($w=4\%$)

(3) 改用双路 AD 同时采样, 消除了原系统由于 AD 采样固有延时而引起的内耗测量误差;

(4) 可采用 pentium 以上计算机, 实现了测控的升级.

参考文献:

- [1] NOWICH A S, BERRY B S. Anelastic relaxation in crystalline solids[M] . Academic Press, 1972.
- [2] WEN Y D. Forced vibration[EB/OL] . <http://www.vibram.com/vibram>, 1999.
- [3] 戴景文, 车韵怡, 孙玉杰. 内耗与超声衰减[M] . 广州: 中山大学出版社, 1996. 125.
- [4] 张进修, 熊小敏, 黄元士, 等. 液体低频振动能吸引谱[P] . 中国专利: 9812260. 9 1998—12.

A Redesigning of the Internal Friction Measurement Instrument

DING Xi-dong^{*}, GONG Kang, XIONG Xiao-min, XUE Shu-jun, ZHANG Jin-xiu

Abstract: An improvement of the internal friction measurement instrument is discussed. By redesigning the activating and measuring system, the measuring frequency ranges from 1×10^{-4} Hz to 5×10^2 Hz, while the frequency accuracy is better than 0.05%; the measuring precision of the new instrument is better than 3×10^{-5} , and the system error in the old measuring device has been avoided; the supervisor computer has been upgraded. It provides a tool to extend the research field of internal friction and to investigate the vibrational resonant spectrum of condensed matter.

Keywords: the internal friction measurement instrument; measuring system; measuring frequency; measuring precision

^{*} Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China