

压阻式高量程微加速度计的冲击校准*

郇 勇¹, 张泰华¹, 杨业敏¹, 王钻开², 陆德仁²

(1. 中国科学院 力学研究所 非线性力学国家重点实验室, 北京 100080;

2. 中国科学院 上海微系统与信息技术研究所 传感技术国家实验室, 上海 200050)

摘 要: 采用体硅微机械加工技术和扩散技术, 制作压阻式高量程微加速度计, 设计量程为 50 000 g_n 。芯片材料为单晶硅, 采用双列扁平陶瓷封装。为了测量其动态灵敏度, 使用 Hopkinson 杆在约 40 000 g_n 的加速度水平下进行了冲击校准。在电桥电压为 6.33 V 的情况下, 被测微加速度计的灵敏度为 1.26 $\mu\text{V}/g_n$ 。

关键词: 微电子机械系统; 微加速度计; Hopkinson 杆; 校准

中图分类号: TP212 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 9787(2003)11 - 0078 - 03

Shock calibration of piezoresistive high- g_n microaccelerometer

HUAN Yong¹, ZHANG Tai-hua¹, YANG Ye-min¹, WANG Zuan-kai², LU De-ren²

(1. State Key Lab of Nonlinear Mechanics (LNM), Institute of Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080 China;

2. State Key Lab of Sensor Technology, Shanghai Institute of Microsystem & Information Technology,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract: A piezoresistive high- g_n microaccelerometer, whose capacity is designed up to 50 000 g_n , has been developed by using silicon micromachining and diffusion techniques. The chip is made of single-crystal silicon and is packaged with ceramics. In order to determine the dynamic sensitivity, shock calibration tests are performed by using Hopkinson bar at up to 40 000 g_n acceleration level. The microaccelerometer has a measured sensitivity of 1.26 $\mu\text{V}/g_n$ with a 6.33 V bridge excitation voltage.

Key words: MEMS; microaccelerometer; Hopkinson bar; calibration

0 前 言

加速度计广泛应用于航空、电子、汽车和机械领域的振动和冲击测量。近年来,随着 MEMS 产业的兴起,加速度计向微型化、集成化方向发展。由于微加速度计具有体积小、质量轻、成本低、功耗低、易批量生产等优点,因此具有广泛的军事和民用前景。

按照敏感原理的不同,微加速度计大致可以分为:压阻式、压电式、电容式、谐振式、光纤式、电磁式、对流式等。其中,压阻式具有线性度好、外围电路简单、抗过载能力强等优点,因而成为高量程微加速度计设计的首选,广泛应用于冲击环境的测量。目前,一般用冲击法来校准高量程加速度计的动态灵敏度。常用的校准方法有背靠背实验、冲击摆实验、落球实验、Hopkinson 杆实验、气炮实验等。

随着国内高量程微加速度计研制的起步,其冲击校准研究开始引起人们的重视。下面,作者采用

Hopkinson 杆冲击校准法,对中国科学院上海微系统与信息技术研究所研制的压阻式高量程微加速度计进行了初步校准分析。

1 微加速度计^[1]

研究的压阻式高量程微加速度计由中国科学院上海微系统与信息技术研究所研制,型号暂定为 AT-6。设计量程为 50 000 g_n 。芯片材料为单晶硅,采用双列扁平陶瓷封装。外形尺寸约 12 mm × 8 mm × 3 mm。图 1 为封装好的微加速度计。



图 1 AT-6 微加速度计外貌

Fig 1 Appearance of AT-6 microaccelerometer

收稿日期:2003 - 06 - 24

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(10102021)和(10172086);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KJ951 - SW - L2);973 项目(G1999033103)的共同资助

1.1 芯片结构

该微加速度计以半导体的压阻效应为基础,采用梁岛结构。本文研究的压阻式微加速度计为三梁双岛结构,如图 2 所示,由锚区 1、质量块 2、薄板梁 3、应变电阻 4 组成。其敏感方向为 Z 轴。在薄板梁上作淡硼扩散形成 4 个应变电阻,并由铝布线构成惠斯登电桥,连接到管脚。

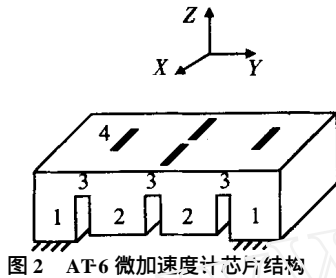


图 2 AT6 微加速度计芯片结构

Fig 2 Chip structure of AT6 microaccelerometer

1.2 封装

采用陶瓷基板封装。基板之上粘接带有管脚的框架。芯片粘接在陶瓷基板上。使用金丝球焊连接芯片的铝布线压点和管脚,最后用陶瓷上盖板将框架和芯片封住,这样就完成了陶瓷封装。它们之间的粘接使用环氧树脂。

1.3 工作原理

将微加速度计的管脚连接至外部检测电路中。当微加速度计受敏感方向的加速度作用时,在惯性力的作用下,质量块相对于基底运动,造成弹性薄板梁的变形。由于硅的压阻效应,各应变电阻的电阻率发生变化,电桥失去平衡,输出信号发生变化。测量该变化的信号,经校准后即可转换为加速度值。

2 校准原理和结果

2.1 实验原理

对传统的 Hopkinson 压杆装置^[2]进行改装,利用输入杆作为校准杆,将被校微加速度计粘接在校准杆的尾部(如图 3)。由压缩空气发射一圆柱状子弹,同轴撞击校准杆的起始端,将会在校准杆中产生近似半正弦的压应变脉冲,并沿校准杆纵向传播至微加速度计^[3,4]。

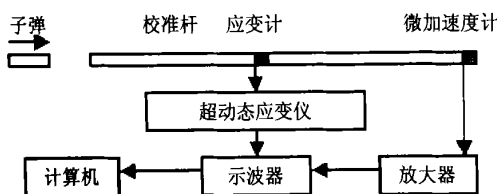


图 3 微加速度计冲击校准实验原理图

fig 3 Principle diagram of shock experiment of microaccelerometer

假设应力波在细长导杆中传播时,衰减和弥散可以忽略,贴在校准杆中央的应变计可以测得此应变脉冲。当应变脉冲传至校准杆与被校微加速度计的界面时,根据一维应力波理论可以得出该界面质点的速度为

$$v_1(t) = 2C(t), \tag{1}$$

式中 C 为校准杆的声速, m/s ; (t) 由贴在校准杆中央的应变计测出。首先要对超动态应变计进行校准。记校准阶跃高度为 X (单位 V),对应的应变为 X_g 。在冲击实验时,如果应变计经超动态应变计放大后的输出信号为 $U_g(t)$ (单位 V),那么对应的应变为

$$(t) = \frac{X_g U_g(t)}{X} \tag{2}$$

由式(1),式(2)两式得

$$v_1(t) = 2C \frac{X_g U_g(t)}{X} \tag{3}$$

如果粘接在校准杆尾部的微加速度计的输出电压为 $U_a(t)$,电压放大器的放大倍数为 K_a ,被校微加速度计的灵敏度为 S_a (单位 $V/(m \cdot s^{-2})$),那么被校微加速度计所经受的加速度为

$$a_2(t) = \frac{U_a(t)}{S_a K_a} \tag{4}$$

如果假设 $t=0$ 时刻为加速度脉冲开始时刻,则在 t 时刻,被校微加速度计的速度为

$$v_2(t) = \int_0^t \frac{U_a(\tau)}{S_a K_a} d\tau \tag{5}$$

由于被校微加速度计质量很小,可以忽略,所以微加速度计的速度应与校准杆尾部界面质点速度相等。考虑到应变计要比微加速度计提前 T_d (单位 s)

时刻获得信号($T_d = \frac{D}{C}$,式中 D 为应变计到微加速度计的距离(m), C 为杆中波速(m/s)),那么有

$$v_2(t) = v_1(t - T_d) \tag{6}$$

由式(3),式(5),式(6)可得微加速度计的灵敏度为

$$S_a = \frac{X \int_0^t U_a(\tau) d\tau}{2CK_a X_g U_g(t - T_d)} \tag{7}$$

若取 $t = T_0$ 为第一个加速度脉冲等于零的时刻,此时速度最大,相应的 $U_g(t - T_d)$ 应取峰值 U_{gpk} ,则式(7)变为

$$S_a = \frac{X \int_0^{T_0} U_a(t) dt}{2CK_a X_g U_{gpk}} \tag{8}$$

通过上式可以确定微加速度计的灵敏度。

2.2 校准结果

当子弹打击速度为 8.46 m/s 时,实验测得的应变计和微加速度计的输出信号见图 4。

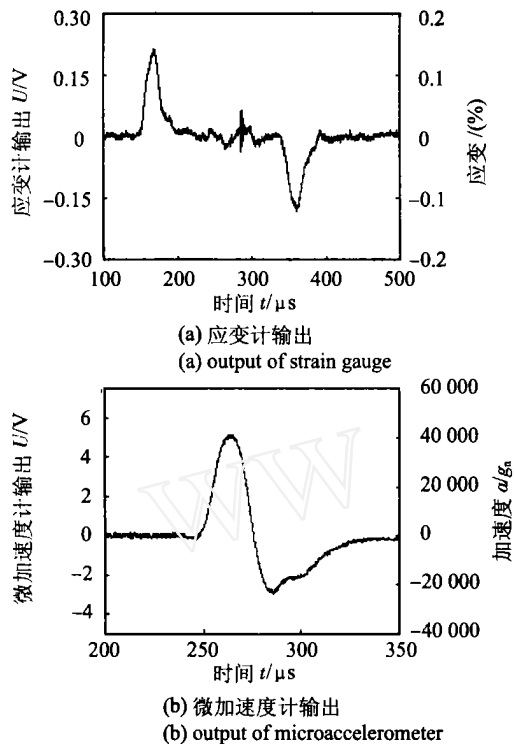


图 4 应变计和微加速度计的输出电压

Fig 4 Output voltage of strain gauge and microaccelerometer

在桥压为 6.33 V、放大器的放大倍数为 100 的情况下,微加速度计的输出电压峰值 $U_{\text{apk}} = 5 \text{ V}$ 。根据式(8)可计算出,被校微加速度计的灵敏

度为 $1.26 \mu\text{V}/g_n$ 。由此,可把微加速度计测量的电信号转化为加速度值,见图 4(b) 右纵轴。按照此灵敏度计算得到的峰值加速度为

$$a_{\text{pk}} = \frac{U_{\text{apk}}}{K_a S_a} = 40\,000 g_n.$$

3 结束语

该微加速度计可以敏感高达 40 000 g_n 的加速度,频率响应高。

Hopkinson 杆是高 g_n 值微加速度计校准的有效工具之一。本次实验进行了 40 000 g_n 的冲击校准,从目前的打击速度和 Hopkinson 杆的承受能力来看,该方法具有 150 000 g_n 以上的校准能力。

利用 Hopkinson 杆对高量程的微加速度计进行了初步的校准分析,对其线性度和频响特性等还需要作进一步的研究。

参考文献:

- [1] 黄全平. 高量程微机械压阻式加速度传感器研究[D]. 上海:中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 2001.
- [2] 马晓青. 冲击动力学[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1992. 196 - 199.
- [3] 李玉龙,郭伟国,贾德新,等. 高 g 值加速度传感器校准系统的研究[J]. 爆炸与冲击, 1997, 17(1): 90 - 96.
- [4] Ueda K, Umeda A. Characterization of shock accelerometers using davis bar and strain-gages[J]. Experimental Mechanics, 1993, 8 (2): 228 - 233.

作者简介:

郇勇(1975-),男,山东临沂人,中国科学院力学研究所在读博士,主要研究方向为微系统力学。

(上接第 77 页)

$$Y_2 = 2.1196 \times 10^{-7};$$

$$Y_3 = 3.2909 \times 10^{-7};$$

$$Y_4 = 5.0183 \times 10^{-7};$$

$$Y_5 = 6.2037 \times 10^{-7};$$

其中最小值为 Y_1 ,也就是说,通过网络识别的结果为第一种葡萄酒,与实际情况相符。依次取另 4 种葡萄酒的实验数据进行识别,都得到了与实际情况相符的结果。再另取与用来训练的数据分别相差 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 的数据进行识别,结果仍然准确。也就是说,利用该多子网系统在 45 次的葡萄酒定性识别中准确率达到 100%。

4 结论

多传感器信息融合技术对电子鼻系统的识别起关键作用。本文提出的多 BP 子网络多传感器信息融合模式识别方法,由于每一子网络都只对一个样本进行学习,样本特征更加充分,在形成的多模式网络权值中充分存储了样本信息。同时,实验系统为

传感器阵列,因此在权值中分布的是一个多维矩阵模式,这使其识别性能胜于原始的单维矢量模式。预测时,用来识别的数据是多组值且通过多个子网,从而使预测结果更具可靠性。仿真实验验证了该方法的有效性。可见,多 BP 子网能较好的实现多传感器信息融合,并对气体进行准确的定性定量识别。

参考文献:

- [1] 曲建岭,王磊,高峰. 运用神经网络进行混合气体定量分析的研究[J]. 西北工业大学学报, 2001, 19(3): 399 - 402.
- [2] Snopok B A, Kruglenko I V. Multisensor systems for chemical analysis: state-of-the-art in electronic nose technology and new trends in machine olfaction[J]. Thin Solid Films, 2002, 418: 21 - 41.
- [3] 袁曾任. 神经网络及其应用[M]. 北京:清华大学出版社, 1999. 319 - 326.
- [4] 杨建华,侯宏,王磊. 基于集成气体传感器阵列的电子鼻系统实现[J]. 传感器技术, 2003, 22(8): 21 - 23

作者简介:

王米娜(1980-),女,湖北孝感人,硕士,主要从事计算机测量与控制、气体与光学传感器等方面的研究工作。