

CBS-3E 型动态数字位移测量仪

唐新建 张新亚

提 要

本文叙述了CBS-3E型动态数字位移测量仪和测量系统的设计、特点及性能。

一、概 述

目前国内用于动态应变(或位移)测量的多是电阻式应变仪和位移计。这些传感器和仪器的输出信号小,温度稳定性不太好,且一般都不能直接配接计算机进行数据处理。在动态范围测量时,频响虽可达到(现常见最高频宽为40Hz),但在传感器频率响应较高时,仪器输出信号波形失真,波峰(或谷)不圆滑,响应信号波形呈梯形状。这样就给计算机进行数据采集和处理带来困难。而CBS-3E型动态位移仪则解决了动态电阻应变仪、位移计的这些问题。

CBS-3型数字位移测量仪是我所李楚研究员领导研制的。该仪器在静态力学参数测量中,具有灵敏度高(可测量 $0.2\mu\text{m}$ 的位移变化量)、稳定性好、读数直观、使用方便等特点。该仪器的某些技术指标已达到和接近国外同类型仪器的先进水平,并荣获中国科学院科技进步二等奖。现在该仪器已小批量生产,在国防、科研、设计和大专院校等部门得到广泛的应用,收到了较好的社会效益和经济效益。为了满足我所科研工作进行动态位移测量的需要,我们在CBS-3仪器基础上研制成八道CBS-3E型动态数字位移测量仪。

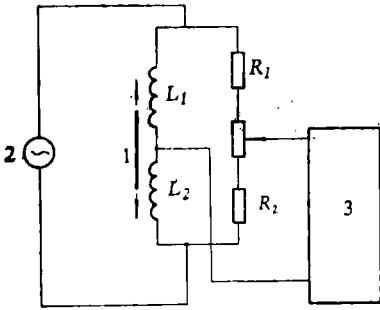
二、传感器及仪器的线路原理

(一)动态电感式位移传感器

动态电感式位移传感器是一种不锈钢顶针式传感器,由于它是高载频差动电感式位移传感器(专利),本身具有宽频响,当制成连杆式时,经过振动台实验,频响可达到2000Hz(限于振动台频响)。由于使用上要求结构为顶针式传感器,即具有弹簧结构,象千分表一样,但体积比千分表小,而精度高,能在80Hz以内工作。因此,在这种顶针式结构传感器的研制中,我们根据葛修润研究员、周伯海工程师提供的资料,在弹簧的材料选取,制作工艺上经过精确计算和多次实验,并采用了一些特殊方式,使之满足动态测量要求。

传感器的基本原理是高频电感电桥,如图1所示。传感器由电感线圈 L_1 、 L_2 和可动软磁芯组成。当软磁芯处于中心位置时,电桥平衡,输出为零。

软磁芯固定在顶针的连杆上,使用时连杆顶住被测试件。当试件产生位移时,磁芯发生



1. 软磁芯 2. 振荡器 3. 放大解调器
1. Armature core 2. Oscillator
3. Demodulator Amplifier

图 1 传感器基本原理

Fig.1 The principle of transducer

偏移, 电桥失去平衡, 因此电桥有信号输出, 磁芯的偏移 ($\pm \Delta L$) 与试件的变形或位移成正比, 与解调器输出电压成正比。在一定的范围内, 它们具有良好的线性关系。

本动态位移传感器由于在连接电子线路方面增加了放大、低通滤波和一些特殊电路, 并在传感器弹簧结构上加以改进, 经过反复实验研制出动态特性好的 SG—10 ($\Delta L = \pm 5 \text{ mm}$)、SG—20 ($\Delta L = \pm 10 \text{ mm}$) 两种型号的位移传感器。这种传感器在 80Hz 以内往复运动的振动测量中具有使用方便的突出优点, 还可以广泛地应用于自动控制系统中。

(二) 仪器结构和测量原理

仪器结构框图如图 2 所示。它由高载频动

态电感位移传感器、电缆和测量电路组成整个测量系统。

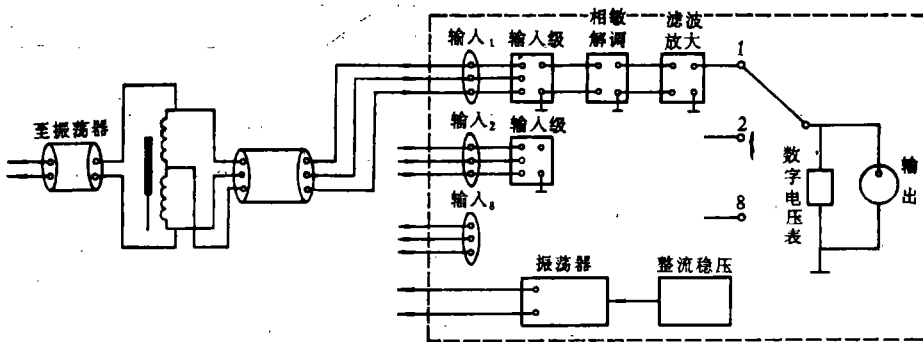


图 2 仪器结构和测量原理

Fig.2 Apparatus structure and measurement principle

信号输出级 图 3 是测量仪的信号输出电路。为了得到大信号输出, 测量电路最后一级为放大电路 K (图 4 是其电路结构)。该电路实际上是一种赛伦-凯 (Sallen-key) 类型的

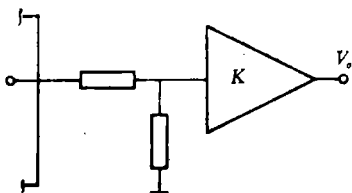


图 3 信号输出电路

Fig.3 Output circuit of signal

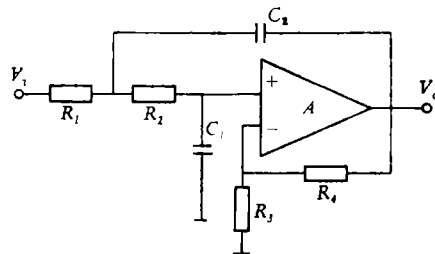


图 4 二阶低通滤波器电路

Fig.4 Circuit of second-order low-pass filter

二阶低通滤波器。图4电路的传递函数为

$$T_v(S) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\mu G_1 G_2 / C_1 C_2}{S^2 + \left[\frac{C_1(G_1 + G_2) + C_2 G_2(1 - \mu)}{C_1 C_2} \right] S + \frac{G_1 G_2}{C_1 C_2}} \quad (1)$$

$$\text{放大器增益 } \mu = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (2)$$

将式(1)简化为转移函数的一般形式:

$$T_v(S) = \frac{G b_0}{S^2 + b_1 S + b_0} \quad (3)$$

$$\text{其中 } b_0 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}, \quad b_1 = \frac{1}{C_1} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) + \frac{1}{R_2 C_1} (1 - \mu); \quad G = \mu.$$

实际测试表明, 电路图4是一种具有布德华兹(Butter-Worth)特性的低通滤波器。

合理地选取电路元件和参数就可以得到所要求的信号频宽和通带滤波以及增益。在实验调试中, 我们获得了一组较好的参数和结果。图5为图4电路的实测幅频特性。图5中幅频特性函数为

$$g(\omega) = 10 \lg \left| \frac{V_o}{V_i} \right|^2 = 20 \lg \left| \frac{V_o(\omega)}{V_i(\omega)} \right| \quad (4)$$

式中 ω_0 为半功率点频率, $\omega = 2\pi f$, f 单位为 Hz。

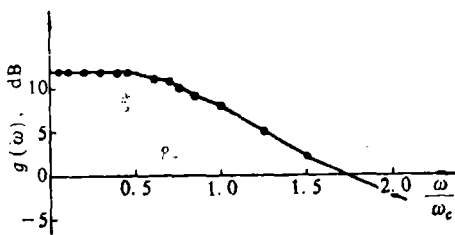


图5 低通滤波器实测幅频特性
Fig.5 Measured amplitude-frequency characteristics for low-pass filter

三、动态特性与稳定性

在实际测量中, 要求仪器的动态特性好、灵敏度高、稳定性好。灵敏度和稳定性是两个相互制约的因素。该仪器是八道装在一起, 交叉干扰大, 提高灵敏度则易受各种干扰因素的影响, 给提高稳定性带来困难。因此仪器中采用了原 CBS-3 的特殊解调方式并加一级信号放大, 保证了高灵敏度。这样抗干扰, 提高稳定性就成为电路设计的关键, 为此我们采取了如下方法和措施:

1. 采用稳定度高, 抗干扰能力强的直流稳压电源。
2. 采用频率和幅度都稳定的振荡信号源。
3. 增加补偿电路抑制干扰。
4. 强干扰点用屏蔽隔离。
5. 线路遵循“单点接地”原则。

测试结果表明, 该仪器抗干扰能力强, 输出纹波电压小于 0.35mV。

四、性能指标

本测量系统(包括传感器、电缆及仪器)的技术性能如下:

1. 通道数: 8道同时工作。

2. 位移量程: $\pm 5\text{mm}$ 、 $\pm 10\text{mm}$ 。
3. 精度: 满量程输出 $\pm 4\text{V}$, 分度为 $\pm \frac{1}{4000}$ 。
4. 线性: $0.2\% - 0.5\%$ 。
5. 回差: $0.04\% - 0.15\%$ 。
6. 重复性: $0.04\% - 0.15\%$ 。
7. 频宽: $0 - 50\text{Hz}$ 。
8. 信号输出纹波电压: $\leq 0.35\text{mV}$ 。
9. 稳定性: $0.6\%/4\text{h}$ 。

图 6 和图 7 为该仪器系统作动态振动标定时的输出响应特性。

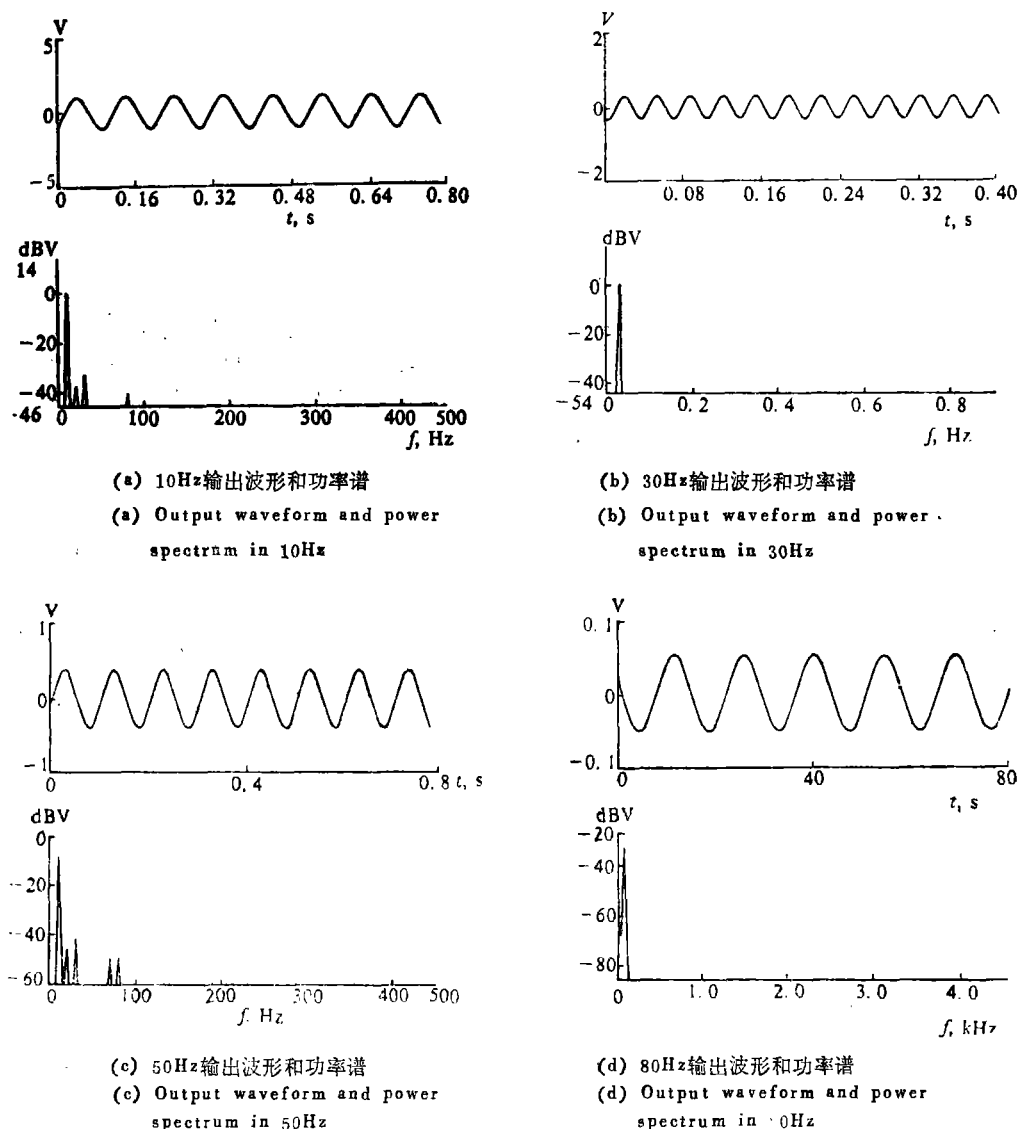


图 6 SG-10 传感器在不同频率下的动态响应特性
Fig.6 Dynamic response characteristics of SG-10

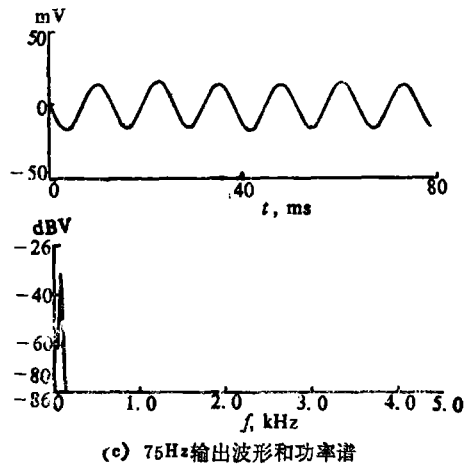
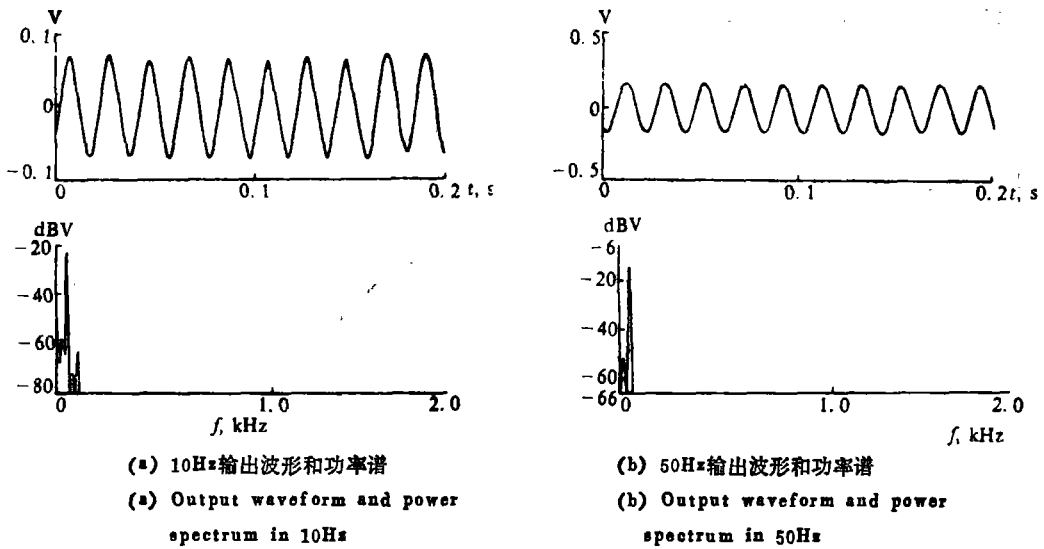


图7 SG-20 传感器在不同频率下的动态响应特性

Fig.7 Dynamic response characteristics of SG-20 transducer to different frequency

从图6、图7可以看出,输出信号波形没有出现波峰(或谷)的平顶和毛刺现象。输出信号谱分析也表明仪器输出纹波小,动态特性好。

五、结 束 语

CBS-3E型动态位移测量仪适用于室内外的动、静态位移或振动测量,能够方便地配接计算机进行数据采集和处理。该仪器还可以配接电感应变片进行应变测量。当配接与之配套的压力、荷重传感器时,能进行压力和荷重测量。因此,该仪器在工程、科研、教学等各方面都具有广泛的应用前景。

本测量仪器系统的研制工作是在李楚研究员指导下完成的。葛修润研究员，周伯海工程师给了很多重要的指教和帮助，谨表谢意。

参 考 文 献

- 〔1〕 李楚，CBS-3E 型数字位移（压力）测量仪，岩土力学，第 1 期，1986 年。

Model CBS-3E Digital Dynamic Displacement

Measurement Instrument

Tang Xinjian Zhang Xinya

Abstract

The design principle, special features, and performance of Model CBS-3E dynamic displacement instrument and associated measurement system are described in this paper.