

一. 概述

WSMC1-4/3/2/1 分别为 4、3、2、1 通道无线应变测试模块，是济南西格马公司自主研发的同系列性能极高的产品，与本公司专用计算机软件配合使用，主要用于以无线方式测量静态和准动态的应变、应力、残余应力，还可测量电压、电流、位移、压力、温度、加速度等其它物理信号。应变仪所用的 A/D、DSP、存储器、网络通信等芯片以及电桥所配的精密电阻均精选自国际顶尖的电子器件制造商，无论是原理图设计还是电路板上元器件的布局及连线，都充分考虑了温度、湿度、振动等因素以及静电、脉冲群、电磁辐射等电磁干扰的影响，因而测量精度高、线性好、温漂小，可长时间安全可靠地工作，可广泛应用于工业现场、企业研发测试中心、大学教学实验的应变、应力、位移、压力、振动等物理量综合测试。

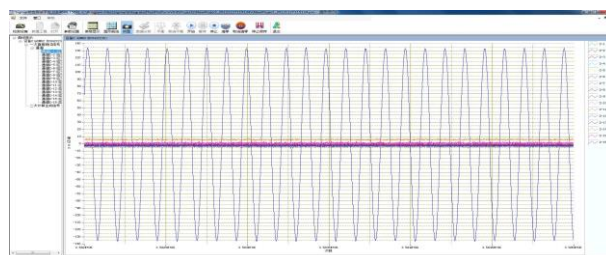
二. 主要功能

1. 测量各种线弹性材料的静态应变应力或低频变化的准动态应变应力，如：钢、铸铁、铜及其合金、铝及其合金、钛合金、镁合金、岩石、混凝土、复合材料、植物、塑料、橡胶等。
2. 测量各种各向同性弹塑性材料的内部残余应力（挤压、焊接、铸造、机加工等产生），如：钢、铸铁、铜及其合金、铝及其合金、钛合金、镁合金、岩石、混凝土、塑料、橡胶等，还可去除测残余应力打孔引起的系统误差。
3. 可以测量各种物理信号
 - (1) 一次直接测量信号
 - a. 基本信号：应变信号、差分电压信号、单端电压信号
 - b. 扩展信号：电流、压力、力、载荷、扭矩、流量、温度（热电阻、热电偶、或其他温度传感器）、位移、速度等各种物理信号（传感器须直接输出或通过适配器转换成三种基本信号）
 - (2) 二次计算生成信号
应力信号、残余应力信号、根据一种或多种一次直接测量信号（利用软件中各种复杂高级函数）生成任意虚拟信号
4. 计算机软件主要功能
 - (1) 所有一次直接测量信号的数据都可以实时保存
 - (2) 所有被测物理信号的数据实时以表格形式显示

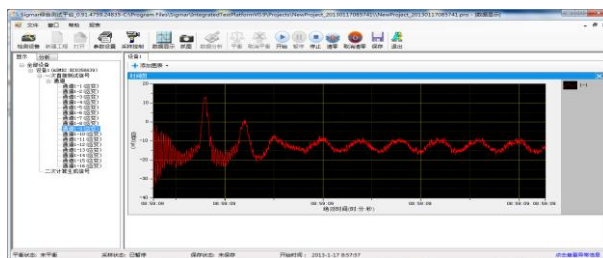


- (3) 所有被测物理信号的波形实时显示

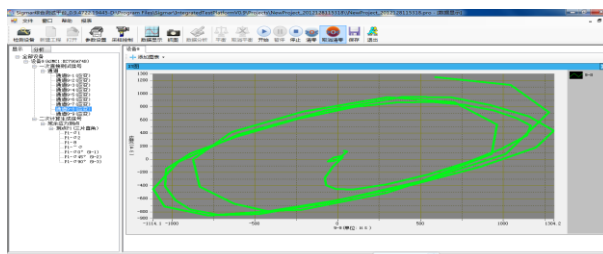
- a. 信号随采样次数变化的曲线



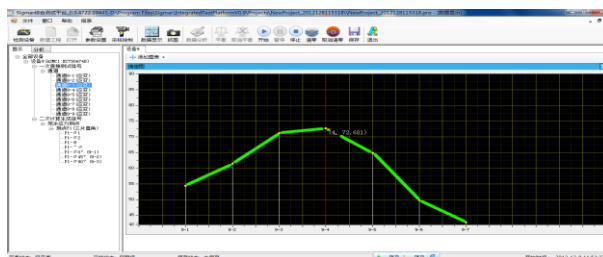
b. 信号随时间变化的曲线



c. 信号 Y 随信号 X 变化的 X-Y 曲线

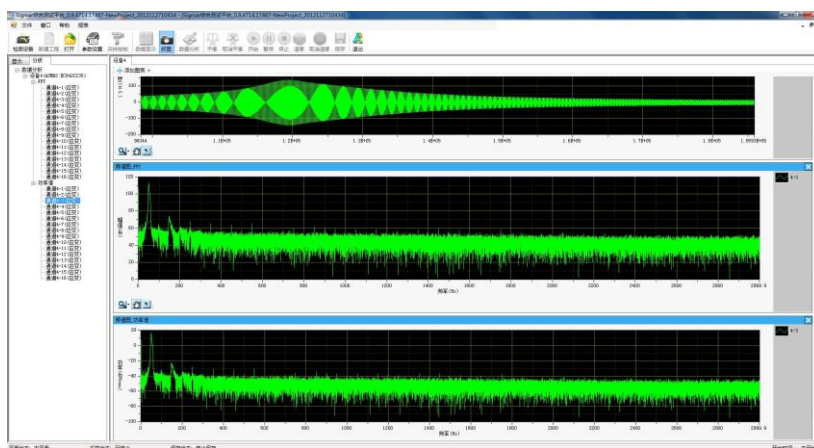


d. 被测工件随时间变化的振型图

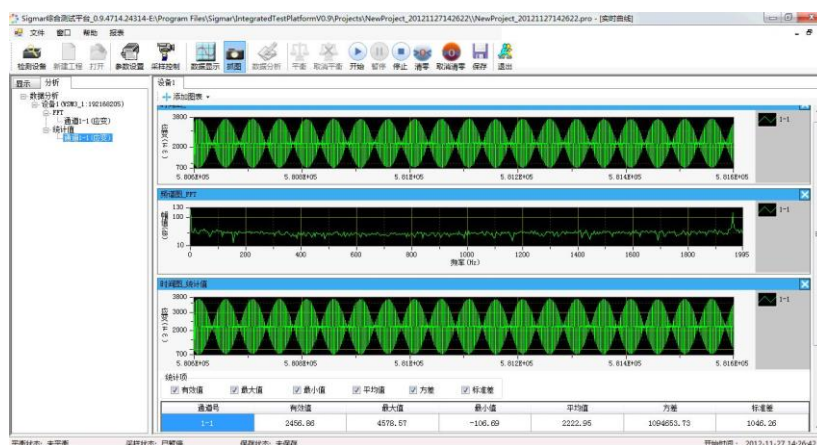


(4) 强大的实时数据分析功能

- a. FFT 频谱分析
- b. 功率谱分析
- c. 统计分析：最大值、最小值、平均值、有效值、方差、标准差



(5) 强大的事后数据回放、数据处理、数据分析、图形处理等功能



(6) 数据导入导出功能，可导入 txt 文本和 csv 文件，导出 txt 文本、tdms 文件、csv 文件、Excel 表格等数据格式文件，方便查看与进一步处理

三. 应用领域

1. **航天航空**：测量火箭、导弹、飞机等飞行器在飞行过程中的动态弯矩、扭矩、剪力，以及飞行引起的热应力。
2. **机械工程及制造设备**：起重机、挖掘机、水泥泵车等工程机械的力臂等部位的应变应力、位移测试；油缸的压力、位移、温度、应变应力综合测试；机床导轨的残余应力测试；冲压设备的动态应变应力测试；旋转部件的应变应力及扭矩测试（需采用无线应变测试仪）。
3. **高铁、汽车、轮船等交通设备**：发动机、减速机的压力、温度、应变应力综合测试；车体、轮轴、高压输电弓等部位的应变及振动测试。
4. **电力、动力工程**：电厂设备的强度测试，如核电站安全壳整体强度测试；水轮机轴及叶片的应变应力测试；蒸汽管道受热后的应变应力、温度、压力综合测试。
5. **土木建筑及水利工程**：建筑结构静态应变应力测试；大型体育场馆的钢结构屋顶在拆除安装支架时的应力监测。
6. **桥梁和道路**：大型钢结构桥梁的静载强度试验和道路涵隧工程结构应力测试。
7. **材料参数测定**：各种金属材料的弹性模量、泊松比、残余应力释放系数 A 和 B 等参数测定。
8. **冶金、石油、化工**：钢锭模表面热应力测试；油罐、压力容器、管道的压力、应变应力测试。

四. WSMC1-4 照片



WSMC1-4 无线应变仪及便携箱照片

五. 技术指标

1. ADC 分辨率: 24 位
2. ADC 类型: Sigma-Delta
3. 应变仪与计算机通讯方式: 无线以太网 (空中通讯距离小于 100 米) 和 RS422 转 USB
4. 测试信号通道数: 4/3/2/1 通道同步采集, 多个 WSMC1-4/3/2/1 应变模块可通过以太网 AP 连接到一台电脑上同时工作
5. 4/3/2/1 个通道为一组, 每组只能测量相同的基本信号
6. 每通道信号采样率 f_s (Samples/second):
4 通道时: 5、10、20、50、100、200、500
2 通道时: 5、10、20、50、100、200、500、1000
1 通道时: 5、10、20、50、100、200、500、1000、2000
7. 低通滤波器性能: 信号幅值比衰减 3dB 时, 通带截止频率: $f_c=0.23f_s$
8. 测试下述三种基本信号时的技术指标 (开机预热半小时测得)

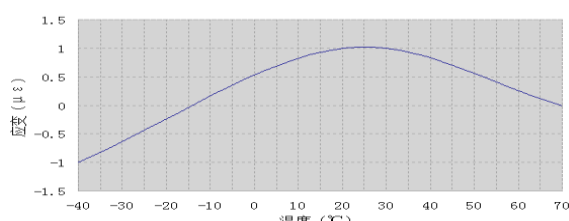
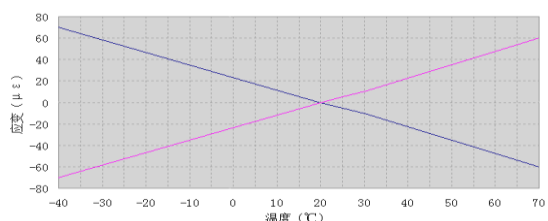
(1) 应变信号

- a. 电桥激励电源 (V): 2.5
- b. 电桥连接方式: 1/4 桥、半桥公共补偿、半桥一对一补偿、半桥无横向效应、半桥有横向效应、全桥无横向效应、全桥有横向效应共七种
- c. 应变计阻值 (Ω): 60、120、350、700、1000
- d. 电桥平衡范围 (Ω): 应变计阻值 $\times \pm 1\%$
- e. 应变测量范围 ($\mu\epsilon$): $-60000 \sim +60000$
- f. 非线性: 小于 0.02%
- g. 应变测量分辨率 ($\mu\epsilon$): 0.1、0.5、1 (可选)
- h. 应变显示分辨率 ($\mu\epsilon$): 0.1、0.2、0.5、1、2、5、10
- i. 应变测量误差

$f_s=5S/s$		温度条件	半桥误差 (D 为测量值)	全桥误差 (D 为测量值)
出厂时测量误差	典型值	$20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$	$\pm(D \times 0.05\% \pm 0.3\mu\epsilon)$	$\pm(D \times 0.05\% \pm 0.3\mu\epsilon)$
	典型值	$-20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$	$\pm(D \times 0.1\% \pm 1\mu\epsilon)$	$\pm(D \times 0.1\% \pm 1\mu\epsilon)$
计量标定后测量 误差	典型值	$20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$	$\pm(D \times 0.02\% \pm 0.2\mu\epsilon)$	$\pm(D \times 0.02\% \pm 0.2\mu\epsilon)$
	典型值	$-20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$	$\pm(D \times 0.05\% \pm 0.5\mu\epsilon)$	$\pm(D \times 0.05\% \pm 0.5\mu\epsilon)$

j. 应变测量零点温度漂移

测试条件			温漂
应变信号源置于恒温箱, 应变仪置于调温箱, $f_s=5S/s$, 电桥硬件平衡, 然后从低温开始调温 测量	半桥	$20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$	$1\mu\epsilon/^\circ\text{C}$
		$-20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$	$2\mu\epsilon/^\circ\text{C}$
	全桥	$20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$	$0.05\mu\epsilon/^\circ\text{C}$
		$-20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$	$0.05\mu\epsilon/^\circ\text{C}$

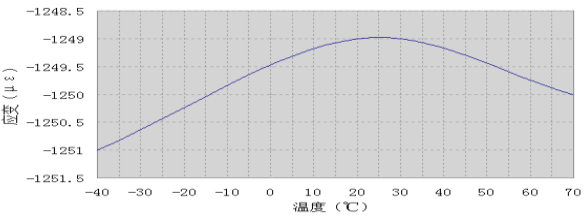
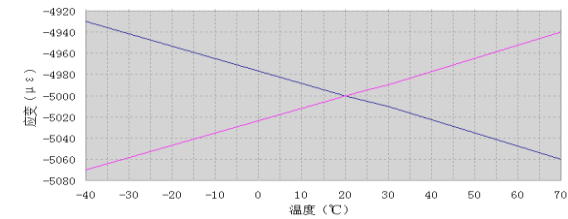


WSMC1 应变测量零点温漂（半桥）

WSMC1 应变测量零点温漂（全桥）

k. 加载-5000μ ϵ 应变温度漂移

i. 测试条件			温漂
应变信号源置于恒温箱，应变仪置于调温箱， fs=5S/s，电桥硬件平衡，然后加载应变 -5000μ ϵ ，从低温开始调温测量	半桥	20℃～30℃	1μ ϵ /℃
		-20℃～60℃	2μ ϵ /℃
	全桥	20℃～30℃	0.05μ ϵ /℃
		-20℃～60℃	0.05μ ϵ /℃

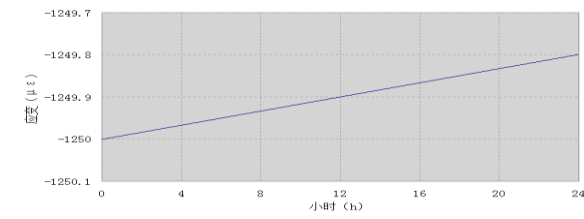
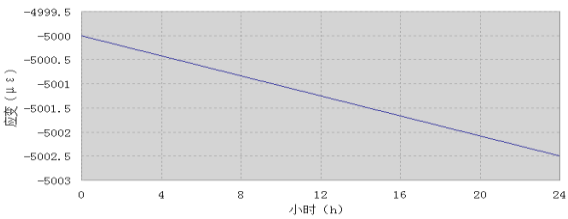


WSMC1 应变测量加载温漂（半桥）

WSMC1 应变测量加载温漂（全桥）

l. 应变测量随时间漂移

测试条件			时漂
应变信号源和应变仪置于恒温箱， fs=5S/s， 电桥硬件平衡，平衡后加载应变-5000μ ϵ	半桥	24 小时	3μ ϵ
	全桥	24 小时	0.5μ ϵ



WSMC1 应变测量时漂（半桥）

WSMC1 应变测量时漂（全桥）

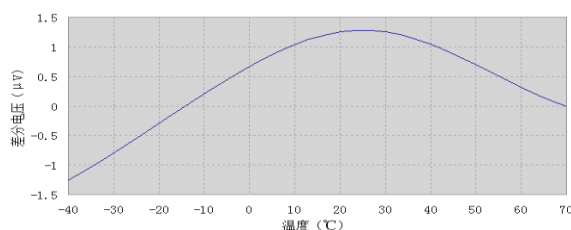
(2) 差分电压信号

- a. 差分电压测量范围（μV）：-78000～+78000
- b. 差分电压测量分辨率（μV）：0.1
- c. 差分电压测量误差（fs=5S/s）

		温度条件	误差（D 为测量值）
出厂时测量误差	典型值	20℃～30℃	±(D×0.03%±0.5μV)
	典型值	-20℃～60℃	±(D×0.05%±1μV)
计量标定后测量误差	典型值	20℃～30℃	±(D×0.01%±0.2μV)
	典型值	-20℃～60℃	±(D×0.02%±0.5μV)

d. 差分电压测量零点温度漂移

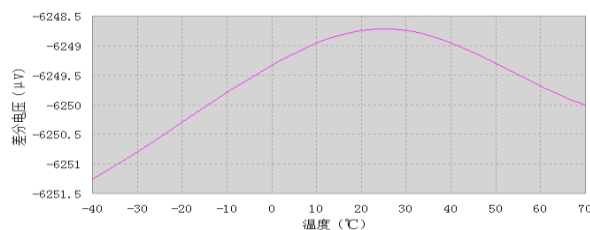
测试条件		温漂
差分电压信号源置于恒温箱，应变仪置于调温箱， fs=5S/s，电压调零，然后开始调温	-20℃～60℃	0.06μV/℃



WSMC1 差分电压零点温漂

e. 差分电压测量-6250 μV 温度漂移

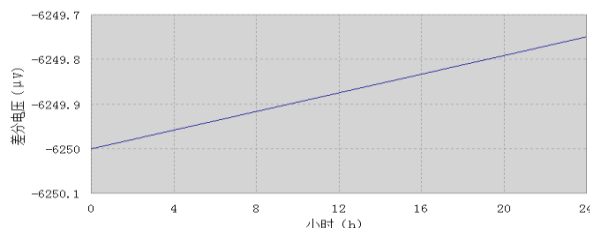
测试条件		温漂
差分电压信号源置于恒温箱，应变仪置于调温箱， fs=5S/s，加载电压-6250 μV，然后开始调温	-20℃～60℃	0.06μV/℃



WSMC1 差分电压测量-6250μV 温漂

f. 差分电压测量随时间漂移

测试条件		时漂
差分电压信号源和应变仪置于恒温箱， fs=5S/s，加载 电压-6250 μV	24 小时	0.6μV



WSMC1 差分电压测量-6250μV 时漂

(3) 单端电压信号

a. 单端电压测量范围 (mV): 0~2500mV

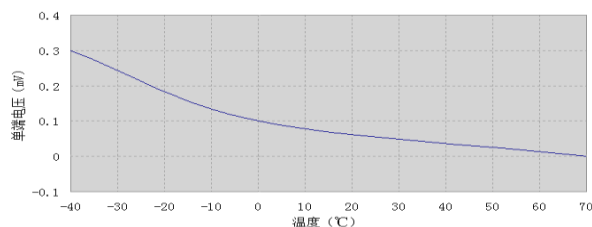
b. 单端电压测量分辨率 (mV): 0.1

c. 单端电压测量误差 (fs=5S/s)

		温度条件	误差
出厂时测量误差	典型值	20℃～30℃	±(D×0.01%±0.2mV)
	典型值	-20℃～60℃	±(D×0.02%±0.3mV)
计量标定后测量误差	典型值	20℃～30℃	±(D×0.005%±0.1mV)
	典型值	-20℃～60℃	±(D×0.01%±0.2mV)

d. 单端电压测量零点温度漂移

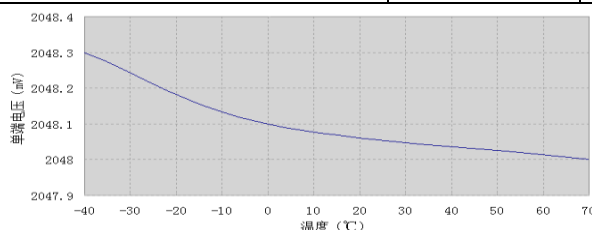
测试条件		温漂
单端电压信号源置于恒温箱，应变仪置于调温箱， fs=5S/s，电压调零，然后开始调温	-20℃～60℃	0.02mV/℃



WSMC1 单端电压测量零点温漂

e. 单端电压测量 2048mV 温度漂移

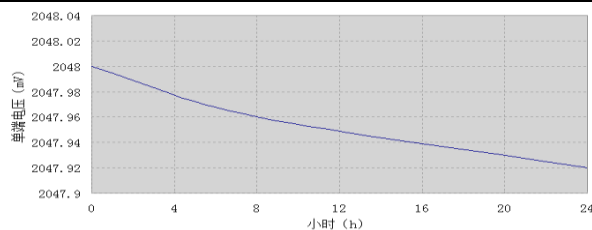
测试条件		温漂
单端电压信号源置于恒温箱，应变仪置于调温箱， fs=5S/s，加载电压 2048mV，然后开始调温	-20℃~60℃	0.02mV/℃



WSMC1 单端电压测量 2048mV 温漂

f. 单端电压测量随时间漂移

测试条件		时漂
单端电压信号源和应变仪置于恒温箱， fs=5S/s，加 载电压 2048mV	24 小时	0.1mV



WSMC1 单端电压测量 2048mV 时漂

9. 测试信号接口类型：电缆锁紧+端子焊接

10. 外形尺寸及重量

应变仪外形尺寸：108mm×80mm×24mm

便携式工程塑料仪表箱外形尺寸：265mm×205 mm×110 mm，重：775 g

WSMC1-1 重量：172g WSMC1-2 重量：185g WSMC1-3 重量：198g WSMC1-4 重量：210g

11. 电源要求

5VDC 2A（标配 220VAC 输入/ 5VDC 2A 输出的电源适配器）

3.7V 1800mAh 锂电池（可选功能），满载连续工作时间大于 5 小时

12. 环境要求

工作温度：-20℃~60℃（放电温度），0℃~45℃（充电温度）

储存温度：-40℃~85℃

工作湿度：10%RH~90%RH

储存湿度：5%RH~95%RH

13. 其它抗干扰测试

静态应变应力测量过程中，允许在被测材料上电钻打孔、电焊、等离子切割等操作。

高速动态应变应力测量过程中，在被测材料上电钻打孔、电焊、等离子切割等操作时，测量数据会出现瞬间干扰，但不影响仪器正常运行。