

电阻应变仪试行检定规程

JJG 623—1989

电阻应变仪试行检定规程

Verification Regulation of
Resistance Strain Gauge Indicator

JJG 623—1989

本检定规程经国家技术监督局于1989年7月21日批准，并自1990年5月21日起施行。

归口单位：中国计量科学研究院

起草单位：中国计量科学研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释。

本规程主要起草人：

赵复真（中国计量科学研究院）

参加起草人：

张功铭（中国计量科学研究院）

目 录

一 概述	682
二 技术要求	682
三 检定条件	684
(一) 检定用设备	684
(二) 检定环境条件	685
四 检定项目和检定方法	685
(一) 外观检查	685
(二) 基本误差(示值误差)的检定	685
(三) 静态电阻应变仪灵敏度刻度误差的检定	685
(四) 静态电阻应变仪灵敏系数刻度误差的检定	686
(五) 动态电阻应变仪标定误差(示值误差)的检定	687
(六) 动态电阻应变仪稳定度的检定	688
(七) 动态电阻应变仪衰减误差的检定	689
(八) 动态电阻应变仪线性度误差的检定	690
(九) 动态电阻应变仪灵敏系数刻度误差的检定	691
(十) 动态电阻应变仪频率响应误差的检定	691
(十一) 信噪比的测定	692
(十二) 电阻平衡范围的测定	692
(十三) 电容平衡范围的测定	692
(十四) 耐压性能的测定	692
(十五) 电源电压变化影响量的测定	692
(十六) 外磁场影响量的测定	693
(十七) 温度变化影响量的测定	693
五、检定结果处理和检定周期	694
附录	694
附录 1 电阻应变仪检定结果	694
附录 2 电阻应变仪检定原始记录格式	697
附录 3 国内标准模拟应变变量校准器的主要技术指标一览表	701

电阻应变仪试行检定规程

本规程适用于新制造、使用中和修理后的电阻应变仪（包括配用电阻应变计或电阻应变计式传感器测量应变及部分物理参数的载波调幅式电阻应变仪）的检定。

一 概 述

电阻应变仪是测量结构及材料在荷载作用变形的应力分析仪器。如果配用相应的传感器，也可测量力、压力、扭矩、位移、振幅等物理量或物理量过程。它是实验应力分析的可靠工具。

电阻应变仪类型很多，但结构基本相似，主要由电桥、放大器、相敏检波器、滤波器、振荡器、电源等部分组成。

二 技 术 要 求

电阻应变仪的级别分为 A、B 和 C 级，所规定的技术要求如下：

1 基本误差（示值误差）限

静态电阻应变仪的基本误差（示值误差）

在灵敏系数 $K=2.000$ 时应符合表 1 规定。

2 灵敏系数刻度误差

电阻应变仪可具有灵敏系数调节装置，

该装置的刻度误差应不大于表 2 规定。

表 1

级 别	基本误差限
A	$\pm 0.2\%$ $\pm 1\mu\text{e}$
B	$\pm 1.0\%$ $\pm 2\mu\text{e}$
C	$\pm 3.0\%$ $\pm 5\mu\text{e}$

表 2

动态电阻应变仪		静态电阻应变仪	
级 别	灵敏系数刻度误差 (%)	级 别	灵敏系数刻度误差 (%)
A	± 0.5	A	± 0.2
B	± 1.0	B	± 1.0
C	± 5.0	C	± 3.0

3 线性度误差

动态电阻应变仪的线性度误差应不大于表 3 规定。

4 标定误差（示值误差）

动态电阻应变仪可具有标定装置，每档标定值（示值）应与衰减倍率相适应，其标定误差（示值误差）应不大于表 4 规定。

表 3

级 别	线性度误差 (%)
A	± 0.5
B	± 1.0
C	± 5.0

表 4

级 别	标定误差（示值误差） (%)
A	± 0.5
B	± 1.0
C	± 5.0

注：标定应是线性标定，电桥单臂（或折算为单臂）使用时所引入的非线性，应由使用说明书中说明或给出修正曲线。

5 衰减误差

动态电阻应变仪可具有衰减量程, 每档量程为测量范围的 $1/n$ 倍 (n 为正整数), 其衰减误差应不大于表 5 规定。

6 频率响应误差

动态电阻应变仪的频率响应误差在工作频率范围内应不大于表 6 规定。

表 5

级 别	衰减误差 (%)
A	± 1
B	± 2
C	± 5

表 6

级 别	频率响应误差 (dB)
A	± 0.5
B	± 0.7
C	± 1.0

7 信噪比

动态电阻应变仪的信噪比应不小于表 7 规定。

8 动态电阻应变仪的稳定度

动态电阻应变仪在 2h 内其灵敏度变化、零点漂移不大于表 8 规定。

9 静态电阻应变仪的稳定度

表 7

级 别	信噪比 (dB)
A	40
B	30
C	26

表 8

级 别	灵敏度变化 (%)	零点漂移 (%)
A	± 1	± 2
B	± 2	± 5
C	± 5	± 7

静态电阻应变仪在 4h 内零点漂移读数变化应不大于表 9 规定。

10 电阻平衡范围

电阻应变仪使用 120Ω 电阻应变计 (片) 时, 其电阻平衡范围应不小于 $\pm 0.5\%$ 。

11 电容平衡范围应不小于 1800pF 。

12 指示平衡时间

静态电阻应变仪可具有自动读数或记录的平衡装置, 其指示平衡时间应不大于 2s。

13 耐压性能

由市电源供电的电阻应变仪, 其电力电路与外壳之间应能经受频率为 50Hz, 电压为 1000V 的正弦交流电压时 1min 的耐压试验, 应无击穿、飞弧现象。

14 电源电压变化影响

电阻应变仪所使用的市电电压, 变化为额定值的 $+5\%$ 和 -10% 时, 由此引入的影响: 静态电阻应变仪的基本误差变化应不大于本规程表 1 中各级别的要求; 动态电阻应变仪的读数变化应不大于表 10 中规定。

表 9

级 别	零点漂移 (μE)	读数变化 (%)
A	± 1	± 0.2
B	± 3	± 1.0
C	± 5	± 3.0

表 10

级 别	读数变化 (%)
A	± 0.5
B	± 1.0
C	± 5.0

注: 指零式静态电阻应变仪只以零点漂移作为考核。

15 外磁场影响

由频率 50Hz 的交流电形成的 400A/m (5Oe) 的外磁场影响下: 动态电阻应变仪的信噪比变化应不大于本规程表 7 中各级别的要求; 动态电阻应变仪和静态电阻应变仪的读数变化应不大于表 11 中规定。

16 温度变化影响

电阻应变仪由 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 范围内任一恒定温度改变到 $-10 \sim +40^\circ\text{C}$ 范围内的任一恒定温度。当温度变化 1°C 引入的影响量如下规定。

16.1 静态电阻应变仪的基本误差、灵敏系数刻度误差、稳定度变化应不大于本规程 1、2、9 条中各级别所规定误差的 1/10。

表 11

动态电阻应变仪		静态电阻应变仪	
级 别	该数值变化 (%)	级 别	该数值变化 (%)
A	± 1	A	± 1
B	± 2	B	± 2
C	± 3	C	± 3

注: 由 50Hz 电压供桥的电阻应变仪, 可不作该项试验。

16.2 动态电阻应变仪的灵敏系数刻度误差、线性度误差、标定误差、频率响应误差、稳定度变化应不大于本规程 2、3、4、6、8 条中各级别所规定误差的 1/10。

17 抗运输环境性能

电阻应变仪在运输包装的条件下, 应符合 ZBY 002—1981《仪器仪表运输、运输贮存基本环境条件及试验方法》专业标准的要求。其中: 高温试验选用 $+55^\circ\text{C}$; 低温试验选用 -40°C 试验后, 静态电阻应变仪仍应符合本规程 1、2、9、13 条的要求; 动态电阻应变仪仍应符合本规程 2、3、4、5、6、7、8、13 条的要求。

18 外观

18.1 电阻应变仪的外壳及零部件的表面处理良好, 无显著的机械损伤。所有调节开关接触良好, 定位准确, 操作灵活。仪器有封印的不得随意启封。标志的文字、符号和标记均应清晰。

18.2 仪器的面板上或外壳适当位置固定的铭牌上应有下列标志:

型号和名称、制造厂名、制造年月、出厂编号。

18.3 操作所用各旋钮、按钮和端钮的名称或符号的刻字应清晰无误。

三 检 定 条 件

(一) 检定用设备

19 检定静态应变仪应具备下列设备:

19.1 标准模拟应变变量校准器: 不确定度 $(0.015 \sim 0.2)\%$; 测量范围 $0 \sim 10^5 \mu\epsilon$; 分辨率 $\leq 1 \mu\epsilon$; 工作电压 $\leq 12\text{V}$; 工作频率 $0 \sim 10\text{kHz}$ 。

20 检定动态应变仪应具备下列设备:

20.1 标准模拟应变变量校准器: 不确定度为 $(0.015 \sim 0.2)\%$; 测量范围 $0 \sim 10^5 \mu\epsilon$; 分辨率 $\leq 1 \mu\epsilon$; 工作电压 $\leq 12\text{V}$; 工作频率 $0 \sim 10\text{kHz}$ 。

20.2 高准确度多量程直流毫安表：不确定度为 $(0.002 \sim 0.2)\%$ ；测量范围 $0 \sim \pm 150\text{mA}$ ；分辨率 $\leq 2.0\mu\text{A}$ 。

20.3 高准确度数字电压表：不确定度为 $(0.002 \sim 0.2)\%$ ；测量范围 $0 \sim \pm 12\text{V}$ ；分辨率 $\leq 1.0\text{mV}$ 。

20.4 交直流两用电阻箱：不确定度 $\leq 0.02\%$ ；测量范围 $0 \sim 10\text{k}\Omega$ ；工作频率 $0 \sim 10\text{kHz}$ ；分辨率 $\leq 0.1\Omega$ 。

20.5 电阻应变仪频率特性测量仪：幅频特性误差 $(\pm 0.3 \sim \pm 1)\%$ ；相频特性 $\leq 3^\circ$ ；测量范围 $20\text{Hz} \sim 10\text{kHz}$ 。

20.6 检定用电源：通常情况，静态应变仪有内附电源，动态应变仪有内附的或外附的配套电源（包括专用引线及插头）。并且所用配套电源应满足被检应变仪说明书中所规定的要求。

20.7 接线盒及输入和输出引线：必须使用被检应变仪所配套的专用接线盒及输入和输出引线。

21 检定所用标准仪器的测量不确定度应不大于被检电阻应变仪该项允许误差的三分之一。

(二) 检定环境条件

22 检定电阻应变仪应在室温为 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 、湿度为 $(35 \sim 75)\% \text{RH}$ 及外磁场 $\leq 40\text{A/m}$ 地磁场的条件下进行。

四 检定项目和检定方法

(一) 外观检查

23 应符合本规程第 18 条的要求。

(二) 基本误差（示值误差）的检定

24 静态电阻应变仪应进行该项检定。其检定方法如下：

24.1 将静态电阻应变仪各读数盘置于零，调定灵敏系数 $K = 2.000$ 分度值，开机通电若干分钟（按说明书要求）后，调节电阻 R 及电容 C 的零位平衡，使指示表指零。继续通电预热半小时以后，重新调整 R 和 C 零位平衡。自动平衡零位的静态电阻应变仪按说明书进行零位平衡。

24.2 指零式静态电阻应变仪可用补偿法获得平衡，由静态电阻应变仪上给出被检定点的名义值 ϵ_B ，用标准模拟应变变量校准器平衡给出被检定点的实际值 ϵ_D 。

24.3 偏位式静态电阻应变仪可直接读出 ϵ_B ，不需平衡，但被检定点的名义值是由标准模拟应变变量校准器给出。

24.4 被检定静态电阻应变仪的基本误差（示值误差） δ_i 可按（1）式计算：

$$\delta_i = \frac{\epsilon_B - \epsilon_D}{\epsilon_D} \times 100\% \quad (1)$$

式中： ϵ_B ——被检定静态电阻应变仪上的指示值（ $\mu\epsilon$ ）；

ϵ_D ——标准模拟应变变量校准器上的指示值（ $\mu\epsilon$ ）。

24.5 对被检静态电阻应变仪读数盘的所有有数字刻线的示值均应进行检定（包括 +、- 两侧的有数字刻线的示值）。

24.6 检定连接线路示意图见图 1 所示。

(三) 静态电阻应变仪稳定度的检定

25 零点漂移的检定

25.1 按本规程第 24.6 款连接线路。将静态电阻应变仪读数盘示值置于零值或零值附近区域进行零点漂移的检定，由标准模拟应变变量校准器上读数。

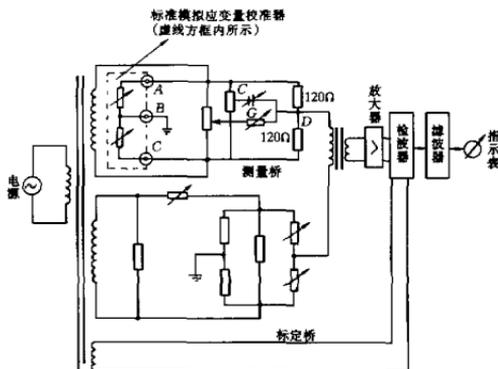


图 1 检定 YJ-5 型静态电阻应变仪示值误差的连接线路图

25.2 在 4h 内，第一小时每隔 15min，以后每隔 30min，从标准模拟应变变量校准器上读取读数。停机间隔 8h 后，改变极性，变换 A 与 C 端接线（即标准模拟应变变量校准器 A 与 C 端接线位置对调），重复以上检定。

25.3 静态电阻应变仪零点漂移 ($\Delta\epsilon$) 按式 (2) 计算：

$$\Delta\epsilon = \frac{(\epsilon_{11} - \epsilon_{110}) + (\epsilon_{12} - \epsilon_{120})}{2} (\mu\epsilon) \quad (2)$$

式中： ϵ_{11} ——第 1 个 4h 正向检定时最大读数 ($\mu\epsilon$)；
 ϵ_{12} ——第 2 个 4h 反向检定时最大读数 ($\mu\epsilon$)；
 ϵ_{110} 、 ϵ_{120} ——当 $t=0$ (开始检定时时刻) 的读数 ($\mu\epsilon$)。

26 示值稳定度的检定

26.1 按本规程第 24.6 款中图 1 连接线路。将静态电阻应变仪读数盘示值置于测量上限的 90% 进行检定。

26.2 按本规程第 25.2 款步骤进行检定示值稳定度 (δ_{1D})，并按式 (3) 进行计算。

$$\delta_{1D} = \frac{(\epsilon_{11} - \epsilon_{110}) + (\epsilon_{12} - \epsilon_{120})}{2\epsilon_{1DS}} \times 100\% \quad (3)$$

式中： ϵ_{11} ——第 1 个 4h 正向检定时最大读数 ($\mu\epsilon$)；
 ϵ_{12} ——第 2 个 4h 反向检定时最大读数 ($\mu\epsilon$)；
 ϵ_{110} 、 ϵ_{120} ——当 $t=0$ 正向、反向检定时读数 ($\mu\epsilon$)；
 ϵ_{1DS} ——测量上限值 ($\mu\epsilon$)。

(四) 静态电阻应变仪灵敏系数刻度误差的检定

27 静态电阻应变仪灵敏系数刻度误差的检定步骤

27.1 按本规程 24.6 款中图 1 连接线路。

27.2 将静态电阻应变仪的灵敏系数调节到 $K = 2.000$ 分度时, 调节使读数为零。

27.3 在 $K = 2.000$ 分度值时, 将标准模拟应变变量校准器的读数盘示值置于静态应变仪测量上限的二分之一以上正或负的应变指示值 ϵ_D (即被检定点的应变名义值), 并由被检静态应变仪读出相应的应变读数 ϵ_{B0} 。

27.4 每改变灵敏系数的一个分度值, 调节并读取标准模拟应变变量校准器的应变读数 ϵ_{DX} , 此时被检静态应变仪仍保持原来 $K = 2.000$ 时的应变读数 ϵ_{B0} 。

27.5 顺序检定整个灵敏系数盘有数字刻线的每个分度值, 按 (4) 式可计算出灵敏系数刻度误差 (δ_L)

$$K_X = \frac{2\epsilon_{DX}}{\epsilon_D}$$
$$\delta_L = \left(\frac{K_D \cdot \epsilon_D}{2\epsilon_{DX}} - 1 \right) \times 100\% = \left(\frac{K_D}{K_X} - 1 \right) \times 100\% \quad (4)$$

式中: K_X ——被检定点的灵敏系数实际值;

δ_L ——灵敏系数刻度误差 (%);

K_D ——被检定点的灵敏系数名义值;

ϵ_{DX} ——灵敏系数为 K_X 时, 被检仪器指示应变值为 ϵ_B 的实际值 ($\mu\epsilon$);

ϵ_D —— $K = 2.000$ 时, 被检仪器指示应变值为 ϵ_B 的实际值 ($\mu\epsilon$)。

(五) 动态电阻应变仪标定误差 (示值误差) 的检定

28 动态电阻应变仪标定误差 (示值误差) 的检定步骤

28.1 按本规程中图 2 连接线路。若动态电阻应变仪有电压和电流两种输出, 则需把毫安表接入动态电阻应变仪的低阻 (电流) 输出插孔, 把数字电压表接入动态电阻应变仪的高阻 (电压) 输出插孔。若只有一种输出 (电压或电流) 的动态电阻应变仪, 只需接入一种输出表 (电压或电流表) 到输出插孔。当电流输出时, 电流表可并联或串联一个外接电阻 (即开关 K 打

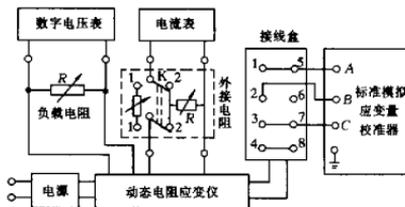


图 2 检定动态电阻应变仪的连接线路图

在 2 或 1 位置), 使电流表的内阻与外接电阻总电阻值等于应变仪所要求的输出负载电阻值。

28.2 将电源开关接通, 预热 30min 后方可进行检定。

28.3 将标准模拟应变变量校准器的示值置于零。把动态电阻应变仪的内部标定放到零, 改变衰减量程从大到小, 调节 R 及 C 零平衡旋钮使输出表指零, 直到衰减量程到达 $\times 1$ (即不衰减) 位置, 输出表指针处于零位为止。自动零位平衡的电阻应变仪, 按说明书规定进行。

28.4 把动态电阻应变仪的内部标定放到基本量程上限值 (例如 $+100\mu\epsilon$ 和 $-100\mu\epsilon$ 时), 调定灵敏度旋钮 (即放大器增益) 使指示器 (或输出表) 分别可指到基本量程上限值 (如 $+100$ 或 -100) 位置。如果指示器 (或输出表) 正、负示值相对于零位不对称, 则需调节动态电阻应变仪的“基零”调节器, 使指示器 (或输出表) 相对于零位能对称的指到 $+100$ 和 -100 位置。若有电流和电压两种输出的动态电阻应变仪, 应分别将两种输出“基零”均调好正、负示值的对称性。

28.5 动态电阻应变仪的内部标定 (CAL) 经常选用的检定点为 $\pm 30 (50)$, ± 100 , $\pm 300 (500)$, ± 1000 , $\pm 3000 \mu\epsilon$ 。

28.6 根据动态电阻应变仪结构及线路上的差异来决定检定方法, 一般有替代法及补偿法两种检定方法。当动态电阻应变仪的“标定”与“测量”开关线路不能共用, 标定器示值较小, 或输出表的零位不够稳定时, 可采用替代法检定。在动态电阻应变仪的“标定”与“测量”开关线路可以共用的前提下, 当输出表的零位比较稳定, 且标定器示值较大 (大于 $100 \mu\epsilon$), 可采用补偿法检定。

28.6.1 用替代法检定标定误差 (示值误差): 由接入测量回路的标准模拟应变变量校准器给出与应变仪内部标定器被检点的名义值大小相等、方向相同的应变名义值来代替应变仪标定器给出的应变名义值, 并在输出表上进行比较读数, 但此时被检应变仪的衰减量程应放在与被检点名义值相适应的位置, 以保证输出表上读数能在线性范围内, 并按 (5) 式进行计算标定误差 (示值误差)

$$\delta_B = \frac{(a_B - a_{B0}) - (A_B - A_{B0})}{(A_B - A_{B0})} \times 100\% \quad (5)$$

式中: A_B ——标准模拟应变变量校准器给出被检点的名义值时的读数;

A_{B0} ——应变仪开关在“测量”位置时的零位读数;

a_B ——应变仪标定器给出被检点的名义值时的读数;

a_{B0} ——应变仪开关在“标定”位置时的零位读数。

28.6.2 用补偿法检定标定误差 (示值误差): 由接入测量回路的标准模拟应变变量校准器给出与动态电阻应变仪内部标定器被检点的实际值大小相等、方向相反的应变值, 此时输出表作为零位指示器, 用以判断平衡状态。即由动态应变仪读出被检点的名义值, 由标准模拟应变变量校准器上读出被检点的实际值, 按 (6) 式计算标定误差 (示值误差)

$$\delta'_B = \frac{a'_B - A_B}{A_B} \times 100\% \quad (6)$$

式中: δ'_B ——被检应变仪的标定误差 (示值误差) (%) ;

A_B ——标准模拟应变变量校准器读数盘的指示值 ($\mu\epsilon$);

a'_B ——动态电阻应变仪被检点的名义值 ($\mu\epsilon$)。

(六) 动态电阻应变仪稳定度的检定

29 零点漂移的检定

29.1 检定时按本规程图 2 连接线路。

29.2 将标准模拟应变变量校准器的读数盘指示值及动态电阻应变仪标定器的示值置于零, 同时把衰减放到 $\times 1$ 量程位置。

29.3 电源通电 30min 后, 反复调节电阻 R 及电容 C 平衡旋钮, 使输出表指零为止。自动零位平衡的电阻应变仪按说明书规定进行。

29.4 在调好零位平衡的基础上, 调节灵敏度旋钮, 使放大器灵敏度达到应变仪使用说明书中规定的要求, 并再次进行零平衡。

29.5 将标准模拟应变变量校准器的读数盘指示值放到基本量程上限值 (如 $100 \mu\epsilon$), 从输出表上读取读数 A_0 。然后将标准模拟应变变量校准器的读数盘指示值放到零位, 并记下此时输出表的读数 a_0 。

29.6 在 2h 内, 开始半小时每隔 15min 从输出表读一次数 a_i , 以后每隔 30min 读一次数 a_i , 取 a_i 与 a_0 之差的最大绝对值 $|a_i - a_0|_{\max}$, 按 (7) 式计算零点漂移

$$\delta_{00} = \frac{a_i - a_0|_{\max}}{A_0 - a_0} \times 100\% \quad (7)$$

式中: a_0 ——当 $t=0$ 时(开始检定时刻)零点的读数;

a_i ——在 2h 内, 零点的各读数;

A_0 ——当 $t=0$ 时, 接入标准模拟应变变量校准器指示值为基本量程上限值(如 $100\mu\epsilon$)时的读数;

30 灵敏度变化的检定

30.1 检定时按本规程图 2 连接线路。

30.2 按本规程第 29.2 款至第 29.4 款进行零平衡。

30.3 将标准模拟应变变量校准器示值放到基本量程上限值(例如 $100\mu\epsilon$), 从输出表读取输出读数。在 2h 内分别在 15, 30, 60, 90, 120min 时接入或不接入标准模拟应变变量校准器一个读数盘的指示值(如 $100\mu\epsilon$), 同时相应从输出表上读取接入及不接入 $100\mu\epsilon$ 时的输出读数 A_0, a_0, A_1, a_1 值, 取 $(A_1 - a_1)$ 与 $(A_0 - a_0)$ 之差的最大绝对值 $|(A_1 - a_1) - (A_0 - a_0)|_{\max}$, 按 (8) 式计算灵敏度变化

$$\delta_{dL} = \frac{|(A_1 - a_1) - (A_0 - a_0)|_{\max}}{A_0 - a_0} \times 100\% \quad (8)$$

式中: A_0 ——当 $t=0$ 时(开始检定的时刻), 接入标准模拟应变变量校准器指示值为基本量程上限值(如 $100\mu\epsilon$)时的读数;

a_0 ——当 $t=0$ 时, 不接入标准模拟应变变量校准器指示值为基本量程上限值(如 $100\mu\epsilon$)时的读数;

A_1 ——在 2h 内接入标准模拟应变变量校准器指示值为基本量程上限值(如 $100\mu\epsilon$)时的各读数;

a_1 ——在 2h 内不接入标准模拟应变变量校准器指示值为基本量程上限值(如 $100\mu\epsilon$)时对应 A_1 的各读数。

(七) 动态电阻应变仪衰减误差的检定

31 衰减误差的检定

31.1 检定时按本规程图 2 连接线路。

31.2 按本规程第 29.2 款至 29.4 款进行零平衡。

31.3 用标准模拟应变变量校准器给出动态电阻应变仪基本量程($\times 1$)上限值的应变值(如 $100\mu\epsilon$), 同时从输出表上读取输出读数 A_s 。根据衰减量程, 将标准模拟应变变量校准器给出的应变值加大相应倍数, 同时从输出表上读取输出读数 a_s 。(衰减换挡时, 各挡零偏值应不大于各级别所规定的衰减误差值)。顺序检定各个衰减量程, 并按式 (9) 计算衰减误差:

$$\delta_s = \frac{(a_s - a_{s0}) - (A_s - A_{s0})}{(A_s - A_{s0})} \times 100\% \quad (9)$$

式中: A_s ——衰减前(即未衰减时)读数;

A_{s0} ——衰减前零偏值;

a_s ——衰减后读数;

a_{s0} ——衰减后零偏值。

31.4 另一种检定衰减误差的方法是由标准模拟应变变量校准器上读取衰减前、后数值，其检定步骤如下：

31.4.1 按本规程中图 2 连接线路及按本规程第 29.2 款至 29.4 款进行零平衡。

31.4.2 衰减量程 R_s 放在 $\times 1$ 位置（即衰减前位置），标准模拟应变变量校准器及动态电阻应变仪标定器示值均为零时，由输出表读取的读数值为衰减前的零偏值 A_{s0} 。

31.4.3 衰减量程为 $\times 1$ 时，将标准模拟应变变量校准器示值放在 A_s （例如 $100\mu\epsilon$ ），动态电阻应变仪的标定器示值仍为零。此时由输出表读取输出读数值 A'_s 。

31.4.4 改变衰减量程 R_s ，由输出表读取此时的零偏值 a_{s0} 。调节标准模拟应变变量校准器读数盘指示值为 a'_s ，使此时输出表的输出读数值为 $A_x = (A'_s - A_{s0}) + a_{s0}$ ，按式 (10) 计算衰减误差：

$$\delta'_s = \frac{(A'_s \cdot R_s) - a'_s}{A_s R_s} \times 100\% \quad (10)$$

式中： a'_s ——衰减后标准模拟应变变量校准器的读数值（ $\mu\epsilon$ ）；

A_s ——衰减前标准模拟应变变量校准器的读数值（ $\mu\epsilon$ ）；

R_s ——衰减量程。

(八) 动态电阻应变仪线性度误差的检定

32 线性度误差的检定

32.1 检定时按本规程图 2 连接线路。

32.2 按本规程第 29.2 款至第 29.4 款进行零平衡。

32.3.1 检定电压输出的线性度误差时，把本规程图 2 线路中的电流表除去，衰减量程置于 $\times 1$ 位置。

32.3.2 检定电流输出的线性度误差时，把本规程图 2 线路中的电压表除去，衰减量程置于 $\times 1$ 位置。

32.4 按照线性输出的基本量程上限值确定六个检定点，即上限值的 0%，20%，40%，60%，80%，100%。例如动态电阻应变仪的线性输出基本量程上限值 A_{\max} 为 $\pm 100\mu\epsilon$ ，则检定点为 0， ± 20 ， ± 40 ， ± 60 ， ± 80 ， $\pm 100\mu\epsilon$ ，这些检定点的数值可由标准模拟应变变量校准器依次给出，从电流表或数字电压表上读取各检定点的输出读数值 a_i ，测定应重复进行三次，求算术平均值 \bar{a}_i 。正、负应变变量的线性度均应检定，其检定步骤相同。并分别按 (11) 式计算（即按端点法计算）电流或电压线性度误差：

$$\delta_x = \frac{(\bar{a}_i - \bar{a}_0) - A}{A_{\max}} \times 100\% \quad (11)$$

式中： \bar{a}_i ——检定点的输出读数算术平均值；

\bar{a}_0 ——检定点的零偏输出读数算术平均值；

A ——检定点的输出读数理论值；

A_{\max} ——检定点为基本量程上限值时输出读数减去零偏读数的算术平均值；

A 值由下式确定：

$$A = \frac{\epsilon}{\epsilon_{\max}} \cdot A_{\max}$$

ϵ ——检定点的标准模拟应变值（ $\mu\epsilon$ ）；

ϵ_{\max} ——检定点为基本量程上限值时的标准模拟应变值 ($\mu\epsilon$)。

(九) 动态电阻应变仪灵敏系数刻度误差的检定

33 动态电阻应变仪的灵敏系数刻度误差的检定步骤

33.1 检定时按本规程图 2 连接线路

33.2 将动态电阻应变仪的灵敏系数调到 $K=2.000$ 分度值时, 按本规程第 29.2 款至 29.4 款进行零平衡。

33.3 在 $K=2.000$ 分度值时, 将动态电阻应变仪的内部标定放到基本量程上限值 (如 $+100\mu\epsilon$ 或 $-100\mu\epsilon$) ϵ_B , 并由标准模拟应变量校准器上给出平衡时的应变读数值 ϵ_D 。

33.4 每改变动态电阻应变仪灵敏系数的一个分度值, 调节并读取标准模拟应变量校准器上平衡时的模拟应变实际值 ϵ_{DX} , 动态电阻应变仪仍保持原来 $K=2.000$ 时平衡状态下的应变标定值 ϵ_B 。

33.5 顺序检定整个灵敏系数盘有数字刻线的每个分度值, 按本规程式 (4) 计算灵敏系数刻度误差 (δ_L)。

(十) 动态电阻应变仪频率响应误差的检定

34 动态电阻应变仪频率响应误差的检定

34.1 动态电阻应变仪频率响应的检定方法

原则上是采用动态电阻模拟方法, 即用受频率调制而产生电阻变化的器件来模拟电阻应变计 (片) 在不同的动态频率下电阻的变化。这种电阻随动态频率而变化的模拟方法称为“动态电阻模拟法”。通常动态频率在 $20\text{Hz}\sim 10\text{kHz}$, 模拟准确度在 $0.1\sim 0.5\%$ 范围内的频响仪便可满足目前动态电阻应变仪频响检定的要求。

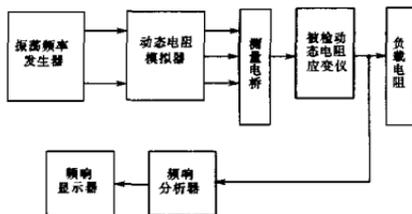


图 3 检定动态电阻应变仪的频响的连接线路图

34.2 动态电阻模拟应变频响仪的结构原理可能是多种多样的, 但它必须具有图 3 中所要求的动态电阻模拟器。

34.3 检定动态电阻应变仪的频率响应时, 动态电阻模拟器是以 20Hz (或 40Hz) 动态频率给定时的被检动态应变仪输出幅值 U_0 为参考, 然后仅改变动态电阻模拟器的频率 f_i , 产生对应的被检动态电阻应变仪输出幅值为 U_i , 按式 (12) 或式 (13) 来计算频率响应误差:

$$\begin{aligned} \delta P_i &= \frac{U_i - U_0}{U_0} \times 100\% \text{ (dB)} \\ &= \delta P_i - \delta P_0 \end{aligned} \quad (12)$$

或

$$\begin{aligned} \delta P_i &= 20 \log \frac{U_i}{U_0} = 20 \log \frac{U_0 + (U_i - U_0)}{U_0} \\ &= 20 \log(1 + \delta P_i) \text{ (dB)} \end{aligned} \quad (13)$$

式中: δP_i ——频率响应误差 (dB)

δP_i ——频率响应误差 (%);

δP_0 ——检定频率下的频率响应 (%);

δP_0 ——参考频率 (20Hz 或 40Hz) 下的频率响应 (%).

(十一) 信噪比的测定

35 将被测动态应变仪调平衡, 在交流毫伏表上读取输出电压读数 U_0 。用动态电阻应变仪的标定器或在测量电桥的一臂并联一个纯电阻 R_x , 给出值为基本量程上限值, 从电流表上读取输出电流读数 I , 交流毫伏表上读取输出电压读数 U_{Nc} 。

比较 U_0 和 U_N , 以其中绝对值最大者为输出噪音 U_z 。信噪比 (N) 按 (14) 式计算:

$$N = 20 \log \frac{\sqrt{2}IR}{2U_z} \quad (\text{dB}) \quad (14)$$

式中: U_z ——输出噪音读数;

I ——电流读数;

R ——负载电阻值。

(十二) 电阻平衡范围的测定

36 在预先已平衡的电阻应变仪测量电桥的相邻两臂, 先后并联一个纯电阻 R_x , 然后调节电阻平衡旋钮使电表上的读数或电阻应变仪的电表指针仍回原处。

电阻平衡范围 (R_P) 由 (15) 式确定:

$$R_P = \frac{\Delta R}{R} \times 100\% \quad (15)$$

式中: R —— 120Ω ;

ΔR ——不平衡电阻值;

ΔR 由下式计算

$$\Delta R = R - \frac{R \cdot R_x}{R + R_x}$$

测定时接线方法如图 4 所示。

(十三) 电容平衡范围的测定

37 在预先已平衡的电阻应变仪电桥的相邻两臂, 先后并联一个 1800pF 或按电阻应变仪规定容量的云母电容器, 然后调节平衡旋钮使电表上的读数或电阻应变仪的电表指针仍回原处。

测定线路如图 (5) 所示。

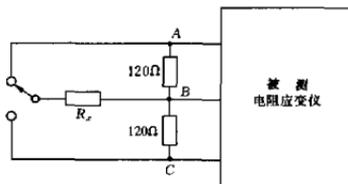


图 4

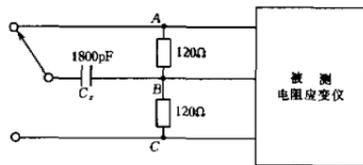


图 5

(十四) 耐压性能的测定

38 将试验设备的接地端子与电阻应变仪电源装置接地端子连接, 试验设备的另一个端子与电源装置输入端子连接。将试验设备的电压缓慢增加到规定值 (1500V), 并保持 1min , 应无击穿、飞弧现象。然后缓慢将电压降低到零值, 切断电源。

(十五) 电源电压变化影响量的测定

39 电阻应变仪的电源电压在额定电压时进行测定基本误差（示值误差）后，再分别改变电源电压为额定值的+5%和-10%，并分别测定改变电源电压时的示值误差值，取其中误差（ δ_y ）较大的一个值作为电源电压变化影响量。

静态电阻应变仪的基本误差（示值误差）变化，按本规程第24条方法进行测定。

动态电阻应变仪的输出读数变化测定时，用标准模拟应变量较准器给出基本量程上限的应变值，从数字电压表上读取输出读数。

电源电压影响量（ δ_y ），按（16）式进行计算：

$$\delta_y = \frac{A_{y1} - A_{y0}}{A_{y0}} \times 100\% \quad (16)$$

式中： A_{y0} ——在额定电压下测定的读数；

A_{y1} ——在额定电压的+5%或-10%下测定的读数。

（十六）外磁场影响量的测定

40 将电阻应变仪放在试验设备的中心转台上，在无外磁场的条件下，平衡电桥使电阻应变仪读数为零或为最小值。然后加400A/m磁场，并改变磁场方向，使电阻应变仪处于最不利的条件下，再读取读数。

外磁场影响量（ δH ），按下式计算：

静态电阻应变仪：

$$\delta H = \epsilon_H - \epsilon_{H0} \quad (17)$$

式中： ϵ_H ——有外磁场下测定的读数；

ϵ_{H0} ——无外磁场下测定的读数。

动态电阻应变仪：

$$\delta_H = \frac{(a_H - a_{H0})}{A_{\max}} \times 100\% \quad (18)$$

式中： a_H ——有外磁场下测定的读数；

a_{H0} ——无外磁场下测定的读数；

A_{\max} ——无外磁场下测定基本量程上限值时的读数。

（十七）温度变化影响量的测定

41 在15~25℃范围内任一恒定温度环境中测定

41.1 静态电阻应变仪按本规程第24、25、26和27条进行基本误差、稳定性和灵敏系数刻度误差的测定。

41.2 动态电阻应变仪按本规程第28、29、30、32、33和34条进行标定误差（示值误差）、稳定性、线性度误差、灵敏系数刻度误差和频率响应误差的检定。

42 然后将电阻应变仪分别放入-10℃及+40℃任一恒定温度环境中，保持4h，重复以上内容的测定。当进行-10℃和+40℃两次测定之间，电阻应变仪应在温度为15~25℃，相对湿度为（30~85）%的环境中放置24h。

43 温度影响量（ ΔW ），按（19）式计算：

$$\Delta W = \frac{\delta_{T1} - \delta_{T0}}{T_1 - T_0} \quad (19)$$

式中： δ_{T_1} ——温度为 -10°C 或 $+40^{\circ}\text{C}$ 下测定的误差值；

δ_{T_0} ——温度为 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ 下测定的误差值；

T_1 —— -10°C 或 $+40^{\circ}\text{C}$ 测定时的实际温度值；

T_0 —— $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ 测定时的实际温度值。

44 对于周期检定项目，可以豁免本规程中的第（十一）项、第（十二）项、第（十三）项、第（十四）项、第（十五）项、第（十六）项及第（十七）项。

五 检定结果处理和检定周期

45 经检定合格的计量器具可发给检定证书；检定不合格的计量器具发给检定结果通知书。

46 检定证书给出的数据应比被检应变仪规定的误差多取一位。

47 检定结果的处理，是以保留数字的末位为单位，它的后面数大于0.5者，末位进1；小于0.5者，末位不变；恰为0.5者，按偶数法则舍取（即使末位凑成偶数，末位为奇数时进1，末位为偶数时舍去，这样可使5本身引起的正负误差有相消的机会，同时又避免舍入后数字取平均值又出现5）。

48 电阻应变仪的级别评定时，应符合本规程第1至第18条款所规定的全部技术要求。

49 电阻应变仪的检定周期为一年。

附 录

附录1 电阻应变仪检定结果

静态电阻应变仪的检定结果

示 值		相 对 误 差 (%)									
		$\times 10^4 \mu\text{E}$ 盘		$\times 10^3 \mu\text{E}$ 盘		$\times 10^2 \mu\text{E}$ 盘		$\times 10 \mu\text{E}$ 盘		$\times 1 \mu\text{E}$ 盘	
		(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

二、灵敏系数刻度误差:

名义值	实际值	名义值	实际值

三、稳定度:

1. 零点漂移: $\leq 4h$ 2. 示值稳定度: $\leq 4h$ 四、检定条件: 频率: Hz; 电压: V;
温度: $^{\circ}C$; 湿度: %RH

五、备注:

动态电阻应变仪的检定结果

一、标定误差 (示值误差)

示值 (με)	通道	标定误差 (%)																
		1		2		3		4		5		6		7		8		
		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	

二、线性度误差

标准值 (%)	通道	线性度误差 (%)																
		1		2		3		4		5		6		7		8		
		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	
0																		
20																		
40																		
60																		
80																		
100																		

三、衰减误差:

		衰 减 误 差 (%)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
衰减量程	通道								

四、频响误差:

		频 响 误 差 (dB)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
频率 (Hz)	通道								
	20								
	40								

五、灵敏系数刻度误差:

名义值	实际值	名义值	实际值
2.00			

六、稳定度:

1. 零点漂移: $\leq 2h$

2. 灵敏度变化: $\leq 2h$

七、检定条件: 温度: C

湿度: %RH。

八、备注:

附录 2 电阻应变仪检定原始记录格式

静态电阻应变仪检定原始记录格式

检定日期 _____

送检单位	编号	检定条件
型号规格	制造厂	证书号 字第 号

一、基本误差 (示值误差):

示 值	读 数 值 ($\mu\epsilon$)							
	$\times 10^3 \mu\epsilon$ 盘		$\times 10^2 \mu\epsilon$ 盘		$\times 10 \mu\epsilon$ 盘		$\times 1 \mu\epsilon$ 盘	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

二、灵敏系数刻度误差:

名义值	标准模拟应变量 校准器读数 (μE)	实际值	刻度误差 (%)	名义值	标准模拟应变量 校准器读数 (μE)	实际值	刻度误差 (%)

三、稳定度:

1. 零点漂移:

时间		
(时:分)	正 向	反 向

2. 示值 (μE) 稳定度

时间		
(时:分)	正 向	反 向

四、备注:

检定员:

核验员:

动态电阻应变仪检定原始记录格式

通道号 ()

检定日期: 年 月 日

送检单位	编号	检定条件
型号规格	制造厂	证书号 字第 号

一、标定误差 (示值误差):

示值	读数值 (μE)					
	(+)			(-)		
	被检	标准	相对误差%	被检	标准	相对误差%

二、衰减误差:

衰减量程	零位读数 (格)	输出表读数 (格)	标准读数 (μE)	衰减误差 (%)

三、线性度误差:

标准值 ()	理论值 A		读数值 a_i		$a_i - a_0$		线性度误差 (%)	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
0			$a_0 =$	$a_0 =$				
20								
40								
60								
80								
100								

检定员:

核验员:

附录3 国内标准模拟应变量校准器的主要技术指标一览表

名称	感应分压器—电阻器匹配网络	标准模拟应变 量校准仪	标准模拟应变 量校准器	感应式标准 应变模拟仪	标准应变 模拟仪	应变量 校正器	十进制标 准应变箱
型号	DR-1 DR-3	DR-120 DR-350	DR-2	DBYM-1	BYM-1 BYM-2 BYM-3	ZY-1	YX-1
不确定度	(0.015~ 0.03)% ±0.01 $\mu\epsilon$	0.05%	0.05% ± 0.1 $\mu\epsilon$	0.05% ± 0.1 $\mu\epsilon$, <5kHz, 0.1% ± 0.2 $\mu\epsilon$, (5~10) kHz	0.1% ± 0.2 $\mu\epsilon$ 0.2% ± 0.5 $\mu\epsilon$	0.05% ($< \pm 1\mu\epsilon$)	0.05% ($< \pm 1\mu\epsilon$)
测量范围	0~10 ⁵ $\mu\epsilon$	0~10 ⁵ $\mu\epsilon$	0~10 ⁵ $\mu\epsilon$	0~11110 $\mu\epsilon$	0~10 ⁴ $\mu\epsilon$	0~21110 $\mu\epsilon$	0~10 ⁵ $\mu\epsilon$
分辨力	DR-1型 0.02 $\mu\epsilon$ DR-3型 0.1 $\mu\epsilon$	0.1 $\mu\epsilon$	1 $\mu\epsilon$	1 $\mu\epsilon$	1 $\mu\epsilon$	1 $\mu\epsilon$	1 $\mu\epsilon$
工作频率	400Hz~10kHz	0~10kHz	0~1kHz	500Hz~10kHz	0~10kHz	0~2000Hz	400Hz~10kHz
工作电压	≤12V	≤12V	≤12V	≤12V	≤12V	≤20V	≤12V
灵敏系数	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000 (有灵敏系数盘)
结构形式	半桥	全桥和半 桥两用	半桥	半桥	半桥	半桥	半桥
工作温度	(20±10)℃	(20±10)℃	(20±10)℃	(20±10)℃		(20±5)℃	(20±5)℃
等效性	0.03%			0.05~0.1%			0.1%
桥臂不对称性	≤10 $\mu\epsilon$	<20 $\mu\epsilon$	<10m Ω	≤20 $\mu\epsilon$	≤50 $\mu\epsilon$		
桥臂标称电阻	120 Ω	DR-120型 120 Ω DR-350型 350 Ω	120 Ω	120 Ω	120 Ω	120 Ω	120 Ω
零位漂移	<0.1 $\mu\epsilon$ /4h	<0.2 $\mu\epsilon$ /4h	<0.5 $\mu\epsilon$ /4h				
示值4h内 稳定度	0.001%/4h	<0.002%/4h	0.002%/4h	<基本误差			
示值年 稳定度	0.002%/1a	0.005%/1a	0.005%/1a				
重复性	0.001%	0.001%	0.001%	0.02% ± 0.1 $\mu\epsilon$			
工作湿度	(30~85)% RH	(30~85)% RH	(30~90)% RH	(30~85)% RH		<85% RH	
生产厂	中国计量科学 研究院	中 国	中国计量科学 研究院佳 木斯计量 仪器厂	广东省科学 院实验工厂	广东省科学院 实验工厂	上海交流 仪器厂	上海交流仪器厂