

传感器模拟器的使用及校准

上海耀华称重系统有限公司 徐平均

摘要：本文介绍了 XY1 型传感器模拟器的使用方法、使用注意事项及校准方法。

关键字：应变传感器模拟器；数字式；可编程序；校准

1、引言

上海耀华生产的 XY1 型应变传感器模拟器可模拟应变式称重、测力、压力、扭矩、加速度等各种传感器的标准输出信号，用来校准、检验相应的指示仪表，调试各种自动衡器和自动化系统，还可测量供桥电压、环境温度，并具有可编程功能，是一款高性能、高准确度、多用途的应变传感器模拟器[1]，2.00 版本的 XY1 型模拟器的内部分辨率已达到了 100 万码。本文就 XY1 型传感器模拟器的使用方法、使用注意事项和校准方法作一些简单介绍。

2、传感器模拟器的基本使用方法

2.1 传感器模拟器的主要功能是输出一个标准的应变传感器信号，用来检查仪表在各种不同的测试条件下是否都能符合标准的要求。XY1 型模拟器有四种方式设置输出信号值，即步进输出、数字键直接设置、在设置范围内步进输出。下面将分别介绍三种方式的操作方法。

2.2 步进输出方式

步进输出方式也称为功能 0 状态。如果没有设置输出范围下限，称重指示器开机后模拟器进入步进输出方式，显示屏显示“F0 0.0000”，“F0”表示步进输出方式，“0.0000”表示当前输出信号为 0.0000mV/V。在模拟器的其它工作状态，按“返回”键，模拟器也会进入步进输出状态。在此状态下，每按一次“增加”键，输出增加一个步长值，直到最大输出信号 2.0000mV/V；每按一次“减小”键，输出减小一个步长值，直到输出信号为 0.0000mV/V。出厂时步长值设为 0.1000mV/V，步长值可按“设置”、数字键、“确认”键修改。按“满量程”键输出最大信号 2.0000mV/V，按“零点”，输出信号回到 0.0000 mV/V。

2.3 数字键直接设置方式

按“功能”、“1”键就进入了数字键直接设置方式，也称为功能 1 状态，显示屏显示“F1 0.0000”，“F1”表示直接设置方式，“0.0000”表示当前输出信号为 0.0000mV/V。输入数字后按“确认”键，即按输入的设定值输出信号。如果输入值大于 2mV/V，则输出信号最大值 2.0000mV/V。

2.4 设置范围内步进输出方式

有的称重指示器最小输入信号电压大于 0 mV，因此测试时要给出一个信号电压下限，即对应于衡器空载状态下的信号电压。为了测试称重指示器在放大倍数最大，即每检定分度值 e 的输入信号电压最小的状态下的性能，要限制最大称量时的信号电压。例如，称重指示器供桥电压 5V，最大检定分度数 $n=5000$ ，每检定分度值 e 的最小输入电压为 $1\mu V$ ，信号电压的下限为 1mV。可以计算出，最大称量时的信号电压为 6mV。对应信号电压下限的传感器信号为 $1mV/5V=0.2mV/V$ ；对应最大称量的传感器信号为 $6mV/5V=1.2mV/V$ 。为了方便测试，按“设置”、“零点”、“0”、“.”、“2”、“确认”键，设置信号范围下限为 0.2mV/V，按“设置”、“满量程”、“1”、“.”、“2”、“确认”键设置满量程输出信号为 1.2mV/V。再按

“功能”、“2”即进入设置范围内步进输出方式,即功能 2 状态,模拟器屏幕显示“F2 0”,输出信号为 0.2mV/V,屏幕上数字“0”表示当前输出信号是设定的量程范围的下限。如果设置了不为零的下限值,每次上电,模拟器将自动进入功能 2 状态。按“满量程”键,模拟器屏幕显示“F2 10000”,输出信号为 1.2mV/V,数字 10000 表示整个量程分成 10000 个分度,每个分度对应的传感器信号为 $(1.2\text{mV/V}-0.2\text{mV/V})/10000=0.1\mu\text{V/V}$,当前输出信号是量程范围的上限。在功能 2 状态,每按一次“增加”或“减小”,数值加或减一个步长,输出信号相应变化一个步长。刚进入功能 2 状态时步长为 1000 分度,每按 1 次“.”键,步长减小一个数量级。当步长减小到 1 个分度时,再按“.”键,则步长恢复到 1000 分度。

为了防止非线性误差太大,上下限之间的信号输出的差值一般不要小于 0.5mV/V,最低也不要小于 0.3mV/V。

2.5 在执行用户程序的状态下输出信号

XY1 型模拟器具有可编程功能,在执行用户程序时,可按用户程序输出相应的信号。例如,在用户程序中使用“SET 1.2345”语句,当用户程序执行过该语句后,模拟器就会输出 1.2345mV/V 的信号。

3、模拟器误差及其影响的分析

3.1 模拟器的误差可以分为零点误差、量程误差、重复性误差、非线性误差等,影响误差的因素有固有误差、环境温度影响、激励电压变化的影响、时间的长期影响等。XY1 对环境温度影响和激励电压变化影响可以分别进行修正,而且在测试过程中,模拟器应处于影响量的作用范围之外,因此下面重点分析前 4 项误差的影响。

3.2 零点误差

零点误差指在模拟器屏幕指示输出为 0mV/V 时,实际输出信号偏离真实零点的数值。该误差可以简单地进行修正:按“校准”、“0”、“0”、“0”、“0”、“确认”键即进入零点校准状态。用 6 位半以上的数字万用表测量模拟器的零点输出,测量前应先校准数字表的零点,并选择适当的滤波参数减小噪声的影响。如果模拟器零点偏正方向,按“减小”键,如果偏负方向,按“增加”键,显示接近零时,按“确认”键即完成了零点校准。实际上用被测仪表也可以进行零点的校准,方法同上。影响零点的因素主要是热电效应,用以上方法校准后,实际上还有热电效应的影响在里面,不一定是真实的零点。

在测试称重指示器时,模拟器的零点误差实际上没有大的影响,关键是测试过程中信号源零点的稳定性。为了减少信号源零点变化的影响,模拟器在测试前应有一定的预热时间,一般有几分钟就足够了。模拟器应放在温度适当稳定的环境,特别是不要让导线接头、接插件靠近热源,不要用手触摸这些部位。

3.3 量程误差

量程误差指模拟器满量程输出信号与零点输出信号之差与标称满量程值之间的偏差。量程误差一定要用高准确度的数字电压表进行校准,如果没有条件,不要轻易进行校准。实际上量程误差对称重指示器的检测影响并不大,仅仅影响对称重指示器信号范围的检测,而对该指标测试的相对误差要求是很宽的。同零点误差类似,一般情况下,我们最关心的是称重指示器在测试过程中量程的稳定性,而不是指示器量程范围的误差。在本文 4 中介绍的方法,对模拟器量程误差有较高的要求。周期校准后,XY1 型模拟器的量程误差小于 0.01%FS,量程的稳定性优于 50ppm/月。

3.4 重复性误差

XY1 型模拟器的输出信号电压是由高精度的 DA 电路产生,没有用开关切换的传感器模拟器因接触电阻变化引起的重复性误差,因此 XY1 型模拟器的重复性误差是很小的,能

满足对一般称重指示器的检测要求。XY1 型模拟器的重复性误差主要由零点漂移引起。只要环境温度足够稳定，并且避免人手接触等原因的造成局部温度梯度产生热电势，XY1 的零点也是足够稳定的。

3.5 非线性误差

XY1 的非线性误差指标是小于 0.005%FS，典型值小于 0.002%FS。

按照最新修改的国际建议 OIML R76《非自动衡器》规定的在指示器测试中对传感器模拟器的要求，模拟器的误差应小于指示器最大允许误差的 1/5，在指示器每检定分度值 e 的输入信号电压最小的状态下，如 $1\mu\text{V}/e$ ，指示器的误差分配系数 $p_i=0.5$ ，仪表的最大允许误差为 $\pm 0.25e$ ，则模拟器的误差应小于 $0.05\mu\text{V}$ ，或至少模拟器的重复性误差应小于 $0.05\mu\text{V}$ 。注意这里强调的是重复性误差一定要满足要求，对信号的准确度等指标可以放宽，原因是在信号电压值很小的状态下，高准确度的信号源很难实现。因此标准中规定了如果传感器模拟器不满足在指示器最大放大状态下（即每检定分度值的输入信号电压最小的状态）对测试信号源的误差要求时，可以进行两步测试，先在指示器的低放大状态下通过 5 个测试点测试误差曲线的形状，然后在指示器的最大放大状态下测试测量范围低端、高端两点的误差，将第一步测试的曲线形状代入最大放大状态下的测试结果的允差带图中，检查是否超出允差带范围。严格说起来，两步测试的方法并不严密，只是一种无奈的解决方法。

4、代替砝码标定衡器的方法

4.1 更换衡器指示器时的标定方法

衡器使用过程中，如果仪表损坏或仪表需要升级换代，都要更换新的仪表。一般情况下，都要用砝码重新标定衡器，这对于大型衡器就比较困难，需要很多的时间、人力和费用。用模拟器可以方便地解决这个问题。衡器安装好及标定完后，或仪表升级前（要确认衡器是正常、准确的），用 XY1 型模拟器确定出衡器零点和最大称量时的传感器信号值，做好记录。更换仪表时，用原来记录的零点信号和最大称量信号标定新的仪表，再用新的仪表代替原来的仪表即可。下面用实例说明具体的操作过程。

例如有 1 台 10t 汽车衡，分度值 $e=5\text{kg}$ ，最大称量内码为 40000，刚通过检定，符合规程要求。

接通仪表电源，置零后拆下仪表的传感器接线，换上模拟器，将仪表调到细分显示状态（或内码显示状态），将模拟器调整到 F0 状态，按《增加》或《减小》键，使仪表示值略大于 0，如仪表的示值为 $I_1=2550$ （内码），模拟器指示为 $m_1=0.3\text{mV}/\text{V}$ ，记录下来。再按《增加》或《减小》键，使仪表示值接近最大称量的内码 40000，如仪表的示值为 $I_2=39808$ ，模拟器指示为 $m_2=1.2\text{mV}/\text{V}$ ，也记录下来。

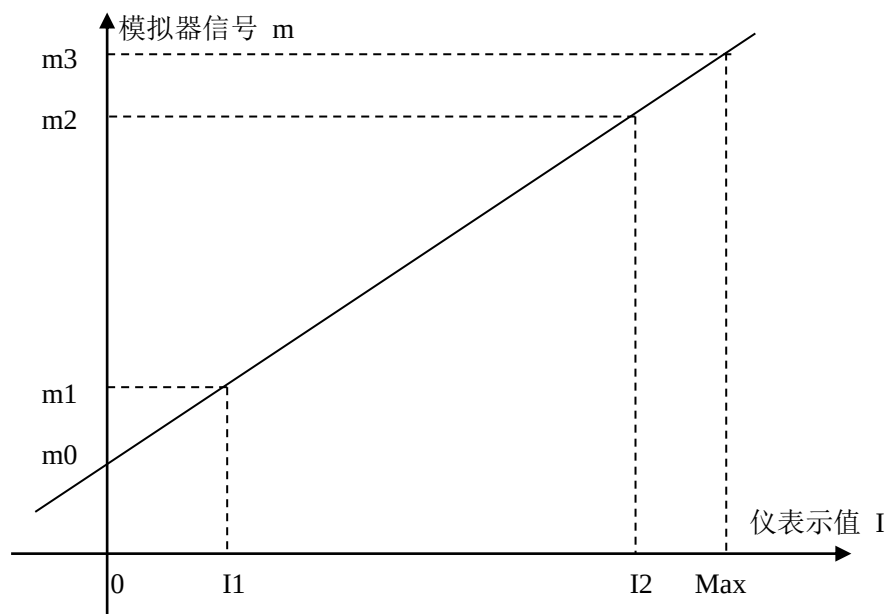
设秤台零点时传感器的信号为 m_0 ，最大称量时的信号为 m_3 ，按以下公式计算：

$$m_0 = m_1 - I_1 \times (m_2 - m_1) / (I_2 - I_1)$$

$$m_3 = m_2 + (\text{Max} - I_2) \times (m_2 - m_1) / (I_2 - I_1)$$

可以求出： $m_0 \approx 0.23840\text{mV}/\text{V}$ ， $m_3 \approx 1.20464\text{mV}/\text{V}$

以上内容用图形表示：



在 XY1 型模拟器的 F1 状态下，输入 m_0 ，仪表应显示 0，输入 m_3 ，仪表应显示最大秤量的内码。如果有误差，可能是仪表或模拟器的零点漂移或非线性造成，可微调一下模拟器的输出（即 m_0 、 m_3 值），使仪表示值为 0 和 Max。记录好最终的 m_0 、 m_3 数据，妥善保存。

在衡器的检定周期内，原来的仪表故障，需要更换新的仪表。用记录的 m_0 （ $\approx 0.23840\text{mV/V}$ ）作为零点， m_3 （ $\approx 1.20464\text{mV/V}$ ）作为最大秤量的传感器信号标定新仪表，标定好后用新仪表代替原来的仪表即可。

使用该方法时几个需要注意的问题：

- 1) 测定 I_1 和 I_2 时，一定要用称重指示器的内码或细分显示状态，否则会产生较大的误差。
- 2) 信号源从传感器改到模拟器时，仪表不能关机或断电，否则仪表开机自动初始置零后，原来的零点就会丢失。
- 3) 如果衡器更换了传感器，或传感器参数有了漂移，不能用该方法修正。
- 4) 如果衡器的传感器信号范围太小，比如零点信号为 0.8mV/V ，最大秤量信号为 0.9mV/V ，则本方法可能会产生较大的误差。实际上，在这种状态下，一般的传感器和称重仪表也很难满足衡器性能的要求。
- 5) 用 XY1 型模拟器 F1 功能输入 m_0 和 m_3 时，可以输入 5 位小数，以达到最大的内部分辨率。
- 6) 不同型号的 6 线制称重指示器用本方法代换，准确度可以保证。
- 7) 4 线制仪表代换时，模拟器的接线电阻不能有变化，否则会产生较大的误差。
- 8) 4 线制仪表与 6 线制仪表之间代换，会产生一定的误差，传感器连接线电阻越大，产生的误差越大。
- 9) 模拟器校准后，可用不同的模拟器标定新的仪表，但误差比用同一台模拟器标定的要大。模拟器校准后的误差一般小于 $0.01\%\text{FS}$ 。
- 10) 如果衡器非线性较大，还要记录下非线性的数据，以便修正新仪表，具体方法与仪表的非线性修正方法有关，此处从略。
- 11) 本方法仅用于仪表替换时的调整，不能代替衡器的检定。衡器检定必须用砝码等标准器。

4.2 无砝码标定方法

在一些特殊的大型衡器或设备上,可能现场无法用砝码对衡器进行标定,这时可事先测量出称重传感器的额定输出,再计算出零点和最大秤量时的传感器输出信号,然后用模拟器对仪表进行标定,即可完成衡器的标定过程。这里应注意接线盒对传感器灵敏度的影响,最好用额定输出一致的传感器直接并联而不采用接线盒调整四角误差。

例如,有一个200t大型料仓,自重50t,用4个80t传感器支撑,传感器的灵敏度为2mV/V,输出直接并联。可以计算出,料仓空载时传感器的输出为

$$2\text{mV/V} \times 50\text{t} / (4 \times 80\text{t}) = 0.3125\text{mV/V},$$

料仓满载时传感器的输出信号为

$$2\text{mV/V} \times (50\text{t} + 200\text{t}) / (4 \times 80\text{t}) = 1.5625\text{mV/V}。$$

用XY1型模拟器为信号源,用这0.3125mV/V作为零点,1.5625mV/V最大秤量对称重指示器进行标定,然后接入传感器信号,即完成了料仓的标定。

这种方法只能用于准确度要求较低的场合或非贸易结算的场合。

5、用于交流激励指示器

XY1的设计是仅适用于传感器激励电源为直流电压的称重指示器,如果用于测试传感器激励电源为交流电压的称重指示器,如HBM公司的AD 104数字模块、耀华公司的XK3190-DS2m型称重指示器,虽然模拟器也能工作,但模拟器的反接指示灯闪动,表示加在模拟器上的激励电压有反向电压;用模拟器的激励电压测试功能测量出的激励电压仅接近交流峰值电压的一半,因此模拟器交替显示“F0 X.XXXX”和“F0 -- L ---”,表示激励电压过低;模拟器的满量程输出信号下降到标称值的1/2左右,即接近1mV/V;模拟器的零点误差、零点稳定性、量程稳定性和非线性等指标都略有下降。因此,对于交流激励的称重指示器,XY1型模拟器只能做比较粗略的测试,不能作为标准器使用。

6、模拟器的校准方法

6.1 校准用标准器

校准XY1型传感器模拟器使用的标准器为6位半或以上,10V电压档的准确度优于0.001%测量值+0.001%满程值的高精度数字电压表。校准时还需要一台高稳定性、高分辨率、输出范围大于5~20V的高精度稳压电压源,其电压稳定度应优于5ppm/min,否则需要频繁地校准电压源,非常麻烦。如果需要进行温度影响的校准,还需要一台高低温箱。

6.2 XY1型模拟器的校准一般有以下几个步骤:

- 1) 电压源连接模拟器的激励电压输入端子,数字电压表接到模拟器信号输出端,激励电压调整到10V,通电预热10分钟。
- 2) 校准模拟器的电压示值。按“校准”、“4”、“4”、“4”、“4”、“确认”键进入电压校准状态。输入当前激励电压值,按“确认”键,等到显示“U XX.XX”就表示电压示值校准完成。
- 3) 检查温度显示是否正常(即接近室温),并记录下来,作为温度影响修正的基准温度,即模拟器的校准参数P7。
- 4) 校准零点和满量程输出。先校准好数字电压表的零点。用数字电压表检查激励电压,调整到 $10\text{V} \pm 0.0002\text{V}$ 。如果稳压源的调整分辨率不够,应记下实际激励电压值。用数字电压表检测输出电压。模拟器电压选择开关拨到5~10V档,按“校准”、“8”、“8”、“8”、

“8”、“确认”键进入零点和满量程校准。用“增加”/“减小”键调整输出为 $0\text{mV} \pm 0.2 \mu\text{V}$ ，按“确认”键，用“增加”/“减小”键调整输出为 $20\text{mV} \pm 0.2 \mu\text{V}$ ，按“确认”键。再将模拟器电压选择开关拨到 10~20V 档，同上方法再次校准零点和满量程输出值到标称值。如果激励电压不是 $10\text{V} \pm 0.0002\text{V}$ ，满量程输出值应作相应的修正。

- 5) 检查非线性误差，如果超标，按模拟器使用说明书对模拟器的非线性进行修正，一般情况下不需要进行非线性修正，非线性修正的系数均应为零。
- 6) 激励电压调整到 $20\text{V} \pm 0.0004\text{V}$ ，记录模拟器零点和满量程的输出值，零点修正后的满量程输出信号值每大 $1 \mu\text{V}$ ，模拟器的“Pd”参数值应比原来的数值减小 2.5。“Pd”参数为 10~20V 档的电压修正系数，单位是 ppm/V。
- 7) 模拟器电压选择开关拨到 5~10V 档，激励电压调整到 $5\text{V} \pm 0.0001\text{V}$ 档，记录模拟器零点和满量程的输出值，满量程值每大 $1 \mu\text{V}$ ，“PC”参数值应加 20。“PC”参数为 5~10V 档的电压修正系数，单位是 ppm/V。

修改“Pd”、“PC”参数值的方法是按“校准”、“5”、“5”、“5”、“5”、“确认”键进入温度和电压影响校准状态，反复按“确认”键，等到显示“PC X.XX”时，输入新的“PC”参数值，再按“确认”键，显示“Pd X.XX”，输入新的“Pd”参数值，再按“确认”、“返回”键即可。

8) 温度影响的修正方法

因为模拟器一般在良好的环境下使用，其量程的温度影响一般小于 $5\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ，所以 XY1 型模拟器出厂时一般不做温度影响修正。如果使用条件比较恶劣，或对模拟器有较高的要求，可进一步修正模拟器的温度影响。修正时，将模拟器放入高低温箱，激励电压调到 $10\text{V} \pm 0.0002\text{V}$ ，测量在使用温度范围下限和上限时模拟器在 5~10V 和 10~20V 档的零点、满量程输出信号值，计算在低档（5~10V）零点温度修正系数“P8”，单位 $0.0001\text{mV}/\text{V} \cdot ^\circ\text{C}$ ；低档（5~10V）输出温度修正系数“P9”，单位是 $\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ；高档（10~20V）零点温度修正系数“PA”，单位 $0.0001\text{mV}/\text{V} \cdot ^\circ\text{C}$ ；高档（10~20V）输出温度修正系数“Pb”，单位是 $\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ，然后按“校准”、“5”、“5”、“5”、“5”、“确认”键进入温度和电压影响校准状态，显示“P7 25.0”，输入第 3) 步记录的“P7”参数值，按“确认”键，显示“P8 0.0”时，输入新的“P8”参数值，再按“确认”键，直到输入完“Pb”参数值，再按“确认”、“返回”键即可。如果原来的修正值不为零，则将新的修正值加到原来的修正值上。

7、结论

传感器模拟器是衡器和称重指示器检修、测试工作的方便的工具，掌握了正确的使用和校准方法就能充分发挥其作用，对衡器生产、使用、维修和计量管理工作会有很大的帮助。

参考资料：

[1]徐平均，介绍一种新型的传感器模拟器，衡器，2006 年 2 期。