

称重指示器激励反馈功能的探讨

上海耀华称重系统有限公司 徐平均

【摘要】 本文讨论了称重指示器激励反馈功能的要求及测试方法，对相关标准的有关要求和测试方法提出了修改意见。

【关键词】 称重指示器；激励反馈；信号电缆长度

引言

GB/T 23111-2008《非自动衡器》等同采用 OIML R76-2006《非自动衡器》，相比于前一版的 OIML R76，新版本引入了模块的概念，并因此引出了用不同生产商制造的称重传感器、称重指示器等模块能否组成合格衡器的问题。为解决该问题，R76-2006 的 3.10.2.3 条对非自动衡器提出了兼容性的要求，并在附录 F 中规定了对称重指示器的兼容性的检测方法。R76 附录 F 中对称重指示器规定了为确定最大信号电缆长度而需要进行的激励自动补偿功能（即激励反馈功能，或称长线自动补偿功能）的测试方法。R76-2006 中关于称重指示器的内容吸收了 WELMEC 2.1《称重指示器试验指南（非自动衡器）》中的思想，因此本文中我们从 WELMEC 2.1《称重指示器试验指南（非自动衡器）》开始讨论这个话题。

1 问题的提出

R76 将非自动衡器的最大允差按误差分配系数 P_i 分配给组成衡器的各个模块，并要满足下式的要求：

$$P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + \dots \leq 1$$

连接称重指示器与称重传感器的信号电缆也会引入误差。R76 将该误差合并分配给称重指示器的误差中。信号电缆引起称重误差的主要因素是阻抗，对于通常的直流激励的称重仪表就是电缆的直流电阻。恒定温度下信号电缆电阻引起的误差在标定过程中就自动校正了，而环境温度改变引起的电缆电阻变化将可能引起衡器使用中的称量误差。R76 和 WELMEC 2.1 认为该误差是确定信号电缆长度的决定因素。

2 WELMEC 2.1《称重指示器试验指南（非自动衡器）》的测试方法

WELMEC 是欧盟成员国法定计量机构与 EFTA 之间的一个协定。WELMEC 2.1《称重指示器试验指南（非自动衡器）》是一个推荐性的指南^[1]，但它的主要思路已体现在 R76-2006 中。WELMEC 2.1 的附录 5“称重传感器接口的试验”详细介绍了确定最大电缆长度的试验方法。其确定电缆电阻产生的最大允许误差 E_e 用下图表示：

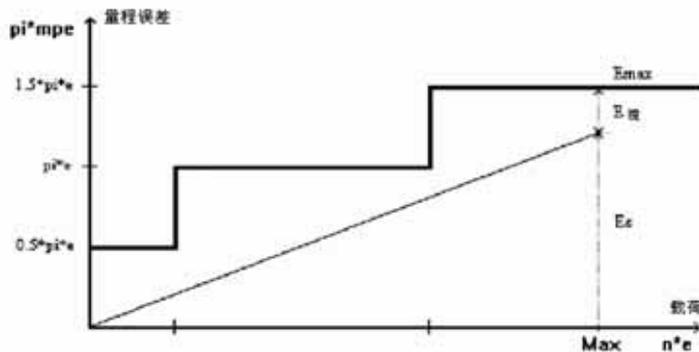


图 1 分配给信号电缆的最大允许误差

上图中，ES 为称重指示器在工作温度上限和工作温度下限量程变化量的一半。

WELMEC 2.1 认为电缆引起衡器的误差是由于电缆电阻的变化影响到了称重传感器的激励电压，从而产生了误差，并由此推导了计算公式和测试方法。

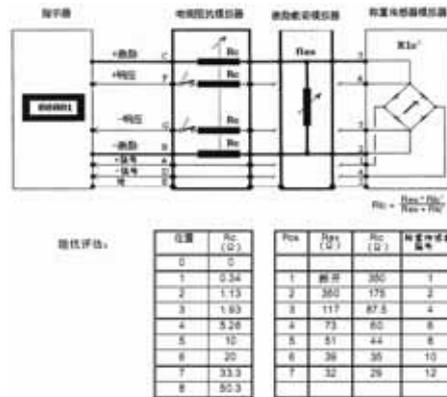


图 2 WELMEC 2.1 测试传感器接口的原理图

WELMEC 2.1 的试验方法是：先按称重仪表允许连接的传感器个数选择 R_{ex} ，再选择不同的 R_c 测量最小载荷下和最大载荷下的示值，计算单位 R_c 对量程变化的影响 S_x ，再用下式计算最大电缆电阻：

$$R_{\text{缆}} = E_{\text{缆}} \cdot \max \times 5 / S_x [\Omega]$$

其中 $E_{\text{缆}} \cdot \max = (\pi \times mpe \times 100) / (n \cdot \max \times e) - E_s$

再根据导线的截面积和电阻率计算出最大电缆长度。

由于六线制称重指示器对激励电压的变化起到了补偿作用，因此电缆电阻的变化影响到了称重传感器的激励电压从而产生了误差的结论是错误的。虽然如此，WELMEC 2.1 的测试程序还是有意义的，只是该测试方法固定了一些参数，对运算进行了简化。固定的参数是：最大工作温度范围是 50℃，温度的变化范围为最大工作温度的 1/2，即 25℃；导线电阻的温度系数 α 取为 4×10^{-3} 。

在实践中，按此方法对有的称重指示器测试和计算出的信号电缆最大长度有可能达到不可思议的如数千米的长度。

3 OIML R76 的测试方法

R76-2006 的 C.3.3.2.5 规定了电缆引起误差的上限 $\Delta_{\text{span}}(\Delta T)$ 为“温度引起的称重指示器最大量程误差与允许误差限值之间的差被指定为自动补偿装置对量程补偿效果的极限。无论如何，由补偿产生的效果不应大于最大允许误差绝对值乘以 π 的三分之一。”即要满足

$$\Delta_{\text{span}}(\Delta T) \leq \pi \times mpe - E_{\text{max}}(\Delta T)$$

$$\text{和 } \Delta_{\text{span}}(\Delta T) \leq 1/3 \pi \times mpe_{\text{abs}}$$

如下图所示：

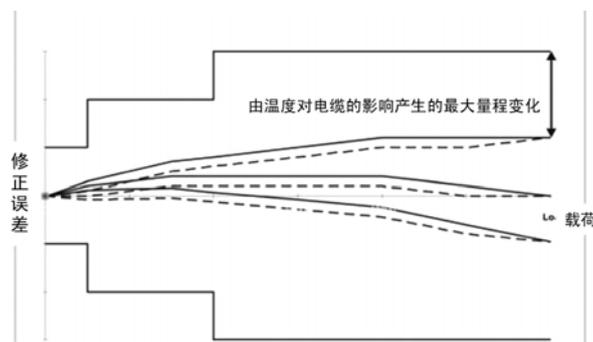


图 3 R76-2006 规定的最大允许电缆引起的量程变化

R76-2006 中 C.3.3.2 规定了电缆最大长度的测试方法：用分流电阻模拟连接传感器的最大数量，用电阻模拟激励线和自动补偿线的电阻。将称重指示器、模拟电缆和称重传感器连接好后先进行校准，再按最大工作温度范围（例如 50℃）内电阻的变化值在两个方向上改变电缆电阻，量程的变化均不超过 $\Delta\text{span}(\Delta T)$ 。

R76-2006 与 WELMEC 2.1 的规定有所不同，相对说来，R76 的方法更为简单、科学和严密些。

4 信号电缆对非自动衡器准确度影响的分析

实际上在六线制称重指示器情况下，信号电缆电阻的变化引起的量程变化是由于电缆电阻 R_c 与激励反馈电路输入阻抗 $R_{f\min}$ 形成的分压变化造成的。由此可以估算出激励反馈电路输入阻抗的最小值 $R_{f\min}$ 。假如 $R_{f\min} \gg R_c$ ，可按下式近似估算：

$$R_{f\min} \geq 2 \times \Delta R_{\text{Temp}} \times n_{\text{ind}} / \Delta\text{span}(\Delta T)$$

式中 n_{ind} 为称重指示器的最大检定分度数， ΔR_{Temp} 为在工作温度范围内电缆电阻的变化量。

$$\Delta R_{\text{Temp}} = R_{\text{cable}} \times \alpha \times (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})$$

式中 α 为电缆材料电阻率的温度系数，例如铜为 0.00391/K

例如，仪表的最大检定分度数 $n_{\text{ind}}=5000$ ，设计的最大电缆电阻 $R_{\text{cable}}=10\Omega$ ，工作温度范围 -10℃ 到 40℃，

$$\Delta R_{\text{Temp}} = 10 \times 0.00391 \times (40 - (-10)) = 1.955(\Omega)$$

最大允许的电缆引起的量程变化 $\Delta\text{span}(\Delta T)=0.5e$ ，则激励反馈电路的最小输入阻抗 $R_{f\min}$ 为

$$R_{f\min} \geq 2 \times 1.955 \times 5000 / 0.5 = 39100(\Omega)$$

激励反馈电路的输入阻抗也可用激励电压除以激励反馈电路的输入偏置电流来估算。

利用现代的电子技术及元件，激励反馈电路的输入阻抗可以轻松达到甚至远远超过上述指标，此时限制信号电缆最大长度的因素就不是激励反馈功能，而是由于激励线电阻的压降造成称重传感器激励电压下降，使每检定分度值输出的信号电压下降，有可能满足不了称重指示器对每个检定分度值最小信号电压的要求，因而不满足衡器的兼容性要求。

5 建议 R76 的修改内容

综合以上所述，按激励反馈功能来确定最大信号电缆长度是不全面不严密的，在衡器兼容性审核中仅简单地用最大电缆长度或最大电缆电阻来判断衡器是否合格也是不合适的。

按 R76 C.3.3 条的要求，激励自动补偿功能在最大激励电压、最多数量的称重传感器、最大电缆长度的条件进行测试，这里没有规定也不应该规定在最高灵敏度下进行测试。建议 R76 今后的新版本应进一步明确这一点，或统一规定在最大信号电压下进行测试，同时在兼容性核查中核查每检定分度值的最小信号电压时，要增加考虑信号电缆的电压降的要求。

6 结论

称重指示器的激励反馈功能必须进行测试，但应进一步明确合理的测试方法。限制信号电缆最大长度的因素，不仅仅为激励反馈功能，还应考虑是否满足每个检定分度值的最小信号电压的要求。这样的综合考虑的后果是，在连接传感器数量较少时，可以用更小截面或更大长度的信号电缆，同时避免了现有标准中可能出现的不满足兼容性要求的漏洞。

参考文献

1. WELMEC 2.1 《称重指示器试验指南（非自动衡器）》，王均国翻译。
2. GB/T 23111-2008 《非自动衡器》，王亚东等起草。