

# 对非自动衡器进行测量不确定度 评定技术问题的探讨

济南金钟电子衡器股份有限公司 沈立人  
上海铁路局技术监督所 罗建敏  
国家轨道衡计量站 安爱民

**【摘要】**我国已经在计量测试领域推广测量不确定度评定工作 20 多年之久，在许多领域内测量不确定度评定工作对技术交流、商品贸易、参数评定、国际互认、质量控制等方面，起到积极的作用。就同任何事物一样，测量不确定度评定的使用也有它的局限性，并不是随意可以应用于任何被测量物品的，比如计量器具中的衡器类产品。本文围绕非自动衡器类产品的误差判别特点与测量不确定度的评定方法之间的问题进行了阐述。

**【关键词】**非自动衡器 测量不确定度评定

## 一、概述

《测量不确定度表示导则》是由国际标准化组织（ISO）等七个国际权威组织联合发布的，自 1993 年以来，经过 20 多年的推广和应用，现已在国际上广泛使用，成为各国在表示测量结果时统一遵循的准则。JJF1059《测量不确定度评定与表示》自颁布以来，为测量不确定度在我国的应用起到了推动的作用。完整的测量结果应包括测量不确定度的说明，使人们能够了解该测量结果的可信程度。在市场竞争激烈、经济全球化的今天，测量不确定度评定与表示方法的统一，是科技交流和国际贸易的迫切要求。但是，在非自动衡器行业的推广工作中，针对多个不确定度评定结果的分析发现，许多评定工作做的不深入，存在一些技术问题有待进一步研究探讨。

### 1.问题的提出

在测量质量、长度、温度、体积等参数时，存在测量方法、测量人员、测量位置、

测量设备、测量环境、测量的复现性等因素，会直接影响测量的不确定性，而且都是针对单一要素的测量评定，

而目前行业内对非自动衡器产品的计量性能进行不确定度评定，是在只对几个特殊称量点测评的基础上，对该衡器的一个称量范围进行评定。这就是本文需要研究、探讨的问题。

## 2.非自动衡器误差特点

自从采用了国际法制计量组织的 R76 《非自动衡器》国际建议之后，非自动衡器中准确度级(三级)为例的误差成为与目前我国其他计量器具的不同一种形式，如下图 1:

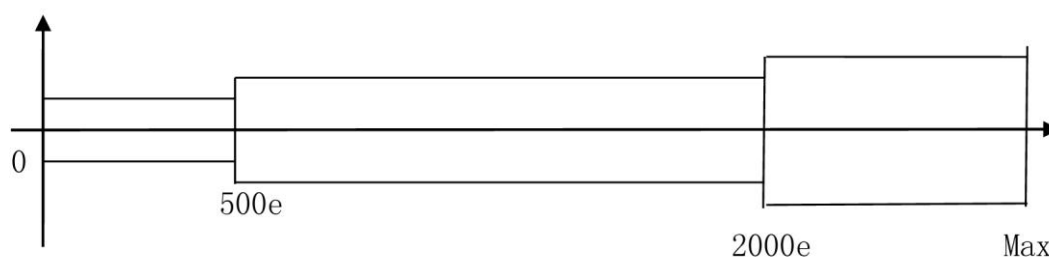


图 1

从以上这个图 1 可以看出该非自动衡器，在三个称量段中是“绝对误差”。

像 500e 点的允许误差为 $\pm 0.5e$ ,  $0.5e/500e=1/1000$ ; 2000e 点的允许误差为 $\pm 1.0e$ ,  $1.0e/2000e=1/2000$ ; 最大称量 30t 的允许误差为 $\pm 1.5e$ ,  $1.5e/3000e=1/2000$ 。

大于 0 点至小于 500e 点范围，绝对误差是 $\pm 0.5e$ ；大于 500e 点至小于 2000e 点范围，绝对误差是 $\pm 1.0e$ ；大于 2000e 点至 Max 范围，绝对误差是 $\pm 1.5e$ 。

## 二、非自动衡器误差评定方法与问题

### 1.举例

以一台电子汽车衡为例，其最大称量  $Max=30t$ ，检定分度值  $e=10kg$ ，准确度为中准确度级（三级）。

#### (1) 数学模型

$$E = \Delta E + \Delta E_s + \Delta E_d + \Delta E_C + \dots$$

式中： $E$ ——电子秤的示值误差；

$\Delta E$ ——称量误差；

$\Delta E_s$ ——测量重复性误差；

$\Delta E_d$ ——分辨力误差;

$\Delta E_C$ ——偏载误差。

根据测量模型和不确定度传播律示值误差  $E$  的合成不确定度  $u_E$  为:

$$u^2(E) = u_1^2(E_S) + u_2^2(E_L) + u_3^2(E_d) + u_4^2(E_C)$$

(2) A 类的标准不确定度评定

按照国家计量检定规程的要求, 衡器应在最大称量点进行重复性试验, 即多次往承载器上加放同一载荷, 检查衡器指示的一致性。在两个称量点上各进行 3 次。选择两个称量点标准偏差较大的一个, 作为重复性试验的标准偏差。假如在汽车衡的最大称量点上进行 3 次试验, 结果如下:  $x_i = 29996, 29995, 29997$  (kg)。从极差法的  $d_n$  值表, 查得当  $n$  为 3 次时,  $d_n$  应该选取 1.69。  $R = 29997\text{kg} - 29995\text{kg} = 2\text{kg}$ , 服从正态分布, 则

单次测量结果的实验标准差  $s$ :  $s = \frac{R}{C} = \frac{2\text{kg}}{1.69} = 1.2\text{kg}$

因此,  $u_1 = s_r(\bar{x}) = 1.2\text{kg}$ 。

(3) B 类的标准不确定度评定

① 标准砝码的标准不确定度

检定中准确度级电子汽车衡, 使用每个 1t 的  $M_{12}$  级砝码, 共计 30 个。从《砝码》检定规程中可以查出 1t 的  $M_{12}$  级砝码的最大允许误差  $MPE=U=\pm 100\text{g}$ , 按照均匀分布 ( $k = \sqrt{3}$ ) 计算单个砝码的标准不确定度分量 (B 类):

$$m_1 = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{100}{\sqrt{3}} = 57.735\text{g}$$

由于上一级砝码的传递用的是同一个标准砝码。因此, 30 个 1t 的砝码应视为相关的, 相关系数  $r=1$ 。30 个砝码不确定度的计算, 用  $m_1$  单个砝码的不确定度分量乘上  $n$  (这里的  $n$  是指砝码的数量):

$$u_2 = m_1 \times n$$

本例中用了 30 个砝码, 其标准砝码的合成不确定度应为:

$$u_2 = m_1 \times n = 57.735\text{g} \times 30 \approx 1732\text{g} = 1.73\text{kg}$$

② 分辨力造成的标准不确定度分量:

电子汽车衡分度值为 10kg，半宽  $a=5\text{kg}$ ，服从均匀分布，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ；由于采用找闪变点的方法确定其示值误差： $a_1 = \frac{10\text{kg}}{2} = 5\text{kg}$ ，

$$\text{故： } u_3 = \frac{a_1}{10k_2} = \frac{5\text{kg}}{10\sqrt{3}} = 0.29\text{kg}$$

③偏载造成的标准不确定度分量：

电子汽车衡偏载测试时用相当于衡器  $\text{Max}/(N-1)$  的标准砝码放置在各个承重区域，偏载最大允许误差为  $\pm 10\text{kg}$ ，半宽  $a=10\text{kg}$ 。测量时载荷分布比较均匀，偏载量远比偏载试验时少，假设其误差为偏载试验时的  $1/3$ ，服从均匀分布，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，因此

$$u_4 = \frac{e}{3\sqrt{3}} = \frac{10\text{kg}}{3\sqrt{3}} = 1.92\text{kg}$$

(4) 合成标准不确定度

$$u_E = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{1.2^2 + 1.73^2 + 0.29^2 + 1.92^2} = 2.86\text{kg}$$

(5) 扩展不确定度  $U_p$

查 t 分布表，得到：置信水准为  $p=0.95$  时， $k_p = t_p(\infty) = 1.96$ 。

$$U_{95} = 1.96 \times 2.86\text{kg} = 5.6\text{kg}$$

(6) 测量不确定度汇总和报告

将最大秤量 30t 点的不确定度来源按其类型、数值、概率分布、包含因子、标准不确定度及自由度等进行汇总。

表 1 测量结果的不确定度一览表

符号	来源	类型	不确定度(kg)		概率分布	包含因子(k)	自由度(v)
			M <sub>12</sub> 级	M <sub>1</sub> 级			
1	测量重复性	A	1.2	1.2	正态	2	2
2	标准砝码	B	1.73	0.87	均匀	$\sqrt{3}$	$\infty$
3	分辨力	B	0.29	0.29	均匀	$\sqrt{3}$	

4	偏载	A	1.92	1.92	均匀	$\sqrt{3}$	2
5	电子汽车衡	合成	2.86	2.44	t	-	$\infty$
6	电子汽车衡	扩展	5.6	4.8	t	1.96	$\infty$
注：如果将标准砝码改用 M <sub>1</sub> 级的，其不确定度为 0.866，扩展不确定度为 4.8kg，那么， $U_{95}=4.8\text{kg} < MAU \leq 1/3 mpe = 5\text{kg}$ 。							

根据 JJF1059 的要求，汽车衡测量不确定度的报告为：

$$I = (\bar{I} \pm U_{95}) = (29996 \pm 5.6) \text{kg}$$

在此最大秤量 30t 点的最大允许误差为： $MPE = 1.5e = 1.5 \times 10\text{kg} = 15\text{kg}$

$$MAU \leq \frac{1}{3} MPE = 5\text{kg}$$

实际求得最大秤量 30t 点的扩展不确定度  $U_{95} = 5.6\text{kg}$ 。由此得到：

$$U_{95} = 5.6\text{kg} > MAU \leq \frac{1}{3} MPE = 5\text{kg}$$

## 2. 存在问题

(1) 只对最大秤量 30t 进行测量不确定度评定是否能保证该衡器计量性能？

实际上，以上所得出的结论仅仅是大于 20t (或者说是“最大秤量”) 的测量不确定度评定的。如果秤量段在  $>500e$  到  $\leq 2000e$  时，对 50%Max 进行评定。假如重复性分量不变、分辨力和偏载分量也不变，由于标准砝码使用了 15t，计算扩展不确定度为  $U_{95} = 3.5\text{kg}$ 。此秤量段的最大允许误差是“ $MPE=1.0e$ ”，将是一种什么情况？

$$\text{当 } U_{95} = 3.5\text{kg} > MAU \leq \frac{1}{3} MPE = 3.33\text{kg}$$

从以上计算可以清楚看出，满量程的性能进行测量不确定度评定，因为该秤量段的最大允许误差是  $\pm 1.5e$  是合格的；而当秤量段在  $>500e$  到  $\leq 2000e$  时，因为最大允许误差只有  $\pm 1.0e$ ，此时的测量不确定度评定将不能保证，不要说当小于 500e 的秤量段内的称量不确定度的问题，更不要说对多分度秤的不确定度评定的问题了。

那么，这台汽车衡的计量性能按照 R76《非自动衡器》检定规程的检定是合格的，而按照测量不确定度评定将是不合格的了。

(2)测量不确定度应该对多少影响因子进行分析呢？

以上例子中我们仅仅对：标准砝码、重复性、分辨力、偏载等四个因子进行了分析，而实际上影响非自动衡器测量不确定度的一种还有许多，例如：温度、湿度、气流、电磁干扰、电源波动、安装位置，还有被称量物品的状况等等。

(3) 测量不确定度评定因子来源

以上例子中可以看出测量不确定度影响因子分量的一些参数应该统一规定，如：分量的类型、概率分布状态、包含因子大小、自由度状态等等。否则不同的评定人对同一台衡器产品，可以得出不同的评定结论。

(4) 应该使用什么等级的标准砝码？

按照 R76《非自动衡器》国际建议的规定：原则上，衡器型式评价或检定用的标准砝码或标准质量应符合 OIML R111 的计量要求。其误差应不大于对衡器施加载荷的最大允许误差的 1/3（我国的国家标准和相关的检定规程都是执行这个规定的）。

按照 R76 的规定，在以上例子中，选择  $M_2$  级 (1/6000) 标准砝码就能满足检定要求，更不用说  $M_1$  级 (1/10000) 标准砝码了。可是，如果进行测量不确定度评定就出现了问题，不能保证该衡器满足评定要求。

### 三、结束语

通过以上我们对非自动衡器不确定度评定问题的分析，可以清楚发现：

1. 测量不确定度是表明被测量值的分散性，仅仅对一台非自动衡器一个或两个测量值进行评定，是不能全面反映出一台非自动衡器的整体性能。

2. 由于目前所看到的对非自动衡器不确定度评定资料，只是在对最大称量点评定，而不对影响最大的最小称量进行评定，即使对可能使用的各个称段都进行评定，也是没有实际意义的。对于非自动衡器来讲，虽然其实际误差曲线是一条连续的抛物线，也是不能保证此台非自动衡器的测量不确定度能够满足称量要求。更何况，对于非自行指示衡器（机械杠杆秤）和模拟指示衡器来讲，因为读数刻度是加工出来的，就更加不能保证其称量的准确性了。

而单个砝码、量块长度、圆柱体直径、容器内温度、微波衰减器的衰减量等，只是对一些检测的单点要素量值进行不确定度评定。

### 3. 从以上分析可以看到的问题急需解决：

目前非自动衡器是执行相关的国际建议，如前图 1 所示，这个建议是将影响衡器的

因素各种误差规范在一个范围内，不要求对称量范围内进行逐点一一检测，完全可以满足实际使用要求。综上所述，对于非自动衡器来说，不是不能用“测量不确定度”的方法进行评定，只是对衡器的整体计量性能进行测量不确定度评定有一些牵强，是否可以只针对衡器量程中某一具体的测量点进行测量不确定度评定。

以上是在学习和实践“测量不确定度评定”时的一点不成熟认识，如有什么不当之处敬请批评指正。

#### 参考文献

- [1]阎宝珠 主编 质量与密度测量不确定度评定 中国计量出版社
- [2]叶培德 编辑 测量不确定度理解 评定与应用 中国计量出版社
- [3]国际法制计量组织 OIML R76 非自动衡器 2006(E)
- [4]JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》，中国质检出版社