

数字指示秤分辨力引入的不确定度讨论

□宸鸿科技（厦门）有限公司 林俊仕

【摘要】数字指示秤具有称量准确、分辨力高、称量范围广、读数方便等特点，依据JJG 539-2016《数字指示秤检定规程》评定中由分辨力引入的不确定度分量，由于部分人认为应引用 $0.1e$ 评定，而另一部分人认为应引用 e 评定。经过分析，应引用分辨力为 $0.1e$ 来评定由分辨力引入的标准不确定度分量较为合理。

【关键词】分辨力；数字指示秤；测量不确定度；衡器计量

引言

数字指示秤具有称量准确、分辨力高、读数方便等特点，在本单位使用量也很大，并且绝大多数都无须强制检定，由笔者所在的校准实验室（以下全文称为实验室）内部校准。但在评定校准结果不确定度中由分辨力引入的标准不确定度分量时，由于对分辨力应该使用 e 还是 $0.1e$ 持有不同看法的。认为应该用 $0.1e$ 的理由是，采用找闪变点的方法得出的化整前示值误差，实际分辨力已经达到 $0.1e$ 即 $0.1d$ 。认为应该用 e 的理由是，数字指示秤的示值分辨力就是 $d=e$ 。以下将从数字指示秤不确定度评定法、符合性判定两个方面，讨论使用 e 还是 $0.1e$ 的不确定度评定方法更加合理。

1 测量不确定度评定和符合性判定

1.1 测量不确定度评定

测量模型

第一种校准方法测量模型：

$$E=I-L+0.5e-\Delta L$$

式中： E ——秤化整前的误差

I ——秤的示值

L ——载荷

e ——检定分度值

ΔL ——加载至下一个示值所加的附加载荷

1.2 不确定度主要来源

1.2.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(I)$ 的评定

采用A类评定方法，在重复性条件下，用标准砝码对被检秤连续测量10次，测量重复性由实验标准差表示：

$$s(I) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}}$$

实际测量结果为单次测量结果，所以

$$u_1(I) = s(I)$$

校准方法是通过逐个添加 $0.1e$ 附加砝码找闪变点的方法，确定数字指示秤化整前示值计算数字指示秤的示值误差，因此实际校准分辨力至 $0.1e$ 。

1.2.2 分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2(I)$ 的评定

分辨力为 d ，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$
分辨力为 $d=0.1e$,

$$u_2(I) = \frac{0.1e}{2\sqrt{3}}$$

分辨力为 $d=e$,

$$u_2(I)' = \frac{e}{2\sqrt{3}}$$

1.2.3 标准砝码误差引入的标准不确定度分量 $u(L)$ 的评定

校准方法是采用标准砝码的标称值进行评定, 根据JJG 99-2006《砝码检定规程》及使用的标准砝码的相应等级的MPEV为半宽, 如多个砝码组合则按照各个砝码MPEV之和为半宽, 服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 因此

$$u(L) = \frac{\sum_{i=1}^n \text{MPEV}}{\sqrt{3}}$$

因为实际测量时 $0.1e$ 附加砝码的值和误差均很小, 对测量结果不确定度的影响也很小, 可以忽略不计。

1.3 合成标准不确定度的评定

$$\text{灵敏系数 } C_I = \frac{\partial E}{\partial I} = 1 \quad C_L = \frac{\partial E}{\partial L} = -1$$

由于分辨力引入的标准不确定度分量已包含在重复性引入的不确定度分量中, 因此 $u_1(I)$ 和 $u_2(I)$ 取较大者为 $u(I)$ 。合成标准不确定度 $u_c(E)$ 为:

$$u_c(E) = \sqrt{[C_I u(I)]^2 + [C_L u(L)]^2}$$

1.4 扩展不确定度评定

依据JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求, 取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为 $U = k u_c(E)$

2 符合性判定

依据JJF 1094-2002《测量仪器特性评定》5.3.1.4测量仪器示值误差符合性评定的基本要求: 当 $U \leq 1/3 \text{MPEV}$ 时, 不考虑 U 的影响, E 可直接用于判定。

$|E| \leq \text{MPEV}$ 判为合格

$|E| > \text{MPEV}$ 判为不合格

当 $U > 1/3 \text{MPEV}$ 时, 必须考虑 U 的影响, E 不可直接用于判定。

$|E| \leq \text{MPEV} - U$ 判为合格

$|E| \geq \text{MPEV} + U$ 判为不合格

$\text{MPEV} - U < |E| < \text{MPEV} + U$ 判为待定

3 实例分析

数字指示秤最大称量150kg, $e=d=0.05\text{kg}$, 准确度等级Ⅲ。为车间配料使用, 要求按照规程JJG 539-2016如表5的MPEV进行符合性判定。

按照规程规定选取以下5个载荷点: 最小称量载荷点1kg、最大称量载荷点150kg、中准确度500e载荷点25kg和2000e载荷点100kg、自选载荷点50kg。

实验室用 M_1 等级砝码校准, 砝码最大允许误差如下表1和表2,

表1 M_1 等级单个砝码最大允许误差

M (kg)	1	5	10	20
MPEV (g)	0.050	0.250	0.500	1.000

表2 各载荷点 M_1 等级砝码最大允许误差

L (kg)	$\sum_{i=1}^n \text{MPEV}$ (g)	砝码组合
1	0.050	1个1kg
25	1.250	1个20kg和1个5kg
50	2.500	2个20kg和1个10kg
100	5.000	5个20kg
150	7.500	7个20kg和1个10kg

注: 1. 方法中 $0.1e$ 附加砝码忽略不计。

2. 校准用的标准砝码符合JJG 99-2006的计量要求, $\sum_{i=1}^n \text{MPEV}$ 不超过被检秤各载荷点的最大允许误差的1/3。

依据校准方法对秤进行校准，得出以下表3、表4、表5。

表3 各载荷点重复性实验

L (kg)	重复测试10次(kg)										s (g)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00
25	25.000	25.000	25.005	25.000	25.000	25.000	25.000	25.005	25.000	25.000	2.11
50	49.975	49.975	49.975	49.985	49.975	49.980	49.975	49.980	49.975	49.975	3.50
100	99.985	99.985	99.975	99.980	99.975	99.980	99.975	99.985	99.975	99.975	4.59
150	149.965	149.975	149.970	149.965	149.975	149.980	149.975	149.965	149.975	149.965	5.68

从表3中可以看出，加了0.1e附加砝码找闪变点，得到了化整前的示值，分辨力达到了0.1e。

表4 各载荷点测量不确定度评定

L (kg)	$u_1(I)$ (g)	$u_2(I)$ (g)	$u(L)$ (g)	$u_c(E)$ (g)	$U(k=2)$ (g)
1	0.00	1.44	0.03	1.44	3
25	2.11	1.44	0.72	2.23	4
50	3.50	1.44	1.44	3.78	8
100	4.59	1.44	2.89	5.42	11
150	5.68	1.44	4.33	7.14	14
计算公式	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}}$	$\frac{0.1e}{2\sqrt{3}}$	$\frac{\sum_{i=1}^n \text{MPEV}}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{[C_I u(I)]^2 + [C_L u(L)]^2}$	$ku_c(E)$

表4中，按照重复性引入的标准不确定度分量和分辨力（取0.1e）引入的标准不确定度分量中取较大者，以上合成标准不确定度除了1kg载荷点外，其他载荷点由重复性引入的标准不确定度分量都大于分

辨力引入的标准不确定度分量。U全部按GB/T 8170-2008《数字修约》中规定的“四舍六入，逢五取偶”的修约规则修约至个位数正好与误差末位对齐。

表5 各载荷点校准结果及判定

L (kg)	$U/k=2$ (g)	MPEV (g)	E ↑ (g)	判定	E ↓ (g)	判定
1	3	±25	0	符合	0	符合
25	4	±25	0	符合	0	符合
50	8	±50	-25	符合	-20	符合
100	11	±50	-25	符合	-25	符合
150	14	±75	-35	符合	/	/

表5中，每个载荷点都满足 $U \leq 1/3\text{MPEV}$ ，符合性评定可不考虑不确定度影响。

如果实例以e来评定，通过表6可看出，由重复性引入的不确定度分量比分辨力引入的不确定度分

量小，所以合成标准不确定度都选用由分辨力引入的标准不确定度分量进行合成，总结得出测量结果的不确定度及符合性判定如表6、表7。

表6 以分辨力 e 评定的各载荷点测量不确定度

L (kg)	$u_1(I)$ (g)	$u_2(I)$ (g)	$u_3(L)$ (g)	$u_c(E)$ (g)	$U/k=2$ (g)
1	0.00	14.43	0.03	14.43	29
25	2.11	14.43	0.72	14.45	29
50	3.50	14.43	1.44	14.50	29
100	4.59	14.43	2.89	14.71	29
150	5.68	14.43	4.33	15.07	30
计算公式	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}}$	$\frac{e}{2\sqrt{3}}$	$\frac{\sum_{i=1}^n \text{MPEV}}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{[C_I u(I)]^2 + [C_L u(L)]^2}$	$ku_c(E)$

从表6 我们可以看出，不确定度主要来自于分辨力 $u_2(I)$ 引入的标准不确定度分量。假设其他因素引入的不确定度分量小到忽略不计，仅考虑分辨力引入的不确定度分量，则不确定度 $U = \frac{e}{2\sqrt{3}} \times 2 = 0.58e$ ， $k=2$ 。如果把其他标准不确定度分量再考虑进去，扩展不确定度会大于 $0.58e$ 。

表7 各载荷点校准结果及判定（以分辨力 e 评定）

L (kg)	$Uk=2$ (g)	MPEV (g)	E \uparrow (g)	判定 结果	E \downarrow (g)	判定 结果
1	29	± 25	0	无法判定	0	无法判定
25	29	± 25	0	无法判定	0	无法判定
50	29	± 50	-25	待定	-20	符合
100	29	± 50	-25	待定	-25	待定
150	30	± 75	-35	符合	/	/

表7 中，每个载荷点都满足 $U > 1/3\text{MPEV}$ ，符合性判定需考虑不确定度影响。如果还按照规程JJG 539-2016规定的最大允许误差为 $\pm 0.5e$ ， $0.5e < 0.58e$ ，即不确定度比最大允许误差还大，证明校准能力不足，校准结果可信程度不高，达不到规程判定标准的水平，无法对校准结果按照规程判定标准进行符合性判定。而最大允许误差为 $\pm e$ 、 $\pm 1.5e$ 判定结果也极易落入待定区。严格按照规程JJG 539-2016 检定方法执行的校准，评定的不确定度却是能力不足，这说明评定不确定度的方法不合理。

4 结束语

依据JJG 539-2016《数字指示秤检定规程》校准数字指示秤，最终给出的是此次校准结果的扩展不确定度。规程给出的闪变点校准方法的实际分辨力为 $0.1e$ ，因此，评定由分辨力引入的标准不确定度分

量应采用分辨力为 $0.1e$ 更为合理。

参考文献

- [1] JJG 539-2016《数字指示秤检定规程》【S】.
- [2] JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》.
- [3] JJF 1094-2002《测量仪器特性评定》.
- [4]《国家计量技术法规统一宣贯教材-非自动衡器》数字指示秤附1.3 测量不确定度评定示例.
- [5] JJG 99-2006《砝码检定规程》【S】.

作者简介：林俊仕（1986.1-），男，福建厦门人，国家一级注册计量工程师、中级质量工程师。主要负责公司质量专业和长度专业校准工作及研究。