

容重器测量结果的不确定度评定

□苏州市计量测试院 瞿青云 苏志宏 朱浩

【摘要】容重器是测量粮食等级的专用仪器^[1]，也是检测粮食品质的主要工具。本文以一台HGT-1000容重器为例，依据检定规程，对其测量结果的不确定度进行了分析与评定。

【关键词】容重器；测量不确定度；评定

文献标识码：B 文章编号：1003-1870（2023）01-0028-03

概述

容重器主要用于测量谷物的质量，其工作原理是利用带有排气锤的容量筒，使被测谷物均匀地分布在容量筒内，检验被测谷物在单位体积的质量^[2]。容重作为粮食定等的依据，决定了合格容重器的使用可以确保整个粮食收购的公平、公正和公开，可以为粮食交易市场的稳定提供重要保障。因此，如何对容重器测量结果进行精确、有效地评价具有重要的意义。本文以一台型号为HGT-1000的合格容重器为例，依据JJG264-2008《容重器检定规程》和JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》，对其测量结果的不确定度^[3]进行了分析与评定。

1 容重器称重装置测量结果不确定评定

1.1 测量方法

用F₂等级砝码采用直接比较法对容重器的称重装置进行零点、秤量及灵敏度测试等，以确定其是否符合规程的要求。

1.2 数学模型

$$\Delta m = m - m_s$$

其中， Δm 为称重装置的示值误差； m 为称重装置的示值； m_s 为标准砝码标称质量值。

1.3 测量不确定度分量

根据数学模型可知，容重器称重装置的测量共有2个不确定度分量，即示值引入的不确定度分量 u_m 及标准砝码引入的不确定度分量 u_{m_s} 。

1.3.1 示值引入的不确定度分量 u_m

①测量重复性引入的不确定度分量 u_{m_1}

u_{m_1} 主要是秤的测量重复性，可以通过连续测量得到的测量列，采用统计分析方法即A类评定方法计算标准不确定度。

根据原始记录得到如下测量列（g）：1000.2，1000.0，1000.0，1000.2，1000.0，1000.2，1000.2，1000.0，1000.4，1000.2，则

$$\overline{\Delta m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta m_i = 1000.14 \text{ g}$$

$$\text{故, } u_{m_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \overline{\Delta m})^2}{n-1}} = 134.99 \text{ mg}$$

②标尺分辨力引入的不确定度分量 u_{m_2}

在正常使用条件下，读数视差不大于0.2 d，按均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u_{m_2} = 0.2d/k = (0.2 \times 1000)/\sqrt{3} = 115.47 \text{ mg}$$

综上，示值引入的不确定度分量

$$u_m = \sqrt{u_{m_1}^2 + u_{m_2}^2} = \sqrt{134.99^2 + 115.47^2} = 177.64 \text{ mg}$$

1.3.2 标准砝码引入的不确定度分量 u_{m_s} ^[4]

①标准砝码不确定度 $u_{m_{s1}}$

根据JJG99-2006《砝码检定规程》，F₂等级1kg砝码的最大允许误差为±16 mg，由于检校过程中只使用了砝码的标称值，没有应用其质量修正值，故此不确定度可由其最大允许误差MPE得到：

$$u_{m_{s1}} = |MPE|/k = 16/\sqrt{3} = 9.24 \text{ mg}$$

②标准砝码稳定性引起的不确定度 u_{inst}

根据JJG 99-2006《砝码检定规程》，砝码在相邻的两个周期内的检定结果之差不得超过该砝码最大允许误差的1/3，按均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{inst} = (MPE/3)/\sqrt{3} = (16/3)/\sqrt{3} = 3.08 \text{ mg}$$

综上，标准砝码引入的不确定度分量

$$u_{m_s} = \sqrt{u_{m_{s1}}^2 + u_{inst}^2} = \sqrt{9.24^2 + 3.08^2} = 9.74 \text{ mg}$$

1.4 各不确定度分量汇总

表1 各不确定度分量汇总表

| 不确定度分量 | | 不确定度来源 | 标准不确定度 (mg) | |
|--------|-----------|---------|-------------|--------|
| 示值 | u_m | 测量重复性 | 134.99 | 177.64 |
| | | 标尺分辨力 | 115.47 | |
| 标准砝码 | u_{m_s} | 标准砝码 | 9.24 | 9.74 |
| | | 标准砝码稳定性 | 3.08 | |

1.5 合成标准不确定度

$$u_{\Delta m} = \sqrt{u_m^2 + u_{m_s}^2} = \sqrt{177.64^2 + 9.74^2} = 177.91 \text{ mg}$$

1.6 扩展不确定度

$$U_{\Delta m} = u_{\Delta m} \times k = 177.91 \times 2 = 355.82 \text{ mg} \approx 0.4 \text{ g} \quad k = 2$$

2 容量器容量筒测量结果不确定评定

2.1 测量方法

采用容量比较法。即将1000 mL量出式标准玻璃量器内注入清水至刻线，并用分度吸量管从标准玻璃量器内吸出2.0 mL水，并将其余的水按照标准量器的使用要求倒入待检定的容量筒内，把有机玻璃平稳而缓慢地插进容量筒的豁口槽内，配合分度吸量管的溶液，以判断其容积大小。

2.2 数学模型

$$V = V_1 - V_2$$

其中， V 为容量筒容积； V_1 为标准玻璃量器的示值； V_2 为分度吸量管的示值。

2.3 测量不确定度分量

根据数学模型可知，容量器容量筒的测量共有3个不确定度分量，即标准玻璃量器（量瓶型）引入的不确定度分量 u_{V_1} 、分度吸量管引入的不确定度分量 u_{V_2} 及测量重复性不确定度分量 u_s 。

2.3.1 标准玻璃量器（量瓶型）引入的不确定度分量 u_{V_1}

①标准玻璃量器引入的不确定度分量 $u_{V_{11}}$

根据上级检定证书可知，该标准玻璃量器的测量不确定度为0.12mL，按均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{V_{11}} = a/k = 0.12/\sqrt{3} = 0.069 \text{ mL}$$

②量瓶液面观察引入的不确定度分量 $u_{V_{12}}$

此分量采用B类方法进行评定。由于操作者的个人习惯及眼睛分辨能力的差异，观察具围线量器时，由于围线前后部分的不重合，会产生液位视差。一般操作者在调定液面时产生的读数误差 h 最大为0.1mm。液面观察引入的不确定度为 $\pi D^2 h/4$ ，它与量器的直径 D 成正比^[5]。该标准玻璃量器的内径 D 约为20 mm，按均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{V_{12}} = \frac{\pi D^2 h}{4 \times \sqrt{3}} = 0.0363 \text{ mL}$$

综上，标准玻璃量器（容量瓶）引入的不确定度分量

$$u_{V_1} = \sqrt{u_{V_{11}}^2 + u_{V_{12}}^2} = \sqrt{0.069^2 + 0.0363^2} = 0.078 \text{ mL}$$

2.3.2 分度吸量管引入的不确定度分量 u_{V_2}

①分度吸量管引入的不确定度分量 $u_{V_{21}}$

根据上级检定证书可知，该分度吸量管的测量不确定度为0.003 mL，按均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{V_{21}} = a/k = 0.003/\sqrt{3} = 0.0017 \text{ mL}$$

②分度吸量管液面读数引入的不确定度分量 $u_{V_{22}}$

该分度吸量管分辨力为0.02mL，此分量采用B类方法进行评定，按均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$u_{V_{22}} = a/k = (0.02/2)/\sqrt{3} = 0.0058 \text{ mL}$
 综上, 分度吸量管引入的不确定度分量

$$u_{V_2} = \sqrt{u_{V_{21}}^2 + u_{V_{22}}^2} = \sqrt{0.0017^2 + 0.0058^2} = 0.006 \text{ mL}$$

2.3.3 测量重复性不确定度分量 u_s

u_s 是测量过程的重复性, 采用A类评定方法计算标准不确定度。

根据原始记录得到如下测量列 (mL): 999.98,

999.94, 999.86, 999.96, 999.92, 999.84, 999.82, 999.96, 999.88, 999.82, 则

$$\bar{\Delta V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta V_i = 999.896 \text{ mL}。$$

$$u_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{\Delta V})^2}{n-1}} = 0.063 \text{ mL}$$

2.4 各不确定度分量汇总

表2 各不确定度分量汇总表

| 不确定度分量 | | 不确定度来源 | 标准不确定度 (mL) | |
|--------|-----------|------------------------|-------------|-------|
| 标准玻璃量器 | u_{V_1} | 标准玻璃量器 $u_{V_{11}}$ | 0.069 | 0.078 |
| | | 容量瓶液面观察 $u_{V_{12}}$ | 0.0363 | |
| 分度吸量管 | u_{V_2} | 分度吸量管 $u_{V_{21}}$ | 0.0017 | 0.006 |
| | | 分度吸量管液面观察 $u_{V_{12}}$ | 0.0058 | |
| 测量过程 | u_s | 测量重复性 u_s | 0.063 | 0.063 |

2.5 合成标准不确定度

$$u_V = \sqrt{u_{V_1}^2 + u_{V_2}^2 + u_s^2} = \sqrt{0.078^2 + 0.006^2 + 0.063^2} = 0.10 \text{ mL}$$

2.6 扩展不确定度

$$U_V = u_V \times k = 0.10 \times 2 = 0.20 \text{ mL} \quad k = 2$$

3 结语

本文依据JJG264-2008《容重器检定规程》和JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》, 分析了HGT-1000容重器测量结果不确定度的主要来源并进行了评定, 结果如下:

称重装置: $U_{\Delta m} = 0.4 \text{ g} \quad k = 2$

容量筒: $U_V = 0.20 \text{ mL} \quad k = 2$

参考文献

[1] 郭境. 容重器校准结果不确定度评定及CMC

表示[J]. 计量技术, 2006(06): 45-48.

[2] JJG264-2008. 容重器检定规程[S].

[3] JJF1059.1-2012. 测量不确定度评定与表示[S].

[4] JJG99-2006. 砝码检定规程[S].

[5] 赵春梅. 250mL单标线容量瓶容量测量结果的不确定度评定[J]. 广东化工, 2018, 45(18): 174-175.

作者简介: 瞿青云, 1989.07, 苏州市计量测试院, 从事质量衡器检定工作。