

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.01.14

标准金属布氏硬度块测量不确定度的间接评定

黄开志¹, 刘学明²

(1. 重庆科技学院数理学院, 重庆 401331; 2. 重庆建设工业(集团)有限责任公司计量理化中心, 重庆 400054)

摘 要: 基于 JJG 147-2005《标准金属布氏硬度块》以及 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》, 给出了一种间接评定标准金属布氏硬度块测量不确定度的新方法。建立了硬度测量的新模型, 并对该测量模型进行了较严密的分析, 剔除了间接评定时, 各耦合项对不确定度的重复贡献。按规程的测量条件和方法, 以 (125~225) HBW10/3000 标尺标准块为例, 对其测量不确定度进行了系统的间接评定。

关键词: 硬度; 标准布氏硬度块; 标准布氏硬度比对块; 测量模型; 测量不确定度; 间接评定

中图分类号: TB938.2; TH701

文献标志码:

文章编号: 1674-5795(2015)01-0054-03

Indirect Evaluation of Uncertainty in Measurement of Brinell Hardness Standard Blocks

HUANG Kaizhi¹, LIU Xueming²

(1. School of Mathematics and Physics, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China;

2. Center Lab. of Physical Measurements and Chemical Analysis of Chongqing Jianshe

Industry(Group) Co., Ltd., Chongqing 400054, China)

Abstract: Based on the national measurement verification regulation of JJG 147-2005 Brinell Hardness Reference Blocks and the national metrology calibration specification of JJF 1059.1-2012 Evaluation and Expression of Uncertainty in Measurement, a new method of indirect evaluation of uncertainty in measurement of Brinell hardness standard blocks is proposed. A new hardness measurement model was established, a rigorous analysis was done on the measurement model, and the redundant contribution of uncertainty in measurement was eliminated in the indirect evaluation. According to the measurement condition and the method specified in the regulation and the specification, an indirect evaluation was made on the measurement uncertainty of the scale of (125~225) HBW10/3000/30 as an example.

Key words: hardness; brinell hardness standard block; brinell hardness standard comparison block; measurement model; uncertainty in measurement; indirect evaluation

0 引言

标准金属布氏硬度块(以下简称标准块)是用于测量金属布氏硬度计的示值误差及重复性的工作标准器具。作为反映标准块本身硬度值的一个重要技术指标——测量不确定度,将直接影响到硬度计测量结果的可信度。

目前,在有关布氏硬度测量不确定度评定的文献中,针对布氏硬度测试和布氏硬度计进行测量不确定度评定的较多,针对标准块测量不确定度评定特别是间接评定的文献则极为欠缺。文献[1]针对在布氏硬度基准装置上测量比对块时的不确定度进行了评定,当

在布氏硬度工作基准装置上测量标准块时,该方法不太合适,也与文献[2]的要求不尽相符;文献[3]对在工作基准装置上测量标准块的不确定度评定有所提及,同样因没有建立硬度测量模型,且其评定方法较笼统,其评定结果的可信度也不够高;文献[4]较符合文献[2]要求,对在工作基准装置上测量标准块的不确定度进行了评定,但因所建立的测量模型较粗糙,且未考虑到工作基准装置硬度值最小增量对不确定度的贡献,评定欠严谨。

由于标准块的测量在各二级计量技术机构中量较大,对其测量不确定度的分析和评定又比较模糊,故对其测量不确定度进行系统的评定,特别是间接评定显得尤为必要和重要。

本文按国家计量检定规程[5]的测量条件和测量方法,并结合最新的国家计量技术规范[2]的要求,重新

收稿日期: 2014-07-21

作者简介: 黄开志(1969-),男,正高级工程师,主要从事力学计量测试技术研究工作。

建立了硬度测量模型,对测量模型进行了较严密分析,以(125~225)HBW10/3000标尺标准块为例,对其测量不确定度进行了系统的间接评定。

1 测量条件和量传过程

根据文献[5],标准块测量环境条件是:温度(23±5)℃,相对湿度≤70%;测量设备为布氏硬度工作基准装置。

根据文献[5],标准块硬度值量传过程为:①用已知测量不确定度的副基准布氏硬度测量装置,测量比对块的硬度值并确定其均匀度和稳定性;②用工作基准装置测量比对块的硬度值,以确定工作基准装置硬度值的修正因子;③用工作基准装置测量标准块的硬度值并确定其均匀度;④将标准块的硬度测量值与修正因子相乘得到标准块的修正值,将修正值与标准块的硬度测量值相加即得到标准块修正后的硬度值。

2 计算模型

由上述标准块硬度值量传过程知,其硬度值计算模型为

$$H_c = \bar{H}_m + \left(-\frac{\bar{H}_s - H_0}{H_0} \right) \bar{H}_m = \left(2 - \frac{\bar{H}_s}{H_0} \right) \bar{H}_m \quad (1)$$

式中: H_c 为标准块经修正后的硬度值; $\bar{H}_m$ 为标准块在工作基准装置上多次测得的平均硬度值; $\bar{H}_s$ 为比对块在工作基准装置上多次测得的平均硬度值; H_0 为比对块的硬度值。

3 测量不确定度分析

由于 $\bar{H}_m$, $\bar{H}_s$, H_0 为彼此独立不相关的量,根据文献[2], H_c 的合成标准不确定度 $u_c(H_c)$ 由不确定度传播律给出。结合式(1)得

$$\begin{aligned} u_c(H_c) &= \sqrt{\left(\frac{\partial H_c}{\partial \bar{H}_m} u(\bar{H}_m) \right)^2 + \left(\frac{\partial H_c}{\partial \bar{H}_s} u(\bar{H}_s) \right)^2 + \left(\frac{\partial H_c}{\partial H_0} u(H_0) \right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\left(2 - \frac{\bar{H}_s}{H_0} \right) u(\bar{H}_m) \right)^2 + \left(-\frac{\bar{H}_m}{H_0} u(\bar{H}_s) \right)^2 + \left(\frac{\bar{H}_m \cdot \bar{H}_s}{H_0^2} u(H_0) \right)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

由标准块硬度值量传过程,对其测量不确定度的分析如下:① $\bar{H}_m$ 的标准不确定度 $u(\bar{H}_m)$ 既包含了标准块均匀度和工作基准装置重复性引起的不确定度,又包含了工作基准装置硬度值最小增量引起的不确定度;② $\bar{H}_s$ 的标准不确定度 $u(\bar{H}_s)$ 中既包含了比对块均匀度

引起的不确定度,还包含了比对块稳定性引起的不确定度,还耦合了工作基准装置重复性和工作基准装置硬度值最小增量引起的不确定度;③ H_0 的标准不确定度 $u(H_0)$ 中既包含了副基准装置的不确定度,还耦合了比对块均匀度引起的不确定度。

按照上述分析结果逐项评定不确定度,将非常困难。如果这样分类处理:①视 $u(\bar{H}_m)$ 由两部分构成,即标准块均匀度和工作基准装置重复性引起的不确定度,工作基准装置硬度值最小增量引起的不确定度;②视 $u(\bar{H}_s)$ 仅由比对块均匀度和比对块稳定性引起的不确定度构成;③视 $u(H_0)$ 仅为副基准装置引起的不确定度。其好处是:剔除了各耦合项对不确定度的重复贡献,符合测量不确定度评定不遗漏、不重复的原则,较好体现了人员、设备、环境、方法等不确定度源对不确定度的主要贡献。

由式(2)得 H_c 的相对合成标准不确定度 $u_{cr}(H_c)$ 为

$$u_{cr}(H_c) = \frac{u_c(H_c)}{H_c} = \sqrt{\left(\frac{u(\bar{H}_m)}{\bar{H}_m} \right)^2 + \left(-\frac{\bar{H}_s}{2H_0 - \bar{H}_s} \cdot \frac{u(\bar{H}_s)}{\bar{H}_s} \right)^2 + \left(\frac{\bar{H}_s}{2H_0 - \bar{H}_s} \cdot \frac{u(H_0)}{H_0} \right)^2} \quad (3)$$

式中: $\frac{u(\bar{H}_m)}{\bar{H}_m} = u_r(\bar{H}_m)$,为标准块均匀度和工作基准装置重复性以及工作基准装置硬度值最小增量引起的相对不确定度; $\frac{u(\bar{H}_s)}{H_0} = u_r(\bar{H}_s)$,为比对块均匀度和稳定性引起的相对不确定度; $\frac{u(H_0)}{H_0} = u_r(H_0)$,为副基准装置引起的相对不确定度。

4 测量不确定度评定

在正式测量标准块之前,按文献[5]的要求,用工作基准装置对某比对块进行了5次有效测量,得到 $\bar{H}_s = 191\text{HBW}10/3000$,该比对块硬度值 $H_0 = 201\text{HBW}10/3000$ 。由公式(3)可得各相对标准不确定度 $u_r(\bar{H}_m)$, $u_r(\bar{H}_s)$, $u_r(H_0)$ 的灵敏系数依次为 $c_1 = 1$, $c_2 = -0.905$, $c_3 = 0.905$ 。

4.1 输入量 $\bar{H}_m$ 的相对标准不确定度 $u_r(\bar{H}_m)$

4.1.1 标准块均匀度和工作基准装置重复性引起的相对标准不确定度 $u_{r1}(\bar{H}_m)$

由文献[5]知,测量标准块时,应在其上均匀测量

5 点, 其均匀度由公式 $R = \frac{(H_m)_{\max} - (H_m)_{\min}}{\bar{H}_m}$ 计算。由

标准块的测量记录知, 某标准块 $\bar{H}_m = 187\text{HBW}10/3000$, 均匀度 $R = 2.4\%$ 。

由文献[2]知, 其测量不确定度应由 A 类方法评定, 当测量次数 $n=5$ 时, 由“极差法”计算实验标准偏差, 系数 $C_5 = 2.33$, $u_{r1}(\bar{H}_m)$ 的自由度 $\nu_{11} = 3.6$ 。相对标准不确定度为

$$u_{r1}(\bar{H}_m) = \frac{R}{C_5 \sqrt{n}} = \frac{2.4\%}{2.33 \sqrt{5}} = 0.46\%$$

4.1.2 工作基准装置硬度值最小增量引起的相对标准不确定度 $u_{r2}(\bar{H}_m)$

压痕测量装置分辨力及数值修约等引起工作基准装置硬度值最小增量 $r = 1\text{HBW}10/3000$, 其可认为服从均匀分布, 相对标准不确定度为

$$u_{r2}(\bar{H}_m) = \frac{r}{2\sqrt{3}\bar{H}_m} = \frac{1}{2\sqrt{3} \times 187} = 0.15\%$$

估计 $u_{r2}(\bar{H}_m)$ 的相对标准不确定度为 0, 则其自由度 $\nu_{12} = \infty$ 。

4.1.3 $\bar{H}_m$ 的相对合成标准不确定度 $u_r(\bar{H}_m)$

由于引入不确定度 $u_{r1}(\bar{H}_m)$, $u_{r2}(\bar{H}_m)$ 的因素彼此独立不相关, 由文献[2]知, $\bar{H}_m$ 的相对合成标准不确定度为

$$u_r(\bar{H}_m) = \sqrt{u_{r1}^2(\bar{H}_m) + u_{r2}^2(\bar{H}_m)} = \sqrt{0.46^2 + 0.15^2}\% = 0.48\%$$

$u_r(\bar{H}_m)$ 的自由度由韦尔奇-萨特斯韦特 (Welch-Satterthwaite) 公式得到

$$\nu_1 = \frac{u_r^4(\bar{H}_m)}{\frac{u_{r1}^4(\bar{H}_m)}{\nu_{11}} + \frac{u_{r2}^4(\bar{H}_m)}{\nu_{12}}} = \frac{0.48^4}{\frac{0.46^4}{3.6} + \frac{0.15^4}{\infty}} = 4.3$$

4.2 输入量 $\bar{H}_s$ 的相对标准不确定度 $u_r(\bar{H}_s)$

4.2.1 比对块均匀度引起的相对标准不确定度 $u_{r1}(\bar{H}_s)$

由文献[5]知, 比对块的硬度值是在副基准装置上均匀测量 5 点得到。由比对块检定证书知, 比对块 $H_0 = 201\text{HBW}10/3000$, 均匀度 $R_0 = 0.4\%$ 。

由文献[2]知, 其测量不确定度应由 A 类方法评定, 当测量次数 $n=5$ 时, 由“极差法”计算实验标准偏差, 系数 $C_5 = 2.33$, 自由度 $\nu_{21} = 3.6$ 。比对块均匀度引起的相对标准不确定度

$$u_{r1}(\bar{H}_s) = \frac{R_0}{C_5 \sqrt{n}} = \frac{0.4\%}{2.33 \sqrt{5}} = 0.08\%$$

4.2.2 比对块长期稳定性引起的相对标准不确定度 $u_{r2}(\bar{H}_s)$

由比对块的检定证书知, 在使用周期内, 比对块 $H_0 = 201\text{HBW}10/3000$ 的长期稳定性 $S_b \leq 0.5\%$ 。其变化规律可视为均匀分布, 其相对标准不确定度 $u_{r2}(\bar{H}_s)$ 由 B 类方法评定。故

$$u_{r2}(\bar{H}_s) = \frac{S_b}{k} = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.29\%$$

估计 $u_{r2}(\bar{H}_s)$ 的相对标准不确定度为 10%, 则其自由度 $\nu_{22} = \frac{1}{2 \times (0.10)^2} = 50$ 。

4.2.3 $\bar{H}_s$ 的相对合成标准不确定度 $u_r(\bar{H}_s)$

由于引入不确定度 $u_{r1}(\bar{H}_s)$, $u_{r2}(\bar{H}_s)$ 的因素彼此独立不相关, 由文献[2]知, $\bar{H}_s$ 的相对合成标准不确定度为

$$u_r(\bar{H}_s) = \sqrt{u_{r1}^2(\bar{H}_s) + u_{r2}^2(\bar{H}_s)} = \sqrt{0.08^2 + 0.29^2}\% = 0.30\%$$

其自由度为

$$\nu_2 = \frac{u_r^4(\bar{H}_s)}{\frac{u_{r1}^4(\bar{H}_s)}{\nu_{21}} + \frac{u_{r2}^4(\bar{H}_s)}{\nu_{22}}} = \frac{0.30^4}{\frac{0.08^4}{3.6} + \frac{0.29^4}{50}} = 53$$

4.3 输入量 H_0 的相对标准不确定度 $u_r(H_0)$

由比对块检定证书知, 副基准装置的相对扩展不确定度 $U_r(H_0) = 0.5\%$ ($k=2$), 则相对标准不确定度为

$$u_r(H_0) = \frac{U_r(H_0)}{k} = \frac{0.5\%}{2} = 0.25\%$$

估计 $u_r(H_0)$ 的相对标准不确定度为 10%, 则其自由度 $\nu_3 = \frac{1}{2 \times (0.10)^2} = 50$ 。

4.4 相对合成标准不确定度 $u_{cr}(H_c)$

由式(3)并结合上述相关的计算结果, 相对合成标准不确定度 $u_{cr}(H_c)$ 为

$$u_{cr}(H_c) = \sqrt{(1 \times 0.48)^2 + (-0.905 \times 0.30)^2 + (0.905 \times 0.25)^2}\% = 0.596\%$$

其有效自由度 ν_{eff} 为

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_{cr}^4(e)}{\frac{(c_1 u_r(\bar{H}_m))^4}{\nu_1} + \frac{(c_2 u_r(\bar{H}_s))^4}{\nu_2} + \frac{(c_3 u_r(H_0))^4}{\nu_3}} = \frac{0.596^4}{\frac{(1 \times 0.48)^4}{4.3} + \frac{(-0.905 \times 0.30)^4}{53} + \frac{(0.905 \times 0.25)^4}{50}} \approx 10$$

(下转第 63 页)

理没有变化，检定人员已掌握。

①“毛细管均匀性及刻度等分均匀性”更名为“线性度”后,技术指标和检定方法没有改变,符合要求;

②“示值稳定度”的检定用设备和检定过程、检定方法等要求没有变化,设备的技术指标符合要求,检定人员已掌握检定过程和检定方法。

3) 允许误差

有机液体温度计的测量范围扩展后,标准水银温度计和油槽测量范围满足要求,检定人员已掌握检定方法。

4) 标准器及配套设施

① 使用的恒温水槽、油槽水平、垂直温场的均匀性测试结果为 0.009°C ，满足要求；

② 标准水银温度计的测量范围和允许误差符合要求;

③ 配备有满足要求的二等标准铂电阻温度计;

④ 配置的辅助温度计技术指标符合要求, 检定人员已掌握其使用方法。

5) 测量次数和读数方法

① 测量次数变更后检定原始记录模版已更改，检定人员已能够按规程操作；

② 读数方法改变后检定人员已熟知。

6) 其它要求

① 分度值重新划分后, 检定过程和检定结果的处

(上接第 56 页)

4.5 扩展不确定度及结果报告

取包含概率 $p = 95\%$ ，按有效自由度 ν_{eff} 查 t 分布表得 $k_{95} = t_{95}(\nu_{\text{eff}}) = t_{95}(10) = 2.23$ 。故相对扩展不确定度为

$$U_{95r}(H_c) = k_{95} u_{cr}(H_c) = 2.2 \times 0.596\% \approx 1.3\%$$

结合式(1)等, 标准块修正后的硬度值为

$$H_c = \left(2 - \frac{191}{201}\right) \times 187 \text{HBW}_{10/3000} = 196 \text{HBW}_{10/3000}$$

硬度值扩展不确定度为

$$U_{95}(H_c) = U_{95r}(H_c) \cdot H_c = 1.3\% \times 196\text{HBW}10/3000 \\ = 3\text{HBW}10/3000$$

硬度值报告

$$\text{HB} = H_c \pm U_{95}(H_c) = (196 \pm 3) \text{HBW10/3000}, \quad k_{95} = 2.23$$

5 结束语

本文按国家计量检定规程[5]的测量条件和测量方

② 检定过程槽温变化范围要求检定人员已熟知。

③ 冰点制作需要的冰点槽和蒸馏水满足要求, 检定人员掌握了制作和使用的操作过程; 检定人员掌握了温度计感温柱修复方法; 处置破碎后散落水银的磨口瓶和硫磺粉满足要求, 检定人员掌握了处置方法。

4.4 验证结论

经验证，人员、设备、环境条件、原始记录模版均符合新旧规程的要求，同意使用此规程。

5 验证效果评价

效果评价重点放在相关人员掌握标准方法要求的操作和结果的处理上，因为机、料、法、环验证后如果没有发生变化，应该是持续满足要求的。人员掌握操作和结果处理可能在短期内很难看出效果，尤其是不经常做的项目，只有每一位操作人员都按标准方法做过了才能进行评价。评价即可以抽看人员操作过程，也可以通过原始记录、验证报告等来观察。

参考文献

- [1] 贾殿徐. ISO/IEC 17025 - 2005 实验室管理体系建立与审核教程[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [2] 百度文库. ISO/IEC 17025 - 2005 培训讲义[EB/OL]. [2014 - 06 - 18]. <http://wenku.baidu.com>.

参考文献

- [1] 朱俊杰. 标准硬度块示值总不确定度计算方法的探讨[J]. 宇航计测技术, 1992, 66(6): 74-76.
- [2] 国家质量监督检验检疫总局. JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国计量出版社, 2012.
- [3] 刘吉萍. 布氏硬度不确定度评定[J]. 现代计量测试, 2001(6): 31-36.
- [4] 黄开志. 标准金属布氏硬度块测量不确定度评定[J]. 兵器材料科学与工程, 2009(3): 74-75.
- [5] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 147-2005 标准金属布氏硬度块[S]. 北京: 中国计量出版社, 2005.