



中华人民共和国国家标准

GB/T 231.2—2012
代替 GB/T 231.2—2002

金属材料 布氏硬度试验 第2部分:硬度计的检验与校准

Metallic materials—Brinell hardness test—
Part 2: Verification and calibration of testing machines

(ISO 6506-2:2005, MOD)

2012-12-31 发布

2013-06-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

前 言

GB/T 231《金属材料 布氏硬度试验》分为如下四个部分：

- 第1部分：试验方法；
- 第2部分：硬度计的检验与校准；
- 第3部分：标准硬度块的标定；
- 第4部分：硬度值表。

本部分为 GB/T 231 的第2部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 231.2—2002《金属布氏硬度试验 第2部分：硬度计的检验与校准》，与 GB/T 231.2—2002 相比，主要技术变化如下：

- 修改了名称；
- 修改了引言（见引言，2002年版的引言）；
- 在第2章规范性引用文件清单中用 GB/T 4340.1—2009 代替了 GB/T 7997—1987（见第2章，2002年版的第2章）；
- 增加了硬度计示值相对重复性和示值相对误差的计算公式（见5.6和5.8）；
- 修改了附录A并增加了有关“硬度计校准结果的测量不确定度”的内容（见附录A，2002年版的附录A）。

本部分使用重新起草法修改采用国际标准 ISO 6506-2:2005《金属材料 布氏硬度试验 第2部分：硬度计的检验与校准》（第二版），在文本结构和技术内容方面与 ISO 6506-2:2005 一致。

本部分与 ISO 6506-2:2005 的技术性差异及其原因如下：

- 删除了 ISO 6506-2:2005 的前言，重新编写了前言；
- 关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的内容集中反映在第2章“规范性引用文件”中，具体调整如下：
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 231.1 代替 ISO 6506-1（见第1章、4.2.4、4.5、5.4和附录A）；
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 231.3 代替 ISO 6506-3（见5.1）；
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 4340.1 代替 ISO 6507-1（见4.3.4.2）；
 - 用等同采用国际标准的 GB/T 13634 代替 ISO 376（见4.2.3）；
- 将4.5中“时控误差最大允许值的指标”由“ $\pm 1.0\text{ s}$ ”修改为“ $\pm 0.5\text{ s}$ ”，以改正 ISO 6506-2:2005 原文中4.5与A.1.4中该项技术指标不协调的错误（见4.5和附录A的A.1.4）；
- 由于5.3的注中含有要求，故将该注变成了正文（见5.3）；
- 改正了附录A的表A.1和A.5中一些错误的计算结果和数据，并在做过改正的地方用下划线注明；
- 规范了附录A中向公式里代入数值的一些计算式的表达方法；
- 将附录A的公式(A.10)、公式(A.13)和表A.9中的符号“ $\bar{b}$ ”用符号“ E ”替换；
- 删除了参考文献。

本部分与 ISO 6506-2:2005 相比存在技术性差异，这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线（|）进行了标示。

本部分还做了下列编辑性修改：

- 将“ISO 6506的本部分”一词改为“本部分”；

——用中文的小数点符号“.”代替英文的小数点符号“,”。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国试验机标准化技术委员会(SAC/TC 122)归口。

本部分起草单位:昆山市创新科技检测仪器有限公司、长春机械科学研究院有限公司、莱州华银试验仪器有限公司、上海泰明光学仪器有限公司、上海尚材试验机有限公司、深圳市华测检测技术股份有限公司。

本部分主要起草人:陶泽成、王学智、杨凤鸣、马国义、马财樑、杨琼、郭冰。

本部分所代替标准的历次版本发布情况:

——GB 6269—1986、GB/T 6269—1997;

——GB/T 231.2—2002。

引 言

在 GB/T 231 的本部分中规定只使用硬质合金球压头。

布氏硬度符号是 HBW, 不要与以前使用钢球压头时的符号 HB 或 HBS 混淆。

金属材料 布氏硬度试验

第2部分:硬度计的检验与校准

1 范围

GB/T 231 的本部分规定了按 GB/T 231.1 测定布氏硬度用的布氏硬度计(以下简称硬度计)的检验和校准方法。

本部分适用于检查硬度计工作基本功能的直接检验法和对硬度计综合检查的间接检验法。间接检验法可独立地用于使用中硬度计的定期常规检查。

如果硬度计还用于其他方法的硬度试验,则应分别按每一种方法单独对硬度计进行检验。

本部分也适用于便携式硬度计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分:试验方法(GB/T 231.1—2009,ISO 6506-1:2005,MOD)

GB/T 231.3 金属材料 布氏硬度试验 第3部分:标准硬度块的标定(GB/T 231.3—2012,ISO 6506-3:2005,MOD)

GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分:试验方法(GB/T 4340.1—2009,ISO 6507-1:2005,MOD)

GB/T 13634 单轴试验机检验用标准测力仪的校准(GB/T 13634—2008,ISO 376:2004,Metallic materials—Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines, IDT)

3 一般要求

在检验硬度计以前,应对其进行检查以确保硬度计按制造者的说明书正确地安装,并要特别检查:

- a) 安装球压头的主轴在其导向装置中能正常滑动;
- b) 在主轴孔中牢固安装带有球(取自按 4.3 检验合格的同一批中)的压头;
- c) 施加和卸除试验力时,无冲击、振动或过冲且不影响读数;
- d) 对于测量装置与主机为一体的硬度计:
 - 从卸除试验力到测量压痕的转换过程不影响读数;
 - 照明不影响读数;
 - 需要时,压痕中心要位于视场中心。

4 直接检验

4.1 通则

4.1.1 直接检验宜在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 范围内进行。如果在此温度范围以外进行检验,则应在检验报告中注明。

4.1.2 用于检验和校准的器具应溯源到国家基准。

4.1.3 直接检验包括:

- a) 试验力的校准;
- b) 压头用球的检测;
- c) 压痕测量装置的校准;
- d) 试验循环时间的检测。

4.2 试验力的校准

4.2.1 对硬度计工作范围内的每一个试验力均应进行检测。只要可行,应选择在试验过程中主轴整个移动范围内至少3个间隔相等的位置对每个试验力进行检测。

4.2.2 应在主轴的每个位置上对每个试验力进行3次测量,每次测量即将读数之前,主轴的移动方向应与试验时的移动方向一致。

4.2.3 应采用下述两种方法之一测量试验力:

- 使用满足 GB/T 13634 要求的1级标准测力仪;
- 用校准过质量的砝码或具有相同准确度的其他方法施加一个准确到 $\pm 0.2\%$ 的力,使该力与被测试验力相平衡。

4.2.4 力的每一次测量的误差均应在 GB/T 231.1 规定的试验力标称值的 $\pm 1.0\%$ 以内。

4.3 压头用球的检测

4.3.1 压头由一个球和压头座组成。仅需对球进行检测。

4.3.2 应从一批球中随机抽取一个样品,检测其尺寸和硬度。做过硬度检测的球应予以剔除。

4.3.3 所有的球均应抛光,且无表面缺陷。

4.3.4 使用者应对球进行测量以保证其满足下述要求,或者从球的供应方获得能证明满足下述要求的球。

4.3.4.1 球的直径应为在球的不少于3个位置上测量的单个测量值的平均值。每一个单个测量值与其标称直径之差均应在表1给出的允差之内。

表1 不同球直径的允差

单位为毫米

球直径	允 差
10	± 0.005
5	± 0.004
2.5	± 0.003
1	± 0.003

4.3.4.2 硬质合金球的特性应满足下列要求:

a) 硬度:按 GB/T 4340.1 的方法,使用至少 4.903 N 的试验力测定的球的维氏硬度不应低于 1 500 HV。硬质合金球可以在球面上直接测定硬度,或将球剖开在球的截面上测定硬度;

b) 密度: $\rho = (14.8 \pm 0.2) \text{ g/cm}^3$ 。

推荐含有以下化学成分:

- 碳化钨(WC) 剩余部分;
- 其他碳化物总量 2.0%;
- 钴(Co) 5.0%~7.0%。

4.4 压痕测量装置的校准

4.4.1 压痕测量装置标尺的分度应能估测到压痕直径的 0.5%¹⁾ 以内。

4.4.2 将测量装置每个工作范围至少分成 5 个测量段,使用标准线纹尺测量进行检测,每一测量段的最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ ²⁾。

4.4.3 测量投影区域时,其最大允许误差为被测区域的 $\pm 1\%$ ²⁾。

4.4.4 对筒式显微镜宜按本部分规定的方法和制造者给出的允差进行校准。

4.5 试验循环时间的检测

试验循环时间应与 GB/T 231.1 规定的试验循环时间一致,其时控误差的最大允许值为 $\pm 0.5 \text{ s}$ 。

5 间接检验

5.1 宜在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 温度范围内,使用按 GB/T 231.3 标定的标准硬度块进行间接检验。如果在此温度范围以外进行检验,则应在检验报告中注明。

标准块的试验面和支承面与压头表面不应有任何外来的和腐蚀性污物。

5.2 应测量每一标准块上的参考压痕。对于每一标准块,测得的压痕直径的平均值与检定合格的压痕直径的平均值之差不应超过 0.5%。

5.3 应针对每一试验力和所使用的每种规格的球对硬度计进行检验。对每一试验力,应从下列硬度范围中至少选取 2 块标准块:

- $\leq 200 \text{ HBW}$;
- $(300 \sim 400) \text{ HBW}$;
- $\geq 500 \text{ HBW}$ 。

如果可能,2 块标准块应在不同的硬度范围中选取。当该硬度试验不可能在上述规定的较高硬度范围内进行时(对于 $0.102 \times F/D^2 = 5$ 或 10 的情况),可以仅使用从较低硬度范围中选取的一块标准块进行检验。

5.4 应在每一标准块上均匀分布地压出 5 个压痕,并对其进行测量。试验应按 GB/T 231.1 进行。

5.5 将每一标准块上所测得的 5 个压痕直径的平均值 d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 按从小到大递增的次序排列,并按公式(1)计算其算术平均值:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5} \quad \dots\dots\dots (1)$$

5.6 在规定的检验条件下,硬度计示值重复性 r 按公式(2)计算:

$$r = d_5 - d_1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

1) ISO 6506-2:2005 原文在此处的百分比前加“±”号。

2) ISO 6506-2:2005 原文在此处的百分比前不加“±”号。

以 $\bar{d}$ 的百分比表示的相对重复性 r_{rel} 按公式(3)计算:

$$r_{rel} = \frac{d_5 - d_1}{\bar{d}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

5.7 硬度计的相对重复性 r_{rel} 应符合表2的规定。

5.8 在规定的检验条件下,硬度计的示值误差 E 按公式(4)计算:

$$E = \bar{H} - H_c \quad \dots\dots\dots(4)$$

以百分比表示的硬度计示值相对误差 E_{rel} 按公式(5)计算:

$$E_{rel} = \frac{\bar{H} - H_c}{H_c} \times 100 \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

H_c ——标准块校准证书给出的标定硬度值。

以标准块标定硬度值的百分比表示的硬度计示值相对误差应符合表2的规定。

表2 硬度计的重复性和示值相对误差

标准块硬度 HBW ^a	硬度计示值相对重复性 r_{rel} 的最大允许值 %	硬度计示值相对误差 E_{rel} 的最大允许值 %
≤125	3.0	±3.0
>125~225	2.5	±2.5
>225	2.0	±2.0
^a HBW——布氏硬度。		

5.9 硬度计校准结果测量不确定度的评定方法见附录A。

6 检验周期

硬度计直接检验项目和检验周期见表3。

间接检验的周期不应超过12个月并应在直接检验完成以后进行。

表3 硬度计直接检验

直接检验要求	力	测量装置	试验循环时间	压头 ^a
安装后首次工作以前	√	√	√	√
经拆卸并重新装配后,如果影响到力、测量装置或试验循环时	√	√	√	—
间接检验不合格时 ^b	√	√	√	—
间接检验超过14个月	√	√	√	—
^a 建议当压头使用2年后要对其进行直接检验。 ^b 可对这些检测项目按顺序进行直接检验,以便找出未通过间接检验的原因,如果能够证明压头失效的原因(例如使用经过校准的压头进行试验),则不需要对其直接检验。				

7 检验报告和(或)校准证书

检验报告和(或)校准证书应包括以下内容:

- a) 注明执行本部分,即 GB/T 231.2;
- b) 检验方法[直接和(或)间接检验];
- c) 硬度计标识的信息;
- d) 检验器具(标准块、标准测力仪等);
- e) 压头用球的直径和试验力;
- f) 检验时的温度;
- g) 检验结果;
- h) 检验日期和检验机构;
- i) 检验结果的不确定度。

附录 A

(资料性附录)

硬度计校准结果的测量不确定度

GB/T 231.1—2009 的图 C.1 中示出了硬度标尺的定义和量值传递所需的计量链。

A.1 硬度计的直接校准

A.1.1 试验力的校准

试验力校准的相对合成标准不确定度按公式(A.1)计算:

$$u_F = \sqrt{u_{FRS}^2 + u_{FHTM}^2} \quad \text{.....(A.1)}$$

式中:

u_{FRS} ——标准测力仪的相对标准不确定度(在校准证书中给出);

u_{FHTM} ——硬度计试验力的相对标准不确定度。

标准测力仪的测量不确定度在相应的校准证书中给出。对于重要的应用宜考虑下列影响量,例如:

——温度相关性;

——长期稳定度;

——内插法误差。

根据传感器的结构设计,在校准过程中还宜考虑将传感器相对硬度计的压头轴线转位。

评定不确定度的示例如下:

标准测力仪的扩展测量不确定度(由校准证书给出): $U_{FRS}=0.12\%(k=2)$;

标准测力仪的校准值: $F_{RS}=1\,839\text{ N}$ 。

表 A.1 试验力校准结果

校准试验力 时主轴上 测量位置 的序号	第 1 列 F_1 N	第 2 列 F_2 N	第 3 列 F_3 N	平均值 $\bar{F}$ N	相对误差 ΔF_{rel} %	相对标准测 量不确定度 u_{FHTM} %
1	1 835.0	1 836.6	1 837.9	1 836.5	0.14	0.05
2	1 834.3	1 835.7	1 837.5	1 835.8	0.17	0.05
3	1 832.2	1 839.5	1 834.1	1 835.3	0.20	0.12

表 A.1 中的 ΔF_{rel} 和 u_{FHTM} 分别按公式(A.2)和公式(A.3)计算:

$$\Delta F_{rel} = \frac{F_{RS} - \bar{F}}{\bar{F}} \quad \text{.....(A.2)}$$

$$u_{FHTM} = \frac{s_{Fi}}{\bar{F}} \times \frac{1}{\sqrt{n}} \quad \text{.....(A.3)}$$

式中:

s_{Fi} ——在主轴第 i 个位置测量的试验力示值的标准偏差;

n ——测量次数, $n=3$ 。

在表 A.2 中,将使用到表 A.1 中 u_{FHTM} 的最大值。

表 A.2 试验力测量不确定度的计算

不确定度分量 X_i	估计值 x_i N	相对极限值 a_i	分布类别	相对标准测量不确定度 $u(x_i)$	灵敏系数 c_i	相对不确定度的贡献 $u_{rel}(H)$
u_{FRS}	1 839	—	正态	6.0×10^{-4}	1	6.0×10^{-4}
u_{FHTM}	1 839	—	正态	12.0×10^{-4}	1	12.0×10^{-4}
相对合成标准不确定度 u_F						13.3×10^{-4}
相对扩展测量不确定度 $U_F (k=2)$						2.7×10^{-3}

表 A.3 中的 $\Delta F_{\max}$ 按公式(A.4)计算:

$$\Delta F_{\max} = |\Delta F_{\text{rel}}| + U_F \quad \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

表 A.3 包含标准测力仪测量不确定度的试验力最大相对误差的计算

试验力的相对误差 ΔF_{rel} %	试验力的相对扩展不确定度 U_F %	包含标准测力仪测量不确定度的 试验力最大相对误差 $\Delta F_{\max}$ %
0.20	0.27	0.47

此例的结果表明包含标准测力仪测量不确定度的试验力的相对误差是满足 4.2 规定的 $\pm 1.0\%$ 要求的。

A.1.2 光学测量装置的校准

用标准线纹尺(参考标准)校准光学压痕测量装置的相对合成标准不确定度按公式(A.5)计算:

$$u_L = \sqrt{u_{LRS}^2 + u_{ms}^2 + u_{LHTM}^2} \quad \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中:

u_{LRS} ——标准线纹尺(参考标准)校准证书给出的相对标准不确定度($k=1$);

u_{ms} ——压痕测量装置分辨力引入的相对标准不确定度;

u_{LHTM} ——硬度计的相对标准测量不确定度。

校准光学压痕测量装置用的标准线纹尺的测量不确定度在相应的校准证书中给出。下列影响量不要对校准所用的标准线纹尺的测量不确定度产生实质的影响。如:

——温度相关性;

——长期稳定度;

——内插法误差。

评定不确定度的示例如下:

标准线纹尺的扩展测量不确定度: $U_{LRS} = 0.000\ 5\ \text{mm} (k=2)$;

光学压痕测量装置的分辨力: $\delta_{ms} = 0.1\ \mu\text{m}$ 。

表 A.4 中的 u_{LHTM} 和 ΔL_{rel} 分别按公式(A.6)和公式(A.7)计算:

$$u_{LHTM} = \frac{s_{L_i}}{L} \times \frac{1}{\sqrt{n}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

$$\Delta L_{\text{rel}} = \frac{\bar{L} - L_{RS}}{L_{RS}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.7})$$

式中：

s_{L_i} ——对应标准线纹尺第 i 个示值，压痕测量装置长度示值的标准偏差；

n ——测量次数， $n=3$ 。

表 A.4 光学压痕测量装置的校准结果

标准线纹尺的示值 L_{RS} mm	第 1 列 L_1 mm	第 2 列 L_2 mm	第 3 列 L_3 mm	平均值 $\bar{L}$ mm	相对误差 ΔL_{rel} %	相对标准测量不确定度 u_{LHTM} %
1.0	1.002	1.003	1.001	1.002	0.20	0.06
2.0	2.001	2.003	2.001	2.002	0.08	0.03
3.0	3.002	3.002	3.001	3.002	0.06	0.01
4.0	4.001	4.003	4.002	4.002	0.05	0.01

光学压痕测量装置的测量不确定度评定方法和计算结果见表 A.5。

表 A.5 光学压痕测量装置测量不确定度的计算

不确定度分量 X_i	估计值 x_i mm	极限值 a_i	分布类别	相对标准测量不确定度 $u(x_i)$	灵敏系数 c_i	相对不确定度的贡献 $u_i(H)$
u_{LRS}	1.0	—	正态	2.5×10^{-4}	1	2.5×10^{-4}
u_{ms}	1.0	1.0×10^{-4} mm	矩形	2.9×10^{-5}	1	2.9×10^{-5}
u_{LHTM}	1.0	—	正态	6.0×10^{-4}	1	6.0×10^{-4}
相对合成标准不确定度 $u_L/\%$						0.06
相对扩展测量不确定度 $U_L(k=2)/\%$						0.13

表 A.6 中 ΔL_{max} 按公式(A.8)计算：

$$\Delta L_{max} = |\Delta L_{rel}| + U_L \dots\dots\dots (A.8)$$

表 A.6 包含标准线纹尺测量不确定度的光学压痕测量装置最大相对误差的计算

检测长度 L_{RS} mm	压痕测量装置的相对误差 ΔL_{rel} %	相对扩展测量不确定度 U_L %	包含标准线纹尺测量不确定度的压痕测量装置的最大相对误差 ΔL_{max} %
1.0	0.20	0.13	0.33

此例的结果表明：包含校准用标准线纹尺测量不确定度的压痕测量装置的误差是满足 4.4 规定的 $\pm 0.5\%$ 要求的。

A.1.3 压头的检测

压头是由头部装有球的压头体和压头柄组成，不能通过在现场分别测量进行检测和(或)校准。压

头的几何偏差、物理特性和化学成分(见 4.3)应由认可的校准实验室出具的有效校准证书予以证明。

A.1.4 试验循环时间的检测

4.5 中规定试验循环每个阶段的时间允许误差为 ± 0.5 s。当使用常规的时间测量装置(秒表)测量时,能够给出的测量不确定度为 0.1 s。因此,不需考虑对此测量不确定度分量的评估。

A.2 硬度计的间接检验

注:在本附录中,根据硬度试验标准的定义,下标“CRM”(有证标准物质)的含义是“标准硬度块”。

通过使用标准硬度块进行间接检验,能检查硬度计的综合性能,同时根据标准硬度块的标准值测定出硬度计的重复性及误差。

硬度计间接检验时的合成标准不确定度由公式(A.9)求得:

$$u_{\text{HTM}} = \sqrt{u_{\text{CRM}}^2 + u_{\text{CRM-D}}^2 + u_H^2 + u_{\text{ms}}^2} \quad \dots\dots\dots (\text{A.9})$$

式中:

u_{CRM} —— 标准硬度块校准证书给出的标准不确定度($k=1$);

$u_{\text{CRM-D}}$ —— 标准硬度块自最近一次标定,其硬度值随时间漂移而引入的标准不确定度(当使用满足标准要求的标准硬度块检测时此项在计算时可忽略不计);

u_H —— 用标准硬度块检测时由硬度计引入的标准不确定度;

u_{ms} —— 由硬度计的分辨力引入的标准不确定度。

评定不确定度的示例如下:

标准硬度块的标定值: $H_{\text{CRM}} = (100.0 \pm 1.0) \text{ HBW } 2.5/187.5$;

标准硬度块的标准测量不确定度: $u_{\text{CRM}} = 0.5 \text{ HBW } 2.5/187.5$;

硬度计的分辨力: $\delta_{\text{ms}} = 0.5 \mu\text{m}$ 。

根据表 A.7 中的数据按公式(A.10)计算被检硬度计的示值误差:

$$E = \bar{H} - H_{\text{CRM}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.10})$$

$$E = 100.2 - 100.0 = 0.2 \text{ HBW}$$

表 A.7 间接检验结果

序 号	测得的压痕直径 d mm	计算的硬度值 H HBW*
1	1.462 _{min}	101.1 _{max}
2	1.469	100.1
3	1.472 _{max}	99.6 _{min}
4	1.471	99.8
5	1.468	100.3
平均值 $\bar{H}$	1.468 4	100.2
标准偏差 s_H		0.60
* HBW——布氏硬度。		

标准不确定度按公式(A.11)计算:

$$u_H = \frac{t \times s_H}{\sqrt{n}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.11})$$

当取 $t=1.14, n=5, s_H=0.60$ HBW 时:

$$u_H=0.31 \text{ HBW}$$

A.3 测量不确定度的评定

硬度计扩展不确定度的评定结果见表 A.8。

表 A.8 测量不确定度的评定

不确定度分量 X_i	估计值 x_i HBW	标准测量不确定度 $u(x_i)$	分布类别	灵敏系数 c_i	不确定度的 贡献 $u_i(H)$ HBW ^a
u_{CRM}	100.0	0.50 HBW	正态	1.0	0.50
u_H	0	0.31 HBW	正态	1.0	0.31
u_{ms}	0	0.000 14 mm	矩形	-152.2 HBW/ mm ^b	-0.02
u_{CRM-D}	0	0 HBW	三角	1.0	0
合成标准不确定度 u_{HTM}					0.59
扩展测量不确定度 $U_{HTM} (k=2)$					1.17
^a HBW——布氏硬度。 ^b 灵敏系数按公式(A.12)计算: $\frac{\partial H}{\partial d} = -\frac{H}{d} \times \frac{D + \sqrt{D^2 - d^2}}{\sqrt{D^2 - d^2}} \quad \dots\dots\dots (A.12)$ 该系数值是在 $H=100.0$ HBW, $D=2.5$ mm, $d=1.469$ mm 时得到的。					

含有测量不确定度的硬度计的示值误差 ΔH_{HTM} 按公式(A.13)计算:

$$\Delta H_{HTM} = |E| + U_{HTM} \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

表 A.9 中包含测量不确定度的硬度计的最大示值误差:

$$(\Delta H_{HTM})_{\max} = 0.2 + 1.2 = 1.4 \text{ HBW}$$

表 A.9 包含测量不确定度的硬度计的最大误差

硬度计测定的硬度值 H	扩展测量不确定度 U_{ITM} HBW*	用标准硬度块校准时 硬度计的误差 $ E $ HBW	包含测量不确定度 的硬度计的最大误差 $(\Delta H_{\text{ITM}})_{\text{max}}$ HBW
100.2 HBW 2.5/187.5	1.2	0.2	1.4
* HBW——布氏硬度。			

上例的结果表明：包含测量不确定度的硬度计的允许极限误差是满足第 5 章规定的 ± 3 HBW 要求的。

