



中华人民共和国国家标准

GB/T 4340.2—2025

代替 GB/T 4340.2—2012

金属材料 维氏硬度试验 第2部分：硬度计的检验与校准

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

(ISO 6507-2:2018, MOD)

2025-03-28 发布

2025-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 1

5 直接检验 2

 5.1 通则 2

 5.2 试验力的检测 2

 5.3 压头的检测 3

 5.4 对角线测量系统的检测与校准 4

 5.5 试验循环时间的检测 4

 5.6 直接检验的不确定度 4

6 间接检验 4

 6.1 通则 4

 6.2 试验力和对应的硬度范围 4

 6.3 标准压痕的检测 5

 6.4 压痕数目 5

 6.5 检测结果 5

 6.6 重复性 5

 6.7 误差 6

 6.8 间接检验的不确定度 6

7 检验周期 6

8 检验报告/校准证书 7

 8.1 硬度计 7

 8.2 维氏压头 7

附录 A（资料性） 硬度计检测结果的测量不确定度 8

 A.1 概述 8

 A.2 硬度计的直接检验 8

 A.3 硬度计的间接检验 12

 A.4 测量不确定度的评定 13

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 4340《金属材料 维氏硬度试验》的第2部分。GB/T 4340 已经发布了以下部分：

- 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。

本文件代替 GB/T 4340.2—2012《金属材料 维氏硬度试验 第2部分：硬度计的检验与校准》，与 GB/T 4340.2—2012 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了范围，增加了本文件不适用的硬度计的内容（见第1章，2012年版的第1章）；
- 更改了试验力不受主轴位置影响时的检测方法，增加了只在主轴一个位置上进行试验力检测的简化方法（见 5.2.1，2012年版的 4.2.1）；
- 更改了试验力偏差要求，在原有基础上，增加了小力值范围“0.009 807 N~0.098 07 N”的试验力最大允许相对偏差（见表 1，2012年版的表 1）；
- 增加了压头检验用器具的要求（见 5.3.2）；
- 对压头顶面交线的测量，最小力值由“0.098 07 N”更改为“0.009 807 N”（见表 2，2012年版的表 2）；
- 增加了压头检测/校准证书的要求（见 5.3.6、8.2）；
- 更改了对角线测量系统的检测与校准要求（见 5.4，2012年版的 4.4）；
- 更改了标准压痕最大允许误差的要求（见 6.3，2012年版的 5.2）；
- 删除了硬度计在一个硬度值下进行间接检验的特殊情况（见 2012年版的 5.6）；
- 更改了相对重复性最大允许值的要求（见表 4，2012年版的表 4）；
- 更改了间接检验规定的最大允许示值相对误差的要求（见表 5，2012年版的表 5）；
- 更改了硬度计检验报告/校准证书的内容，增加规定了所使用标准硬度块硬度值的要求（见 8.1，2012年版的第7章）。

本文件修改采用 ISO 6507-2:2018《金属材料 维氏硬度试验 第2部分：硬度计的检验与校准》。

本文件与 ISO 6507-2:2018 相比做了下述结构调整：

- 5.2.2 中列项后面的段，更改到第一个列项后；
- 6.2 的条文采用列项形式表述，6.2 的 a)~d) 对应 ISO 6507-2:2018 中 6.2 的两段条文。

本文件与 ISO 6507-2:2018 的技术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。具体的技术差异及其原因如下：

- ISO 6507-2:2018 中第4章“宜特别检查下列各项”更改为“应特别检查下列各项”，以适应我国技术条件；
- ISO 6507-2:2018 中表 2“F”更改为“ F_{RS} ”，以适应我国技术条件；
- 将 ISO 6507-2:2018 中 5.3.5“四个面宜相交于一个共同点”更改为“四个面应相交于一个共同点”，与理论常识相符；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 4340.1 代替了 ISO 6507-1（见 5.5、6.4），以适应我国技术条件；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 4340.3 代替了 ISO 6507-3（见 6.1.2、6.2），以适应我国技术

条件;

——用等同采用国际标准的 GB/T 13634 代替了 ISO 376(见 5.2.2),以适应我国技术条件。

本文件做了下列编辑性改动:

——删除了第 3 章 ISO、IEC 术语网站网址信息;

——5.3 中正四棱锥体两相对棱夹角 ISO 原文为“ $148.11^{\circ}\pm 0.76^{\circ}$ ”,勘误校正为“ $148.11^{\circ}\pm 0.38^{\circ}$ ”;

——在公式(1)、公式(4)、公式(6)等后面增加了%;

——6.2 中增加了示例;

——8.1g)中 5.1.4 更正为 5.1.3。

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专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国试验机标准化技术委员会(SAC/TC 122)归口。

本文件起草单位:昆山市创新科技检测仪器有限公司、中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所、福建省闽量校准技术中心有限公司、莱州华银试验仪器有限公司、上海尚材试验机有限公司、山东山材试验仪器有限公司、上海研润光机科技有限公司、司特仪器制造(浙江)有限公司、浙江土工仪器制造有限公司、河南交院工程技术集团有限公司、河南交通职业技术学院、沈阳工业大学、河南省计量测试科学研究院、中机试验装备股份有限公司、北京市计量检测科学研究院、爱德森(厦门)电子有限公司、南方电网互联网服务有限公司、国标(北京)检验认证有限公司、江苏高卡轻合金有限公司、德州焯业金属科技有限公司、浙江华电器材检测研究院有限公司、丽水市阀检技术研究院、中信戴卡股份有限公司。

本文件主要起草人:陶泽成、石伟、吴泓、王敬涛、卫志清、高曙光、尉贺文、陈南、陈赢、杨建强、邵景干、孙兴伟、任翔、任霞、汪宁溪、林泽森、林俊、樊志罡、罗斌、张世杰、李瑞、洪静、吴敏敏、黄亮。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

——1987 年首次发布 GB/T 7664—1987《维氏硬度计技术条件》;

——1997 年首次发布 GB/T 17198—1997《维氏硬度计(小于 HV0.2)的检验》;

——1999 年第一次修订,将 GB/T 7664—1987 和 GB/T 17198—1997 整合修订为 GB/T 4340.2—1999《金属维氏硬度试验 第 2 部分:硬度计的检验》;

——2012 年第二次修订为 GB/T 4340.2—2012《金属材料 维氏硬度试验 第 2 部分:硬度计的检验与校准》;

——本次为第三次修订。

引 言

GB/T 4340《金属材料 维氏硬度试验》旨在规范金属材料维氏硬度的试验方法、试验仪器的检验方法、试验仪器间接检验用标准物质的标定方法和维氏硬度值计算表,拟由下列四个部分构成。

- 第1部分:试验方法。目的在于确立维氏硬度试验需遵循的程序和方法。
- 第2部分:硬度计的检验与校准。目的在于规定维氏硬度计需满足的技术要求和检验、校准方法。
- 第3部分:标准硬度块的标定。目的在于规定标准维氏硬度块需满足的技术要求和标定方法。
- 第4部分:硬度值表。目的在于给出金属材料维氏硬度的计算值。

金属材料 维氏硬度试验

第2部分：硬度计的检验与校准

1 范围

本文件规定了按照 GB/T 4340.1 测定维氏硬度用的维氏硬度计和对角线测量系统的检验与校准方法。

本文件规定的直接检验方法适用于硬度计、压头和对角线测量系统的检验与校准，间接检验方法适用于使用标准块对维氏硬度计进行整机检验。

如果维氏硬度计还用于其他方法的硬度试验，则分别按照对应的方法单独对维氏硬度计进行检验。

本文件也适用于便携式维氏硬度计的检验和校准。

本文件不适用于按其他不同原理（例如超声阻抗法）测量硬度的各类硬度计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法（GB/T 4340.1—2024，ISO 6507-1：2023，MOD）

GB/T 4340.3 金属材料 维氏硬度试验 第3部分：标准硬度块的标定（GB/T 4340.3—2025，ISO 6507-3：2018，MOD）

GB/T 13634 金属材料 单轴试验机检验用标准测力仪的校准（GB/T 13634—2019，ISO 376：2011，IDT）

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 一般要求

检验前，应对维氏硬度计（以下简称“硬度计”）进行检查以确保其按制造说明书正确安装。应特别检查下列各项。

- a) 固定压头的主轴能在其导轨中滑动，且无摩擦或过大的侧向偏移。
- b) 压头柄牢固地安装在主轴孔中。
- c) 试验力的施加和卸除无影响测量结果的冲击、振动或过载。
- d) 对角线测量系统：
 - 1) 如果对角线测量系统集成在主机上，则从卸除试验力到测量压痕的转换过程不影响读数；
 - 2) 测量显微镜的照明装置在整个观测视场中产生均匀的照明，使压痕与其周围表面形成足够的对比度，以便能清晰地确定边界；

3) 必要时,压痕中心要位于视场中心。

注:本文件规定的硬度计检验与校准细则经过了不断发展和完善。当测定硬度计需要满足某一项规定允差时,该允差已包含了与所使用的测量器具和/或参考标准相关的不确定度,因此,对该不确定度做任何进一步的修正(例如:通过测量不确定度来减小允差)都是不适当的。这适用于对硬度计进行直接检验或间接检验时做的所有测量。

5 直接检验

5.1 通则

5.1.1 直接检验应按照第7章规定的检验周期进行。

5.1.2 直接检验项目包括:

- a) 试验力;
- b) 压头;
- c) 对角线测量系统;
- d) 试验循环时间。

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

5.1.4 用于检验和校准用的器具应溯源到国家基准。

5.2 试验力的检测

5.2.1 硬度计工作范围内的每一个试验力均应进行检测。当压头位置影响试验力施加时,在试验过程中,主轴的整个移动范围内,应至少选取三个间隔相等的位置对每个试验力进行检测。

当硬度计的试验力不受主轴位置影响时(如采用闭环加力控制系统),可只选一个位置对试验力进行检测。

5.2.2 应采用下述两种方式之一对试验力进行检测。

- 使用 GB/T 13634 规定的 1 级或优于 1 级的标准测力仪检测试验力。在试验力达到所加力值后的 1 s~30 s 内,宜提供证据以证明标准测力仪的输出变化不超过 $\pm 0.2\%$ 。
- 采用已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,使其与被检测的试验力相平衡。

5.2.3 在主轴的每一位置上,每个试验力 F 应测量三次并读数。在每次读数时,主轴的移动方向应与试验时的移动方向一致。所有读数均应满足表 1 规定的试验力最大允许相对偏差 ΔF_{rel} 的要求。

试验力 F 的相对偏差 ΔF_{rel} 按照公式(1)计算:

$$\Delta F_{\text{rel}} = \frac{F - F_{\text{RS}}}{F_{\text{RS}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

F ——试验力的测量值;

F_{RS} ——试验力的标称值。

表 1 试验力最大允许相对偏差

试验力 F_{RS} 范围 N	最大允许相对偏差 ΔF_{rel} %
$0.009\ 807 \leq F_{\text{RS}} < 0.098\ 07$	± 2.0

表 1 试验力最大允许相对偏差（续）

试验力 F_{RS} 范围 N	最大允许相对偏差 ΔF_{rel} %
$0.098\ 07 \leq F_{RS} < 1.961$	± 1.5
$F_{RS} \geq 1.961$	± 1.0

5.3 压头的检测

- 5.3.1 金刚石正四棱锥体的四个面应抛光且无表面缺陷。
- 5.3.2 通过直接测量法或光学仪器测量法检测压头的形状。检测仪器的最大扩展不确定度不应大于 0.07° 。
- 5.3.3 金刚石正四棱锥体锥顶两相对面的夹角应在 $136^\circ \pm 0.5^\circ$ 范围内（见图 1）。
两相对面的夹角也可通过两相对棱的夹角确定。该夹角应在 $148.11^\circ \pm 0.38^\circ$ 范围内。
- 5.3.4 金刚石正四棱锥体轴线与压头柄轴线（垂直于安装面）的夹角应小于 0.5° 。
- 5.3.5 理想情况下，四个面应相交于一个共同点，但一般情况下两个相对面往往相交于一条线，见图 2。应直接测量压头顶部，或者测量压痕中压头顶对应的区域，以确定相交线的长度。相交线的最大允许长度见表 2。
- 5.3.6 压头应具有能证明其几何形状偏差的有效检（验）测/校准证书（见 8.2）。

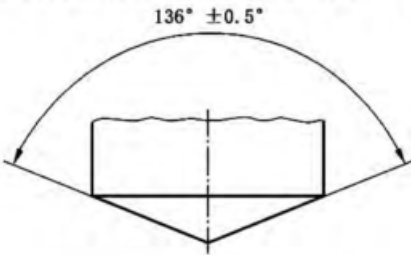
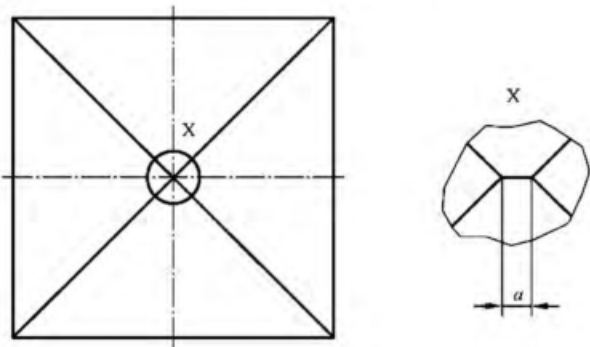


图 1 金刚石棱锥体的锥角



标引符号说明：
 a ——相交线长度。

图 2 压头锥顶相交线示意图

表 2 相对面交线最大允许长度

试验力 F_{RS} 范围 N	交线最大允许长度 a mm
$0.009\ 807 \leq F_{RS} < 1.961$	0.000 5
$1.961 \leq F_{RS} < 49.03$	0.001
$F_{RS} \geq 49.03$	0.002

5.4 对角线测量系统的检测与校准

5.4.1 对角线测量系统的每个放大倍数和每个内置标尺的分度均应被检测。一个标尺若用于两个相互垂直的轴线方向,则标尺在这两个方向上均应被校准。应使用被校准过的标准线纹尺进行检测。标准线纹尺刻线间距的最大扩展不确定度应符合表 3 的规定。

5.4.2 应至少在四个测量点上进行检测,各个测量点之间的间隔相等,这些测量点应均等分布在视野中央且覆盖每个工作范围。每个测量点应测量 3 次,每次测量的最大允许误差应符合表 3 的规定。

表 3 对角线测量系统的检测与校准要求

测量参数	要求
标准线纹尺间距的最大扩展不确定度(见 5.4.1)	0.000 4 mm 或 0.2%,取其较大者
对角线测量系统的最大允许误差(见 5.4.2)	0.000 8 mm 或测量长度的 1.0%,取其较大者

5.5 试验循环时间的检测

试验循环时间应使用扩展不确定度小于或等于 1 s 的仪器进行测量。所测得的循环时间应符合 GB/T 4340.1 的规定。

5.6 直接检验的不确定度

应确定直接检验的不确定度,示例见附录 A。

6 间接检验

6.1 通则

6.1.1 间接检验周期应符合第 7 章的规定。

6.1.2 使用按 GB/T 4340.3 标定过的标准硬度块(以下简称标准块)对硬度计进行检验。

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

6.1.4 检验和校准用的器具应溯源到国家基准。

6.2 试验力和对应的硬度范围

应使用按照 GB/T 4340.3 标定的标准块对硬度计进行检测。具体要求如下。

- 标定标准块的试验力应与被检硬度计在实际工作中使用的试验力相同。
- 当被检硬度计仅使用一个试验力时(试验力校准见 5.2),应选取三个标准块,从下列规定的低中高三个硬度范围中各选一块用于检测。
- 当被检硬度计使用一个以上试验力时(试验力校准见 5.2),对应所使用的每一级试验力,均应

至少选取两个标准块,且所有标准块要覆盖下列低中高三个不同的硬度范围。

示例:若被检硬度计共 11 级,只使用两级,硬度计间接检验时至少要选出四块标准块。选择方式有多种,比如:2 块低、1 块中、1 块高,或者 1 块低、2 块中、1 块高。如果欲使用硬度计所有 11 级试验力,则间接检验时至少选 22 块标准块进行检验,以确保标准块的数量至少是所使用力级数量的两倍。

d) 为每个确定的试验力选择标准块时,标准块的硬度值宜尽可能与硬度计实际工作中最常用的硬度一致。低中高三个硬度范围如下:

——<250 HV;

——400 HV~600 HV;

——>700 HV。

6.3 标准压痕的检测

应在每个标准块上选取一个标准压痕进行检测,且标准块要在标定有效期内。对于选出的每个标准压痕,其测量平均值与证书给出的对角线长度标准值的最大允许误差应在 ± 0.001 mm 或者标准压痕长度的 $\pm 1.25\%$ 范围内。也可在硬度值相近、压痕尺寸也相近的另一个标准块上进行测量。

6.4 压痕数目

在每一个标准块上应压出五个压痕并测量。试验应按 GB/T 4340.1 的规定进行。仅标准块的工作面能用于检测。

6.5 检测结果

将每一标准块上所测得的硬度值按从小到大递增的次序排列, H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 、 H_5 ,则每个硬度值对应的对角线长度分别为 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 、 d_5 ,从大到小呈递减次序排列。硬度平均值 $\bar{H}$ 按照公式(2)计算,对角线平均长度 $\bar{d}$ 按照公式(3)计算:

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5}{5} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5} \quad \dots\dots\dots(3)$$

6.6 重复性

硬度计的相对重复性 r_{rel} 以 $\bar{H}$ 的百分比表示,按照公式(4)计算:

$$r_{rel} = \frac{H_5 - H_1}{\bar{H}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(4)$$

若 $(d_1 - d_5)$ 不大于 0.001 mm,则硬度计的重复性满足要求。若 $(d_1 - d_5)$ 大于 0.001 mm,且相对重复性 r_{rel} 不大于表 4 中给出的值,则硬度计的重复性也满足要求。

表 4 硬度计示指相对重复性最大允许值

标准块 的维氏硬度	硬度计相对重复性最大允许值 r_{rel} %		
	HV5~HV100	HV0.2~<HV5	<HV0.2
HV $\leq$ 250	6.0	12.0	18.0
HV>250	4.0	8.0	12.0

注:硬度较低材料的重复性往往大于硬度较高的材料的重复性。

6.7 误差

在规定的检测条件下,硬度计的误差 b 按照公式(5)计算:

$$b = \overline{H} - H_{\text{CRM}} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

H_{CRM} ——标准块的标定硬度值。

相对误差 b_{rel} 按照公式(6)计算:

$$b_{\text{rel}} = \frac{\overline{H} - H_{\text{CRM}}}{H_{\text{CRM}}} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

硬度计的最大允许示值相对误差不应超出表 5 的规定。

表 5 硬度计最大允许示值相对误差

对角线长度平均值 $\overline{d}$ mm	最大允许相对误差 b_{rel} %
$0.02 \leq \overline{d} < 0.14$	$\pm (0.21/\overline{d} + 1.5)$
$0.14 \leq \overline{d} \leq 1.4$	± 3

6.8 间接检验的不确定度

应测定硬度计间接检验结果的测量不确定度,示例见附录 A。

7 检验周期

硬度计的直接检验应按照表 6 的规定进行。直接检验的周期宜为 12 个月。间接检验的周期不应超过 12 个月。

每次直接检验后应进行间接检验。

表 6 硬度计直接检验

检验条件	试验力	对角线测量系统	试验循环时间	压头 ^a
安装后首次工作前	√	√	√	√
拆卸并重新装配后,试验力、测量装置或试验循环时间受到影响	√	√	√	—
间接检验不合格 ^b	√	√	√	—
间接检验周期超过 13 个月	√	√	√	—
注:符号“√”表示“必检项目”,符号“—”表示“不检项目”。				
^a 建议压头使用两年后进行直接检验。				
^b 可对这些检验项目按顺序进行直接检验(直到通过间接检验)。如果能证明压头损坏的原因(例如用标准压头进行试验),则不必进行直接检验。				

8 检验报告/校准证书

8.1 硬度计

检验报告/校准证书应包含以下内容：

- a) 注明执行本文件,即 GB/T 4340.2;
- b) 检验方法[直接和(或)间接检验];
- c) 硬度计的标识;
- d) 检验器具(标准块、标准测力仪等);
- e) 被检测的试验力;
- f) 使用标准块的硬度值;
- g) 如超出 5.1.3 的规定,注明检验温度;
- h) 所有项目的检验结果;
- i) 检验日期和检验机构;
- j) 检验结果的不确定度。

8.2 维氏压头

维氏压头检测报告/校准证书应包含以下内容：

- a) 注明执行本文件,即 GB/T 4340.2;
- b) 压头序列号;
- c) 所有项目的检验结果;
- d) 检验日期和检验机构;
- e) 检验结果的不确定度。

附录 A

(资料性)

硬度计检测结果的测量不确定度

A.1 概述

测量不确定度分析是确定误差来源和理解测量结果差异的一种有利工具。本附录给出了不确定度的评定指南,如果客户无特殊要求,本方法可供参考。本文件针对硬度计的性能提出的准则已经过相当长一段时间的发展和完善。当测定硬度计需要满足某一项规定的误差时,该误差已包含了与所使用的测量器具和(或)参考标准相关的不确定度,因此,对该不确定度做任何进一步的修正(例如:通过测量不确定度来减小误差)都是不适当的。这适用于对硬度计进行直接检验或间接检验时做的所有测量。在每种情况下,使用规定计量器具和(或)参考标准所测得的测量值,评估硬度计是否符合本文件规定要求。但是,在特殊场合下,当相关方协商一致时,可通过测量不确定度来降低允差。

硬度标尺的定义和量值传递所需的计量链见 GB/T4340.1。

A.2 硬度计的直接检验

A.2.1 试验力的检测

检测试验力的合成相对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标准证书中给出。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,在检测过程中还宜考虑将传感器相对硬度计的压头轴线转位。

示例:

计算结果见表 A.1,具体计算过程如下:

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

标准测力仪的标准力值: $F_{RS}=294.2\text{ N}$

试验力的相对合成标准校准不确定度 u_F 按照公式(A.1)计算,见表 A.2。

在表 A.1 中,试验力相对误差按照公式(A.2)计算:

$$\Delta F_{rel,i,j} = \frac{F_{i,j} - F_{RS}}{F_{RS}} \quad \text{..... (A.2)}$$

式中:

$F_{i,j}$ ——第 j 次测量的第 i 个位置试验力的测量值。

相对标准不确定度按照公式(A.3)计算:

$$u_{FHTM,i} = \frac{s_{Fi}}{F} \times \frac{t}{\sqrt{n}}, (n=3, t=1.32) \quad \text{..... (A.3)}$$

式中：
 s_{Fi} ——第 i 个位置试验力示值的标准偏差。

表 A.1 试验力的检测结果

测量位置(i)	系列 1		系列 2		系列 3		平均值 $\bar{F}_i$ N	标准偏差 s_{Fi} N	相对标准 不确定度 $u_{FHTM,i}$ %
	力值 $F_{i,1}$ N	相对偏差 $\Delta F_{rel,i,1}$ %	力值 $F_{i,2}$ N	相对偏差 $\Delta F_{rel,i,2}$ %	力值 $F_{i,3}$ N	相对偏差 $\Delta F_{rel,i,3}$ %			
1	294.7	0.170	294.9	0.238	294.5	0.102	294.7	0.200	0.52×10^{-3}
2	293.9	-0.102	294.5	0.102	294.6	0.136	294.3	0.379	0.98×10^{-3}
3	293.1	-0.374	294.0	-0.068	293.7	-0.170	293.6	0.458	1.19×10^{-3}

在表 A.2 中,试验力的相对标准不确定度 $u(x_p)$ 使用表 A.1 中 $u_{FHTM,i}$ 的最大值(这种情况下,最大值为 $u_{FHTM,3}$)。

表 A.2 试验力测量不确定度的计算

不确定度分量 X_p	估计值 x_p	相对极 限值 a_p	分布类型	相对标准测量不确定度 $u(x_p)\%$	代号	灵敏系数 c_p	相对不确定度的 分布 $u_p(F)\%$
标准测力仪测量的力	294.2 N	$\pm 0.12\%$	正态	0.6×10^{-3}	u_{FRS}	1	0.6×10^{-3}
硬度计产生的试验力	0 N	$\pm 1\%$	正态	1.19×10^{-3}	u_{FHTM}	1	1.19×10^{-3}
相对合成标准不确定度 $u_F/\%$							0.133
相对扩展测量不确定度 $U_F(k=2)/\%$							0.266

在表 A.3 中,试验力的最大允许相对误差 ΔF_{max} (包含标准测力仪的测量不确定度)按照公式(A.4)计算, $\Delta F_{rel,i,j}$ 使用表 A.1 中绝对值最大的(这种情况下为 $\Delta F_{rel,3,1}$)。

$$\Delta F_{max} = |\Delta F_{rel,i,j}| + U_F \dots\dots\dots (A.4)$$

表 A.3 试验力最大相对误差(包含标准测力仪测量不确定度)计算

试验力最大相对偏差 $\Delta F_{rel,i,j}$	试验力测量结果的相对扩展不确定度 U_F	试验力最大相对误差(包含标准测力仪 的测量不确定度) ΔF_{max}
-0.374%	0.266%	0.640%

ΔF_{max} 的计算按照公式(A.5)计算：
$$\Delta F_{max} = |\Delta F_{rel}| + U_F \dots\dots\dots (A.5)$$

示例结果表明,试验力的相对误差(包含标准测力仪的测量不确定度)满足 5.4 规定的 $\pm 1.0\%$ 的要求。

A.2.2 对角线测量系统的检测

对角线测量系统的合成相对标准不确定度按公式(A.6)计算：

$$u_L = \sqrt{u_{LRS}^2 + 2 \times u_{ms}^2 + u_{LITM}^2} \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：
 u_{LRS} ——由校准证书给出的标准线纹尺(参考标准)的相对测量不确定度, $k=1$ ；
 u_{ms} ——对角线测量系统分辨力引入的相对测量不确定度；

u_{LHTM} ——硬度计的相对标准测量不确定度。

关于 u_{ms} ，不仅要考虑测量系统显示装置的分辨力还要考虑测量所用显微镜的光学分辨力。大多数情况下，在计算 u_{L} 时，测量系统总分辨力宜考虑两次，因为要分辨标准线纹尺的零点和刻度线的位置。

标准线纹尺的测量不确定度在其相应的校准证书中给出。主要影响因素，如下：

- 温度相关性；
- 长期稳定度；
- 内插法误差。

这些影响因素不会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。

示例：

本示例，进行了 5 个间隔的测量(0.05 mm、0.10 mm、0.20 mm、0.30 mm 和 0.40 mm)。

计算结果见表 A.4，具体计算过程如下：

标准线纹尺的扩展测量不确定度： $U_{\text{LRS}}=0.000\ 1\ \text{mm}(k=2)$

——显微物镜的分辨力： $\delta_{\text{OR}}=0.000\ 34\ \text{mm}$

注： $\delta_{\text{OR}}=\lambda/(2\times\text{NA})$ 。

式中：

λ ——光波长度，单位为微米(μm)(绿光光波长度近似为 $0.55\ \mu\text{m}$)；

NA——物镜的光圈数。

例如，对物镜 $100\times$ ，使用绿光光圈 NA 为 0.8 来说， $\delta_{\text{OR}}=\frac{0.55\ \mu\text{m}}{2\times 0.8}=0.34\ \mu\text{m}$ 。

对于大角度的光线，上面的光学分辨力的计算公式仍然有效。

——测量系统显示装置的分辨力： $\delta_{\text{IR}}=0.000\ 1\ \text{mm}$

——对角线测量系统的总分辨力按照公式(A.7)计算：

$$\delta_{\text{ms}}=\sqrt{\delta_{\text{OR}}^2+\delta_{\text{IR}}^2}=0.000\ 35\ \text{mm}\quad\cdots\cdots\cdots(\text{A.7})$$

对角线测量系统的合成相对标准不确定度 u_{L} 按照公式(A.6)计算，计算结果见表 A.5。

在表 A.4 中， $\Delta L_{\text{rel},i,j}$ 是标准线纹尺第 j 次测量的第 i 个间隔的相对偏差，按照公式(A.8)计算：

$$\Delta L_{\text{rel},i,j}=\frac{L_{i,j}-L_{\text{RS},i}}{L_{\text{RS},i}}\times 100\%\quad\cdots\cdots\cdots(\text{A.8})$$

式中：

$L_{\text{RS},i}$ ——标准线纹尺第 i 个间隔值；

$L_{i,j}$ ——标准线纹尺第 j 次测量的第 i 个间隔的测量值。

表 A.4 对角线测量系统的校测结果

顺序 i	标准刻线尺 的示值(i) $L_{\text{RS},i}$ mm	系列 1		系列 2		系列 3		平均值 $\overline{L}_i$ mm	标准偏差 $s_{L,i}$ mm
		$L_{i,1}$ mm	$\Delta L_{\text{rel},i,1}$ %	$L_{i,2}$ mm	$\Delta L_{\text{rel},i,2}$ %	$L_{i,3}$ mm	$\Delta L_{\text{rel},i,3}$ %		
1	0.05	0.050 0	0.000	0.050 0	0.000	0.050 1	0.200	0.050 1	0.000 058
2	0.10	0.100 2	0.200	0.100 0	0.000	0.100 1	0.100	0.100 1	0.000 100
3	0.20	0.200 1	0.050	0.199 9	-0.050	0.200 1	0.050	0.200 0	0.000 115
4	0.30	0.299 7	-0.100	0.300 1	0.033	0.300 1	0.033	0.300 0	0.000 231
5	0.40	0.400 2	0.050	0.400 1	0.025	0.400 3	0.075	0.400 2	0.000 100

对角线测量系统的标准不确定度 u_L 按照公式(A.6)计算。 u_L 贡献的计算见表 A.5,具体如下:
标准线纹尺第 i 个间隔的测量相对标准合成不确定度按照公式(A.9)计算:

$$u_{LRS,i} = \frac{U_{LRS}/2}{L_{RS,i}} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

在第 i 个间隔,对角线测量系统分辨力引入的相对标准不确定度按照公式(A.10)计算:

$$u_{ms,i} = \frac{\delta_{ms}/2\sqrt{3}}{L_{RS,i}} \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

第 i 个间隔,硬度计的相对标准不确定度按照公式(A.11)计算:

$$u_{LHTM,i} = \frac{s_{L,i}}{L_i} \times \frac{t}{\sqrt{n}} (n=3, t=1.32) \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

式中:

$s_{L,i}$ ——在第 i 个间隔,标准线纹尺测量值的标准偏差;

$\overline{L_i}$ ——在第 i 个间隔,标准线纹尺测量值的平均值。

表 A.5 对角线测量系统的测量不确定度的计算

分量 X_p	分布类型	估算值 x_p	符号	计算公式 相对标准不确定度 $u(x_p)$	灵敏系数 c_i	相对不确定度贡献				
						$L_{RS,1}$ (0.05 mm)	$L_{RS,2}$ (0.10 mm)	$L_{RS,3}$ (0.20 mm)	$L_{RS,4}$ (0.30 mm)	$L_{RS,5}$ (0.40 mm)
标准线纹尺	正态	$L_{RS,i}$	u_{LRS}	$u_{LRS,i} = \frac{u_{LRS}/2}{L_{RS,i}}$	1	1.00×10^{-3}	0.50×10^{-3}	0.25×10^{-3}	0.17×10^{-3}	0.13×10^{-3}
测量系统分辨力(2倍)	矩形	0.000 35 mm	u_{ms}	$u_{ms,i} = \frac{\delta_{ms}/2\sqrt{3}}{L_{RS,i}}$	1	2.28×10^{-3}	1.14×10^{-3}	0.57×10^{-3}	0.38×10^{-3}	0.28×10^{-3}
测量系统准确性	正态	$L_{RS,i}$	u_{LHTM}	$u_{LHTM,i} = \frac{s_{L,i}}{L_i} \times \frac{t}{\sqrt{n}}$ ($n=3, t=1.32$)	1	0.88×10^{-3}	0.76×10^{-3}	0.44×10^{-3}	0.59×10^{-3}	0.19×10^{-3}
相对合成测量不确定度 $u_{L,i}/\%$						0.349	0.185	0.095	0.081	0.046
相对扩展测量不确定度 $U_{L,i}(k=2)/\%$						0.697	0.370	0.190	0.163	0.093

在表 A.6 中,第 i 个测量间隔的测量系统最大允许误差(包含标准线纹尺的不确定度) $\Delta L_{\max,i}$ 按照公式(A.12)计算:

$$\Delta L_{\max,i} = \max |\Delta L_{\text{rel},i}| + U_{L,i} \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

式中, $\max |\Delta L_{\text{rel},i}|$ 是标准线纹尺相对偏差 $\Delta L_{\text{rel},i}$ 绝对值的最大值,见表 A.4。

表 A.6 包含标准线纹尺不确定度的测量装置最大相对误差的计算

序号	标准线纹尺间隔 (i) $L_{RS,i}$	测量系统的最大相对 误差 $\max \Delta L_{\text{rel},i} $	扩展不确定度 $U_{L,i}$	包含标准线纹尺不确定 度的最大相对误差 $\Delta L_{\max,i}$	最大允许相对误差 规定值(见 5.4)
1	0.05 mm	0.20%	0.70%	0.90%	1.2%

表 A.6 包含标准线纹尺不确定度的测量装置最大相对误差的计算（续）

序号	标准线纹尺间隔 (<i>i</i>) $L_{RS,i}$	测量系统的最大相对 误差 $\max \Delta L_{rel,i} $	扩展不确定度 $U_{L,i}$	包含标准线纹尺不确定 度的最大相对误差 $\Delta L_{max,i}$	最大允许相对误差 规定值(见 5.4)
2	0.10 mm	0.20%	0.37%	0.57%	1.0%
3	0.20 mm	0.05%	0.19%	0.24%	1.0%
4	0.30 mm	0.10%	0.16%	0.26%	1.0%
5	0.40 mm	0.07%	0.09%	0.17%	1.0%

此例结果表明,包含标准测微计不确定度的测量系统相对误差符合 5.4 的规定。

A.2.3 压头的检测

压头包括压针和压头柄,不能通过在现场进行分别检测(见 5.3),压头的几何偏差可由认可的校准实验室出具的有效检验证书予以证明。

A.2.4 试验循环时间的检测

在测量过程中,当用通常的时间测量装置(秒表)测量时,给出的测量不确定度为 0.1s。因此,不需要评价测量不确定度。

A.3 硬度计的间接检验

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

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

间接检验时硬度计的测量不确定度按公式(A.13)计算:

$$u_{ITM} = \sqrt{u_{CRM}^2 + u_{CRM-D}^2 + u_{II}^2 + 2 \times u_{ms}^2} \dots\dots\dots (A.13)$$

式中:

- u_{CRM} ——标准证书给出的标准硬度块的标准不确定度($k=1$);
- u_{CRM-D} ——标准硬度块自最近一次标定后,其硬度值随时间漂移引入的标准不确定度(当使用满足标准要求的标准块检测时,此分量可忽略不计);
- u_{II} ——由硬度计测量结果引入的标准不确定度;
- u_{ms} ——由硬度计压痕测量装置分辨力引入的标准不确定度。

示例:

计算结果见表 A.7,具体计算过程如下:

- 标准硬度块的硬度值: $H_{CRM}=400.0\text{ HV }30$
- 标准硬度块的扩展测量不确定度: $U_{CRM}=5.0\text{ HV}30\text{ }k=2$
- 硬度计测量系统的分辨力: $\delta_{ms}=0.000\text{ }35\text{ mm}$

按照公式(A.14)计算:

$$\delta_{ms} = \sqrt{\delta_{IR}^2 + \delta_{IR}^2} \dots\dots\dots (A.14)$$

式中:

- δ_{IR} ——显微物镜的光学分辨力(0.000 34 mm)(见 A.2.2 中的示例);
- δ_{IR} ——测量系统显示装置的分辨力(0.000 1 mm);
- u_{ms} ——对角线测量系统(矩形分布)引入的测量标准不确定度分量($\frac{0.000\text{ }35}{2\sqrt{3}}=0.000\text{ }102\text{ mm}$)。

表 A.7 间接检验的结果

次序	压痕的测量值 d mm	计算的硬度值 H HV30 ^a
1	0,371 6(最小)	402,9(最大)
2	0,372 4	401,1
3	0,372 8(最大)	400,3(最小)
4	0,371 9	402,2
5	0,372 2	401,5
平均值 $\overline{H}$	0,372 2	401,6
标准偏差 s_H		0,99

^a HV：维氏硬度。

硬度计间接测量的不确定度 u_{HTM} 按照公式(A.13)计算,如表 A.8 所示。
硬度测量系统误差按照公式(A.15)计算：

$$b = \overline{H} - H_{\text{CRM}} \dots\dots\dots (\text{A.15})$$

$b = 401,6 - 400,0 = 1,6 \text{ HV30}$

当使用标准硬度块 CRM,硬度计的标准不确定度按照公式(A.16)计算：

$$u_{\text{HCM}} = \frac{t - s_H}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (\text{A.16})$$

当 $t = 1,14, n = 5, s_H = 0,99 \text{ HV30}$
 $u_{\text{HCM}} = 0,51 \text{ HV30}$ 。

A.4 测量不确定度的评定

每个分量对合成不确定度的贡献见表 A.8,包含测量不确定度的硬度计最大相对误差见表 A.9。

表 A.8 测量不确定度的评定

分量 X_p	估算值 x_p	标准测量不确定度 $u(x_p)$	分布类型	灵敏系数 c_p	不确定度的贡献 $u_p(H)$ HV30
u_{CRM}	400HV ^b	2,50 HV30	正态	1,0	2,50
u_{HCM}	0 HV	0,51 HV30	正态	1,0	0,51
u_{res}	0 mm	0,000 102 mm	矩形	-2 145,1 ^a	-0,22
$u_{\text{CRM-ID}}$	0 HV	0 HV30	三角	1,0	0
合成测量不确定度： u_{HTM}					2,57
扩展测量不确定度： $U_{\text{HTM}}(k = 2)$					5,14

^a 灵敏系数 $c = \frac{\partial H}{\partial d} = -2(\frac{H}{d}) H = 400 \text{ HV30} \quad d \approx 0,372 \text{ 9 mm}$ 。
^b HV：维氏硬度。

包含测量不确定度的硬度计的最大误差按照公式(A.17)计算,结果见表 A.9。

$$\Delta H_{\text{HTMmax}} = U_{\text{HTM}} + |b| = 5.1 \text{ HV30} + 1.6 \text{ HV30} = 6.8 \text{ HV30} \dots\dots\dots (\text{A.17})$$

表 A.9 包括测量不确定度的硬度计的最大误差

硬度计测量的硬度平均值 $\overline{H}$	测量扩展不确定度 U_{HTM}	用标准硬度块校准时硬度计的误差 $ b $	包括测量不确定度的硬度计的最大误差 ΔH_{HTMmax}
401.6 HV 30	5.14 HV 30	1.62 HV 30	6.76 HV 30

包含测量不确定度的硬度计的相对误差按照公式(A.18)计算：

$$\frac{\Delta H_{\text{HTMmax}}}{\overline{H}} = \frac{6.8}{401.6} = 1.7\% \dots\dots\dots (\text{A.18})$$

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
金属材料 维氏硬度试验
第2部分：硬度计的检验与校准
GB/T 4340.2—2025

*

2025年3月第1版

*

书号：155066·1-78984



GB/T 4340.2-2025