

北京市地方计量技术规范

JJF (京) XXXX—XXXX

烟草专用标准棒/块校准规范

Calibration Specification for Cigarette Standard Rod/Block

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

北京市市场监督管理局 发布

烟草专用标准棒/块
校准规范

Calibration Specification for

JJF(京) xx-xxxx

归口单位：北京市市场监督管理局

起草单位：北京市计量检测科学研究院

本规范委托XXX负责解释

目 录

引 言.....	II
1. 范围.....	3
2. 引用文件.....	3
3. 概述.....	3
4. 计量特性.....	3
4.1. 长度标准棒.....	4
4.2. 圆周标准棒.....	4
4.3. 硬度标准棒.....	4
4.4. 硬度标准块.....	4
5. 校准条件.....	5
5.1. 环境条件.....	5
5.2. 校准用的标准器及其他设备.....	5
6. 校准项目和校准方法.....	6
6.1. 测量面的表面粗糙度.....	6
6.2. 长度尺寸和尺寸变动量.....	6
6.3. 标准棒的直径尺寸和直径变动量.....	7
6.4. 硬度标准块测量面的平面度.....	7
6.5. 硬度标准块的厚度值.....	8
7. 校准结果.....	8
8. 复校时间间隔.....	8
附录 A.....	9
附录 B.....	13
附录 C.....	17

引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1094-2002《测量仪器的特性评定》共同构成本校准规范制定工作的基础性系列规范。

本技术规范是首次制订。

烟草专用标准棒/块校准规范

1. 范围

本规范适用于烟草专用标准棒/块的校准，该标准棒/块为检定卷烟和滤棒物理性能综合测试台、卷烟/滤棒圆周仪、全压法卷烟硬度仪的专用标准器。

其它标准棒/块可参照此规范进行校准。

2. 引用文件

本校准规范引用了下列文件：

JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》

JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》

JJF 1001-2011 《通用计量术语及定义》

JJF 1094-2002 《测量仪器的特性评定》

3. 概述

长度标准棒是用于检定卷烟和滤棒物理性能综合测试台长度测量单元的圆柱形金属标准器。其结构如图 1 所示。

圆周标准棒是用于检定卷烟和滤棒物理性能综合测试台圆周测量单元、卷烟/滤棒圆周仪的圆柱形金属标准器。其结构如图 2 所示。

硬度标准棒/块是用于检定卷烟和滤棒物理性能综合测试台硬度测量单元的圆柱形或长方体形的金属标准器。其结构如图 3 所示。

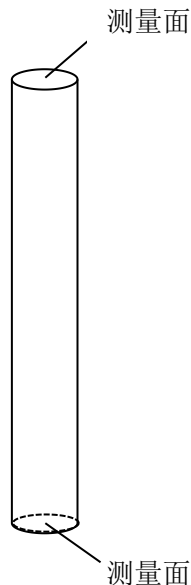


图 1 长度标准棒

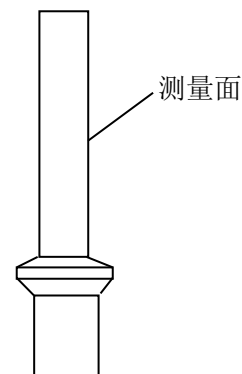


图 2 圆周标准棒

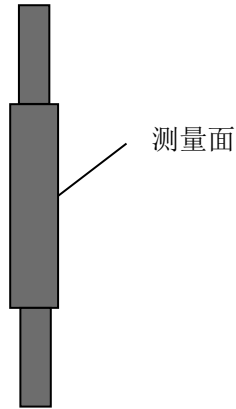


图3 硬度标准棒

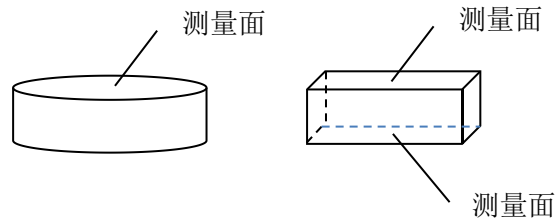


图4 硬度标准块

4. 计量特性

4.1. 长度标准棒

- 4.1.1 测量面的表面粗糙度不超过 $0.4\mu\text{m}$ 。
- 4.1.2 长度尺寸的最大允许误差 $\pm 0.005\text{mm}$ 。
- 4.1.3 长度尺寸变动量不超过 0.005mm 。

4.2. 圆周标准棒

- 4.2.1 测量面的表面粗糙度不超过 $0.4\mu\text{m}$ 。
- 4.2.2 直径尺寸最大允许误差 $\pm 0.003\text{mm}$ 。
- 4.2.3 直径变动量 0.003mm 。

4.3. 硬度标准棒

- 4.3.1 测量面的表面粗糙度不超过 $0.4\mu\text{m}$ 。
- 4.3.2 直径尺寸最大允许误差 $\pm 0.005\text{mm}$ 。
- 4.3.3 直径变动量 0.003mm 。

4.4. 硬度标准块

- 4.4.1 测量面的表面粗糙度不超过 $0.4\mu\text{m}$ 。
- 4.4.2 厚度尺寸最大允许误差 $\pm 0.005\text{mm}$ 。
- 4.4.3 测量面平面度不超过 $\pm 0.002\text{mm}$ 。

注：以上技术指标仅供参考，不做合格性判定。

5. 校准条件

5.1. 环境条件

温度： (20 ± 2) °C。

湿度： $\leq 80\%RH$

测量前，将被校标准棒/块置于室内平衡温度的时间不小于 2h。

5.2. 校准用的标准器及其他设备

推荐使用表 1 所列校准用的标准器及其他设备，允许使用满足不确定度要求的其他测量标准及其他设备进行校准。

表 1 校准用标准器及其他设备

序号	校准项目	标准器和其他设备
1	测量面的表面粗糙度	表面粗糙度比较样块，MPE：+12%~-17% 或表面粗糙度测量仪：MPE：±10%
2	长度标准棒长度尺寸	测长机，MPE：± $(1\mu\text{m}+5\times 10^{-6}L)$ 或 5 等量块，立式光学计：MPE：±0.25 μm
3	长度标准棒长度尺寸 变动量	测长机，MPE：± $(1\mu\text{m}+5\times 10^{-6}L)$ 或 5 等量块，立式光学计：MPE：±0.25 μm
4	圆周标准棒直径、硬度 标准棒直径	测长机，MPE：± $(1\mu\text{m}+5\times 10^{-6}L)$ 或 5 等量块，立式光学计：MPE：±0.25 μm
5	圆周标准棒直径变动 量、硬度标准棒直径变 动量	测长机，MPE：± $(1\mu\text{m}+5\times 10^{-6}L)$ 或 5 等量块，立式光学计：MPE：±0.25 μm
6	硬度标准块厚度	立式测长仪：MPE：± $(1\mu\text{m}+5\times 10^{-6}L)$ 或 5 等量块，立式光学计：MPE：±0.25 μm
7	硬度标准块测量面平 面度	刀口形直尺，MPE：1.0 μm
注：允许使用满足测量不确定要求的其他设备进行测量。		

6. 校准项目和校准方法

检查外观，确定标准棒/块没有影响校准结果的因素后再进行校准。

6.1. 测量面的表面粗糙度

用表面粗糙度比较样块（以下简称样块）进行比较测量。测量时，所用样块和被校测量面的加工方法应该相同，样块的材料、形状、表面色泽等也应尽可能与被校测量面一致。当校检测量面的加工痕迹深浅不超过样块工作面加工痕迹的深度时，则标准棒/块测量面的表面粗糙度一般不超过表面粗糙度比较样块的标称值。

对工作面的表面粗糙度有争议时应以表面粗糙度仪的测量结果为准。

6.2. 长度尺寸和尺寸变动量

长度标准棒的长度尺寸和长度尺寸变动量采用测长机直接测量，或者在测长机或光学计上采用量块进行比较测量。测量时应选用球面测帽，测量位置如图 5 所示，测量出长度标准棒两测量面对应的 5 个位置的长度尺寸测量结果，取 5 个位置测得值的平均值为长度标准棒的长度值。

按下式计算长度标准棒每个测量位置的长度尺寸：

$$L_i = A_i - A_0 \quad (1)$$

式中：

L_i — i 位置的长度尺寸；

A_i —在 i 位置测长机终点读数；

A_0 —在 i 位置测长机起点读数。

5 个位置长度尺寸测量结果中的最大值减去最小值为该长度标准棒的长度尺寸变动量。

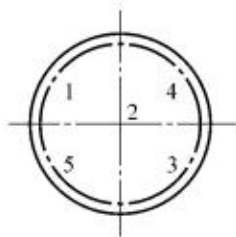


图 5 校准长度标准棒长度尺寸及变动量示意图

6.3. 标准棒的直径尺寸和直径变动量

圆周标准棒、硬度标准棒的直径尺寸和直径变动量采用测长机直接测量，或者在测长机或光学计上采用量块进行比较测量。测量时应选用刀口形测帽，测量位置如图 6 所示，圆周标准棒、硬度标准棒测量部位的中间和两端三个截面的两个方向上分别测量标准棒的直径尺寸，取 6 个直径尺寸的平均值为该标准棒的直径值。

按下式计算标准棒每个方向的直径值：

$$d_i = A_i - A_0 \quad (2)$$

式中：

d_i — i 方向的直径值；

A_i —在 i 位置测长机终点读数；

A_0 —在 i 位置测长机起点读数。

6 个直径测得值中的最大值减去最小值为直径尺寸的变动量。

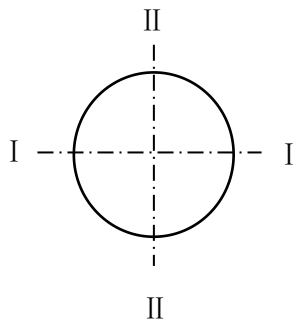


图 6 校准标准棒直径偏差及变动量示意图

6.4. 硬度标准块测量面的平面度

硬度标准块测量面的平面度用刀口形直尺以标准光隙法进行校准，校准时刀口形直尺的安置方向，对矩形测量面如图 9 (a) 所示，对于圆形测量面如图 9 (b) 所示。当所有测量方位上出现的间隙均在中间部位或两端部位时，取其中一方位间隙量最大的值作为测量结果；当有的方位中间有间隙，而有的方位两端部位有间隙时，则取中间和两端最大间隙量之和作为测量结果。

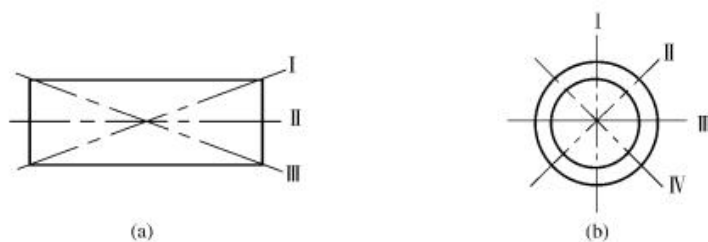


图7 校准硬度标准块测量面平面度示意图

6.5. 硬度标准块的厚度值

硬度标准块的厚度值在立式测长仪上直接测量,或者在立式测长仪或光学计上采用量块进行比较测量。测量时应选用球形测帽,头对准硬度块中心,分别测量出硬度标准块两测量面中心的厚度值,两个测量面厚度值的平均值为该硬度块的厚度值。

按下式计算厚度块的每面厚度值:

$$H_i = H_{ii} - H_0 \quad (3)$$

式中:

H_i —标准块的厚度值;

H_{ii} —第 i 面光学计的读数;

H_0 —量块的标称值。

7. 校准结果

经校准后的烟草专用标准棒/块,应出具准证书,校准证书应符合 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》中 5.12 的要求,并应给出各校准项目的测量结果。

当用户要求时,可以根据用户提供的计量特性最大允许误差进行符合性判定,并将结论列入校准证书。

8. 复校时间间隔

根据被校烟草专用标准棒/块的使用情况自行确定复校时间间隔,建议一般为 1 年。

附录 A

长度尺寸测量结果不确定度评定示例

A.1 被测对象

标称值为 100mm 的烟草专用长度标准棒,长度尺寸偏差不超过 $\pm 0.005\text{mm}$ 。

环境条件: $(20\pm 2)\text{ }^\circ\text{C}$, 相对湿度不大于 80%, 平衡温度不小于 2h。

标准器: 精密测长机, 测量范围 $(0\sim 500)\text{ mm}$, MPE: $\pm (0.2\mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6}L)$

校准方法: 依据本校准规范 6.2 中的规定

A.2 数学模型

$$l = A - A_0 = L \quad (\text{A.1})$$

式中:

l —长度标准棒的长度尺寸;

A —测长机终点读数;

A_0 —测长机起点读数。

L —测长机移动距离

A.3 方差及灵敏系数

输出量的合成方差为

$$u_c^2(l) = c^2 u^2(L) \quad (\text{A.2})$$

其中:

$$c = \frac{\partial(l)}{\partial(L)} = 1$$

表 A.1 测量不确定度来源及说明

序号	不确定度来源	说明
1	测长机示值误差	测长机存在示值误差
2	测长机分辨力	测长机为数显式仪器, 分辨力为 $0.1\mu\text{m}$
	重复性	/
3	温度	实验室温度对 20°C 会有偏离, 光栅尺和长度标准棒之间存

		在线膨胀系数差
--	--	---------

A.4 不确定度分量的评定

A.4.1 由测长机示值误差引入的标准不确定度分量 u_1

测长机的最大允许误差为: MPE: $\pm (0.2\mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6}L)$, 符合均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 被测长度标准棒长度为 100mm 计算, 则

$$u_1 = \frac{0.2\mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^3}{\sqrt{3}} = 0.144\mu\text{m} \quad (\text{A.3})$$

A.4.2 由仪器分辨力/重复性引入的标准不确定度分量 u_2

仪器的分辨力为 $0.1\mu\text{m}$, 区间半宽度为 $0.05\mu\text{m}$, 符合均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则由分辨力引入的标准不确定度分量为:

$$u_{21} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03\mu\text{m} \quad (\text{A.4})$$

按本规范中规定的示值误差的校准方法, 在各种测量条件均不变的情况下, 在短时间内, 对标称值为 100mm 长度标准棒进行重复测量 10 次, 测量结果为 100.0018mm、100.0018mm、100.0016mm、100.0017mm、100.0016mm、100.0015mm、100.0015mm、100.0016mm、100.0016mm、100.0016mm。

$$\bar{L}_{22} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i = 100.00163 \text{ mm} \quad (\text{A.5})$$

用单次测量的实验标准差表示的单次测量结果的标准不确定度:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (L_{2i} - \bar{L}_{22})^2}{n-1}} = 0.11\mu\text{m} \quad (\text{A.6})$$

重复五次测量的标准不确定度 u_{22}

$$u_{22} = \frac{s}{\sqrt{5}} = \frac{0.11}{\sqrt{5}} = 0.05\mu\text{m} \quad (\text{A.7})$$

分辨力引入的不确定度分量 u_{21} 和重复性引入的不确定度分量 u_{22} , 取结果较大者, 则:

$$u_2 = u_{22} = 0.05\mu\text{m} \quad (\text{A.8})$$

A.4.3 温度差引入的不确定度 u_3

测量前, 标准棒已经放置在测长机上充分等温 (两者温差忽略不计), 所以此处只考虑温度偏离 20°C 时, 测长机与标准棒线胀系数差的影响, 实际测量过程中, 实验室的温度控制在 $(20.0 \pm 2.0)^{\circ}\text{C}$ 范围内, 已知测长机的线胀系数为 $\alpha_{\text{机}} = (8 \pm 1) \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$, 标准棒的线膨胀系数为 $\alpha_{\text{棒}} = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$, 则两者最大差值可能为 $5.5 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$, 近似三角分布, $k = \sqrt{6}$, 则当 $L = 100 \text{mm}$ 时, 由温度带来的极限误差为:

$$\begin{aligned} e_{\text{温度}} &= L \times \Delta t \times \alpha_{\text{棒}} - L \times \Delta t \times \alpha_{\text{机}} = L \times \Delta t \times (\alpha_{\text{棒}} - \alpha_{\text{机}}) \\ &= 100 \times 10^3 \times 2 \times 5.5 \times 10^{-6} = 1.10 \mu\text{m} \end{aligned} \quad (\text{A.9})$$

则由温度引入标准不确定度分量为:

$$u_3 = \frac{1.10}{\sqrt{6}} = 0.45 \mu\text{m}, \quad (\text{A.10})$$

A.5 不确定度分量汇总表

表 A.2 标准不确定度汇总表

序号	不确定度的来源	标准不确定度分量代号 u_i	分布类型	影响量	对测量结果影像的变化限 / μm	包含因子 k_i	标准不确定度分量 $u_i / \mu\text{m}$
1	测长机示值误差	u_1	均匀	$\pm (0.2 \mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6} L)$	0.249	$\sqrt{3}$	0.144
2	分辨率/重复性	u_2	—	$0.05 \mu\text{m}$	—	—	0.05
	分辨率	u_{21}	均匀	$0.1 \mu\text{m}$	0.03	$\sqrt{3}$	0.03
	重复性	u_{22}	—	$0.05 \mu\text{m}$	—	—	0.05
3	温度	u_3	三角	$L \times \Delta t \times 5.5 \times 10^{-6}$	1.1	$\sqrt{6}$	0.45
合成标准不确定度 u_c							0.48
扩展不确定度 $U (k=2)$							1.0

A.6 计算合成标准不确定度

当上述各输入量相互独立时, 合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.48\mu\text{m} \quad (\text{A.11})$$

A.7 扩展不确定度

扩展不确定度由合成标准不确定度 u_c 乘包含因子 k 得到, 取包含因子 $k = 2$

$$U = ku_c = 2 \times 0.48 = 1.0\mu\text{m} = 0.001\text{mm}, \quad k = 2 \quad (\text{A.12})$$

A.8 不确定度报告结果

根据上述分析, 本次校准的测量结果不确定度满足要求。其它测量尺寸的分析类同。

附录 B

直径尺寸测量结果不确定度评定示例

A.1 被测对象

标称值为 7mm 的烟草专用圆周标准棒，直径尺寸偏差不超过 $\pm 0.003\text{mm}$ 。

环境条件： $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 80%，平衡温度不小于 2h。

标准器：精密测长机，测量范围 $(0 \sim 500)\text{mm}$ ，MPE： $\pm(0.2\mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6}L)$

校准方法：依据本校准规范 6.3 中的规定

A.2 数学模型

$$d = A - A_0 = L \quad (\text{A.13})$$

式中：

d —圆周标准棒的直径尺寸；

A —测长机终点读数；

A_0 —测长机起点读数。

L —测长机移动距离

A.3 方差及灵敏系数

输出量的合成方差为

$$u_c^2(d) = c^2 u^2(L) \quad (\text{A.14})$$

其中：

$$c = \frac{\partial(d)}{\partial(L)} = 1$$

表 A.3 测量不确定度来源及说明

序号	不确定度来源	说明
1	测长机示值误差	测长机存在示值误差
2	测长机分辨力	测长机为数显式仪器，分辨力为 $0.1\mu\text{m}$
	重复性	/
3	温度	实验室温度对 20°C 会有偏离，光栅尺和圆周标准棒之间存在膨胀系数差

A.4 不确定度分量的评定

A.4.1 由测长机示值误差引入的标准不确定度分量 u_1

测长机的最大允许误差为：MPE：±(0.2μm+0.5×10⁻⁶L)，符合均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，被测长度标准棒长度为 7mm 计算，则

$$u_1 = \frac{0.2\mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6} \times 7 \times 10^3}{\sqrt{3}} = 0.117\mu\text{m} \quad (\text{A.15})$$

A.4.2 由仪器分辨力/重复性引入的标准不确定度分量 u_2

仪器的分辨力为 0.1μm，区间半宽度为 0.05μm，符合均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则由分辨力引入的标准不确定度分量为：

$$u_{21} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03\mu\text{m} \quad (\text{A.16})$$

按本规范中规定的示值误差的校准方法，在各种测量条件均不变的情况下，在短时间内，对标称值为 7mm 长度标准棒进行重复测量 10 次，测量结果为 7.0022mm、7.0020mm、7.0022mm、7.0020mm、7.0023mm、7.0022mm、7.0020mm、7.0020mm、7.0022mm、7.0020mm。

$$\bar{d}_{22} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i = 7.00211 \text{ mm} \quad (\text{A.17})$$

用单次测量的实验标准差表示的单次测量结果的标准不确定度：

$$s = \sqrt{\frac{\sum (d_{2i} - \bar{d}_{22})^2}{n-1}} = 0.12 \mu\text{m} \quad (\text{A.18})$$

重复六次测量的标准不确定度 u_{22}

$$u_{22} = \frac{s}{\sqrt{6}} = \frac{0.12}{\sqrt{6}} = 0.05 \mu\text{m} \quad (\text{A.19})$$

分辨力引入的不确定度分量 u_{21} 和重复性引入的不确定度分量 u_{22} ，取结果较大者，则：

$$u_2 = u_{22} = 0.05\mu\text{m} \quad (\text{A.20})$$

A.4.3 温度差引入的不确定度 u_3

测量前，标准棒已经放置在测长机上充分等温（两者温差忽略不计），所以此处只考虑温度偏离 20°C 时，测长机与标准棒线胀系数差的影响，实际测量过程中，实验室的温度控制在 $(20.0 \pm 2.0)^\circ\text{C}$ 范围内，已知测长机的线胀系数为 $\alpha_{\text{机}} = (8 \pm 1) \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，坐标测量球的线膨胀系数为 $\alpha_{\text{棒}} = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，则两者最大差值可能为 $5.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，近似三角分布， $k = \sqrt{6}$ ，则当 $L = 7\text{mm}$ 时，由温度带来的极限误差为：

$$\begin{aligned} e_{\text{温度}} &= L \times \Delta t \times \alpha_{\text{棒}} - L \times \Delta t \times \alpha_{\text{机}} = L \times \Delta t \times (\alpha_{\text{棒}} - \alpha_{\text{机}}) \\ &= 7 \times 10^3 \times 2 \times 5.5 \times 10^{-6} = 0.077\mu\text{m} \end{aligned} \quad (\text{A.21})$$

则由温度引入标准不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{0.077}{\sqrt{6}} = 0.03\mu\text{m} \quad (\text{A.22})$$

A.5 不确定度分量汇总表

表 A.4 标准不确定度汇总表

序号	不确定度的来源	标准不确定度分量代号 u_i	分布类型	影响量	对测量结果影像的变化限 / μm	包含因子 k_i	标准不确定度分量 $u_i / \mu\text{m}$
1	测长机示值误差	u_1	均匀	$\pm (0.2\mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6}L)$	0.117	$\sqrt{3}$	0.117
2	分辨力/重复性	u_2	—	$0.05\mu\text{m}$	—	—	0.05
	分辨力	u_{21}	均匀	$0.1\mu\text{m}$	0.03	$\sqrt{3}$	0.03
	重复性	u_{22}	—	$0.05\mu\text{m}$	—	—	0.05
3	温度	u_3	三角	$L \times \Delta t \times 5.5 \times 10^{-6}$	1.1	$\sqrt{6}$	0.03
合成标准不确定度 u_c							0.13
扩展不确定度 $U (k=2)$							0.30

A.6 计算合成标准不确定度

当上述各输入量相互独立时，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.13\mu\text{m} \quad (\text{A. 23})$$

A.7 扩展不确定度

扩展不确定度由合成标准不确定度 u_c 乘包含因子 k 得到，取包含因子 $k=2$

$$U = ku_c = 2 \times 0.13 = 0.26\mu\text{m} = 0.00026\text{mm}, \quad k=2 \quad (\text{A. 24})$$

A.8 不确定度报告结果

根据上述分析，本次校准的测量结果不确定度满足要求。其它测量尺寸的分析类同。

附录 C

厚度尺寸测量结果不确定度评定示例

A.1 被测对象

标称值为 9mm 的烟草专用硬度标准块，厚度尺寸偏差不超过 $\pm 0.005\text{mm}$ 。

环境条件： $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 80%，平衡温度不小于 2h。

标准器：立式测长仪，测量范围 $(0 \sim 200)\text{mm}$ ，MPE： $\pm (1\mu\text{m} + 5 \times 10^{-6}L)$

校准方法：依据本校准规范 6.3 中的规定

A.2 数学模型

$$H = H_i - H_0 = L \quad (\text{A.25})$$

式中：

H —硬度标准块的厚度尺寸；

H_i —测长仪终点读数；

H_0 —测长仪起点读数。

L —测长仪移动距离

A.3 方差及灵敏系数

输出量的合成方差为

$$u_c^2(H) = c^2 u^2(L) \quad (\text{A.26})$$

其中：

$$c = \frac{\partial(H)}{\partial(L)} = 1$$

表 A.5 测量不确定度来源及说明

序号	不确定度来源	说明
1	测长仪示值误差	测长仪存在示值误差
2	测长仪分辨力	测长仪为分辨力为 $0.1\mu\text{m}$
	重复性	/
3	温度	实验室温度对 20°C 会有偏离，光栅尺和硬度标准块之间存在膨胀系数差

A.4 不确定度分量的评定

A.4.1 由测长仪示值误差引入的标准不确定度分量 u_1

测长仪的最大允许误差为：MPE： $\pm (1\mu\text{m}+5\times 10^{-6}L)$ ，符合均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，被测硬度标准块长度为 9mm 计算，则

$$u_1 = \frac{1\mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^3}{\sqrt{3}} = 0.603\mu\text{m} \quad (\text{A.27})$$

A.4.2 由仪器分辨力/重复性引入的标准不确定度分量 u_2

仪器的分辨力为 $0.1\mu\text{m}$ ，区间半宽度为 $0.05\mu\text{m}$ ，符合均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则由分辨力引入的标准不确定度分量为：

$$u_{21} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03\mu\text{m} \quad (\text{A.28})$$

按本规范中规定的示值误差的校准方法，在各种测量条件均不变的情况下，在短时间内，对标称值为 9mm 长度标准棒进行重复测量 10 次，测量结果为 9.0015 mm、9.0016 mm、9.0018 mm、9.0018 mm、9.0017 mm、9.0019 mm、9.0017mm、9.0016 mm、9.0017 mm、9.0018 mm。

$$\bar{d}_{22} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i = 9.00171\text{mm} \quad (\text{A.29})$$

用单次测量的实验标准差表示的单次测量结果的标准不确定度：

$$s = \sqrt{\frac{\sum (d_{2i} - \bar{d}_{22})^2}{n-1}} = 0.12\mu\text{m} \quad (\text{A.30})$$

重复两次测量的标准不确定度 u_{22}

$$u_{22} = \frac{s}{\sqrt{2}} = \frac{0.12}{\sqrt{2}} = 0.08\mu\text{m} \quad (\text{A.31})$$

分辨力引入的不确定度分量 u_{21} 和重复性引入的不确定度分量 u_{22} ，取结果较大者，则：

$$u_2 = u_{22} = 0.08\mu\text{m} \quad (\text{A.32})$$

A.4.3 温度差引入的不确定度 u_3

测量前，硬度标准块已经放置在测长机上充分等温（两者温差忽略不计），所以此处只考虑温度偏离 20°C 时，测长机与标准块线胀系数差的影响，实际测量过程中，实验室的温度控制在 $(20.0 \pm 2.0)^\circ\text{C}$ 范围内，已知测长机的线胀系数为 $\alpha_{\text{机}} = (8 \pm 1) \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ ，标准块的线膨胀系数为 $\alpha_{\text{棒}} = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ ，则两者最大差值可能为 $5.5 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ ，近似三角分布， $k = \sqrt{6}$ ，则当 $L = 9 \text{mm}$ 时，由温度带来的极限误差为：

$$\begin{aligned} e_{\text{温度}} &= L \times \Delta t \times \alpha_{\text{棒}} - L \times \Delta t \times \alpha_{\text{机}} = L \times \Delta t \times (\alpha_{\text{棒}} - \alpha_{\text{机}}) \\ &= 9 \times 10^3 \times 2 \times 5.5 \times 10^{-6} = 0.099 \mu\text{m} \end{aligned} \quad (\text{A.33})$$

则由温度引入标准不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{0.099}{\sqrt{6}} = 0.04 \mu\text{m} \quad (\text{A.34})$$

A.5 不确定度分量汇总表

表 A.6 标准不确定度汇总表

序号	不确定度的来源	标准不确定度分量代号 u_i	分布类型	影响量	对测量结果影像的变化限 / μm	包含因子 k_i	标准不确定度分量 $u_i / \mu\text{m}$
1	测长仪示值误差	u_1	均匀	$\pm(1 \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L)$	0.603	$\sqrt{3}$	0.603
2	分辨力/重复性	u_2	—	$0.05 \mu\text{m}$	—	—	0.08
	分辨力	u_{21}	均匀	$0.1 \mu\text{m}$	0.03	$\sqrt{3}$	0.03
	重复性	u_{22}	—	$0.08 \mu\text{m}$	—	—	0.08
3	温度	u_3	三角	$L \times \Delta t \times 5.5 \times 10^{-6}$	1.1	$\sqrt{6}$	0.04
合成标准不确定度 u_c							0.60
扩展不确定度 $U (k=2)$							1.2

A.6 计算合成标准不确定度

当上述各输入量相互独立时，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.60\mu\text{m} \quad (\text{A. 35})$$

A.7 扩展不确定度

扩展不确定度由合成标准不确定度 u_c 乘包含因子 k 得到，取包含因子 $k=2$

$$U = ku_c = 2 \times 0.60 = 1.2\mu\text{m} = 0.0012\text{mm}, \quad k=2 \quad (\text{A. 36})$$

A.8 不确定度报告结果

根据上述分析，本次校准的测量结果不确定度满足要求。其它测量尺寸的分析类同。