

示值误差校准结果的测量不确定度评定示例

A.1 测量方法

在线激光测厚仪的示值误差使用标准厚度块进行校准, 根据实际测量应用范围和条件的不同, 设定好相关的测量程序, 按 6.1 的方法进行校准。本次评定以分辨力 $0.01\mu\text{m}$ 的在线激光测厚仪测量 $200\mu\text{m}$ 的标准厚度块为例。

A.2 测量模型

$$\delta = \bar{h} - H \quad (\text{A.1})$$

式中:

δ —仪器的示值误差, μm ;

\bar{h} —仪器示值平均值, μm ;

H —标准厚度块的实际值, μm 。

A.3 合成标准不确定度计算公式

由式 A.1, 得

$$\text{灵敏系数 } c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial \bar{h}} = 1$$

$$\text{灵敏系数 } c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial H} = -1$$

u_1 、 u_2 分别表示 \bar{h} 和 H 引入的标准不确定度, 因 \bar{h} 和 H 互不相关, 则合成标准不确定度 u_c :

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (\text{A.2})$$

A.4 标准不确定度分量

A.4.1 仪器示值引入的标准不确定度分量 u_1

A.4.1.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{11}

测厚仪的测量重复性引入的不确定度分量可以通过 10 次重复连续测量得到, 测量结果为 $199.97\mu\text{m}$ 、 $199.97\mu\text{m}$ 、 $199.97\mu\text{m}$ 、 $199.97\mu\text{m}$ 、 $199.97\mu\text{m}$ 、 $199.96\mu\text{m}$ 、 $199.97\mu\text{m}$ 、 $199.97\mu\text{m}$ 、 $199.95\mu\text{m}$ 、 $199.97\mu\text{m}$, 计算单次测量实验标准偏差为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n-1}} \quad (\text{A.3})$$

实际校准时，测量次数为 10 次，则：

$$u_{11} = \frac{s}{\sqrt{10}} = 0.0021 \mu\text{m}$$

A.4.1.2 在线激光测厚仪分辨力引入的不确定度分量 u_{12}

在线激光测厚仪分辨力为 $0.01 \mu\text{m}$ ，设为均匀分布，则由测厚仪分辨力引入的标准不确定度：

$$u_{12} = \frac{0.1}{2 \times \sqrt{3}} = 0.003 \mu\text{m}$$

则由在线激光测厚仪引入的标准不确定度分量：

$$u_1 = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2} = 0.0037 \mu\text{m}$$

A.4.2 环境温度偏离 20°C 引入的不确定度分量 u_2

校准时，环境温度可控制在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，温度区间半宽 2°C ，设为均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ，装夹激光测厚仪的 C 型架通常使用大理石制作，大理石的热膨胀系数为 $6 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，该设备上激光测微仪的固定距离 L 为 30mm 。

$$u_2 = L \cdot a \cdot \Delta t = 30000 \times 6 \times 10^{-6} \times 2 / \sqrt{3} = 0.208 \mu\text{m}$$

A.4.3 标准厚度块受温度偏差引入的测量不确定度 u_3

钢制标准厚度块的热膨胀系数为 $11.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，标准厚度块中心长度为 $200 \mu\text{m}$ 。

$$u_3 = L \cdot a \cdot \Delta t = 200 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 2 / \sqrt{3} = 0.0027 \mu\text{m}$$

A.4.4 标准厚度块中心长度引入的不确定度分量 u_4

标准厚度块中心长度引入的不确定度主要来源于标准厚度块的厚度校准结果不确定度，依据校准证书 $U = 0.2 \mu\text{m}$ ， $k = 2$ 。

$$u_4 = \frac{0.2}{2} = 0.1 \mu\text{m}$$

A.5 标准不确定度一览表

表 A.1 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 u_i	标准不确定度/ μm
u_1	0.0037
u_2	0.208
u_3	0.0027
u_4	0.1

A.6 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{0.0037^2 + 0.208^2 + 0.0027^2 + 0.1^2} \approx 0.231\mu\text{m}$$

A.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.231\mu\text{m} = 0.5\mu\text{m}$$