



电感测微仪检定 装置不确定度评定

张馥生

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所)

摘 要：不确定度是测量工作的质量和测量结果可信赖程度和评价。按 JJF 1059-1999、GJB 3756-1999 标准规定，对我计量站的标准装置不确定度进行了详细分析，并按 GJB/J 2749-1996 要求对计量标准进行了重复性和稳定性考核以及不确定度的验证，最后给出了计量标准装置不确定度评定。

关键词：量块 计量标准 不确定度 重复性 稳定性 评定

1. 概述

不确定度是与测量结果相联系的，用以表征测值的分散性。不确定度用以说明基准标准、检定测试水平，作为量值溯源的依据，表面测量设备的质量。一个测量结果，只有当知道它的测量不确定度时才有意义，才表明该测量结果的可信赖程度。

为了满足科研生产的需要，确保长度类计量器具的量值统一，保证科研生产中试验与测试数据的准确可靠，特建立此项计量标准，在本单位内开展电感测微仪量值传递工作。

此项计量标准主要由二等量块（0.991mm ~ 1mm，1mm ~ 1.009mm，1mm ~ 1.5mm）组成。

(1) 测量方法

以二等量块检定电感测微仪为例，测量方法根据 JJG396-2002《电感测微仪检定规程》。采用直接测量法和量块配对法。

(2) 测量标准性能

二等量块主要技术指标

测量范围：0.991mm ~ 1mm，1mm ~ 1.009mm，1mm ~ 1.5mm。

不确定度： $(0.05 + 0.5 \times L) \mu\text{m}$

(3) 测量标准的测量器具及配套设备

测量器具

量块的测量范围：0.991mm ~ 1mm，1mm ~ 1.009mm，1mm ~ 1.5mm；允许误差极限： $0.06 \mu\text{m}$ 。

配套设备

平板测量范围：800mm × 500mm；允许误差极限： $4 \mu\text{m}$ 。

(4) 校准（检定）环境条件

温度要求： 20 ± 1 ；

实际情况：温度： 20 ± 1 。

2. 测量原理

(1) 测量标准：二等量块，小于 10mm 量块中心长度扩展不确定度为 $0.06 \mu\text{m}$ 。

(2) 被测对象：分度值为 $0.1 \mu\text{m}$ 挡位量程的示值误差的误差限为 $0.10 \mu\text{m}$ ；其他各挡位量程的示值误差 δ_i 应不超过 $\delta_i = \pm 1\% (|S_i| + l)$ 。 S_i ——受检点的标称值 μm ； l ——检定时所用的量程 μm 。

(3) 测量过程：电感测微仪示值误差是以量块为标准，采用直接法或配对法进行测量并计算获得的。

(4) 数学模型：

$$\delta_i = r_i - (L_i - L_0) \times 1000 \quad (1)$$

式中: δ_i ——各受检点的示值误差 μm ;

r_i ——电感测微仪上读得的示值 μm ;

L_i ——受检点上所用量块的实际尺寸 μm ;

L_0 ——对零用量块的实际尺寸 μm 。

3. 测量标准不确定度的评定

(1) 输入量 r_i 的标准不确定度 $u(r_i)$ 的评定

输入量 r_i 的标准不确定度来源主要是测量重复性引起的标准不确定度 $u(r_i)$, 可以通过连续测量得到测量列, 采用 A 类方法进行评定。

对一台分度值为 $0.1\mu\text{m}$ 的电感测微仪, 用配对法检 $+1\mu\text{m}$ 点。先用 1mm 量块对零, 用 1.001mm 量块检 $+1\mu\text{m}$ 点, 记录数据。用 1.001mm 量块对零, 用 1.002mm 量块检 $+1\mu\text{m}$ 点, 记录数据。用 1.002mm 量块对零, 用 1.003mm 量块检 $+1\mu\text{m}$ 点, 记录数据。然后, 将 3 次所记录数据求和, 得出 r_i 。重复上述方法, 连续测量 10 次, 测量数据见表 1:

$$\text{实验标准偏差: } S = \sqrt{\frac{\sum (r_i - \bar{r}_i)^2}{n-1}} = 0.015 \mu\text{m}$$

表 1 测量数据

序号	$r_i (\mu\text{m})$	$r_i - \bar{r}_i (\mu\text{m})$
1	2.92	0.009
2	2.90	-0.011
3	2.93	0.019
4	2.92	0.009
5	2.93	0.019
6	2.89	-0.021
7	2.91	-0.001
8	2.92	0.009
9	2.90	-0.011
10	2.89	-0.021
Σ	29.11	
\bar{r}_i	2.911	

标准不确定度 u_1 为:

$$u_1 = u(r_i) = S = 0.015 \mu\text{m}$$

(2) 输入量 L_i 的标准不确定度 $u(L_i)$ 的评定

因为二等量块 (小于 10mm) 的扩展不确定度 $U=0.06\mu\text{m}$, 包含因子 $k=3$, 所以二等量块 L_i 的标准不确定度为:

$$u_2 = u(L_i) = \frac{U}{k} = \frac{0.06}{3} \mu\text{m} = 0.02 \mu\text{m} \quad (3)$$

(3) 输入量 L_0 的标准不确定度 $u(L_0)$ 的评

定

评定方法与 (2) 相同, 其标准不确定度为:

$$u_3 = u(L_0) = \frac{U}{k} = \frac{0.06}{3} \mu\text{m} = 0.02 \mu\text{m} \quad (4)$$

(4) 灵敏系数

$$c_1 = \partial \Delta L / \partial r_i = 1/(n-1) = 0.33 \quad (n=4)$$

$$c_2 = \partial \Delta L / \partial L_i = -1/(n-1) = -0.33 \quad (n=4)$$

$$c_3 = \partial \Delta L / \partial L_0 = 1/(n-1) = 0.33 \quad (n=4)$$

4. 合成标准不确定度的评定

各分量之间彼此独立, 合成标准不确定度

为:

$$u_c^2(\delta_i) = \left[\frac{\partial \Delta L}{\partial r_i} \cdot u(r_i) \right]^2 + \left[\frac{\partial \Delta L}{\partial L_i} \cdot u(L_i) \right]^2 + \left[\frac{\partial \Delta L}{\partial L_0} \cdot u(L_0) \right]^2 \quad (5)$$

$$u_c^2 = (c_1 u_1)^2 + (c_2 u_2)^2 + (c_3 u_3)^2 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{(c_1 u_1)^2 + (c_2 u_2)^2 + (c_3 u_3)^2} \\ &= \sqrt{0.0049^2 + (-0.0066)^2 + 0.0066^2} \mu\text{m} \\ &= 0.01 \mu\text{m} \end{aligned}$$

5. 扩展不确定度的评定

取 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = k u_c = 2 \times 0.01 \mu\text{m} = 0.02 \mu\text{m}$$

6. 测量标准重复性

测量标准的重复性应小于合成标准不确定度的三分之二。

选一块 1.009mm 的量块, 对同一台电感测微仪连续测量 8 次, 测量数据见表 2。

$$\text{根据 } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} = 0.005 \quad (7)$$

表2 测量数据

序号	X_i (μm)	$X_i - \bar{X}$ (μm)
1	0.00	0.00
2	-0.01	-0.01
3	0.00	0.00
4	0.00	0.00
5	0.00	0.00
6	+0.01	+0.01
7	0.00	0.00
8	0.00	0.00
Σ	0.00	
\bar{X}	0.00	

$S < 2/3 u_c$ 标准装置重复性符合要求。

7. 测量标准稳定性

测量标准的稳定性应小于测量标准的合成标准不确定度。

选一块1.009mm的量块,对同一台电感测微仪每隔两个月测量一次,共观测四次,每次观测值取8个测量值。取 n 个观测值的算术平均值 $(\bar{X}_n)_i$ 作为一次观测结果,共观测 m 次,测量数据见表3:

表3 测量数据

序号	\bar{X}_n (μm)	$\bar{X}_n - \bar{X}_m$ (μm)
1	-0.0075	-0.0028
2	-0.0038	0.0009
3	-0.0062	-0.0015
4	-0.0012	0.0035
Σ	-0.0187	
\bar{X}_m	-0.0047	

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\bar{X}_n - \bar{X}_m)^2}{m-1}} = 0.0028 \quad (8)$$

式中: \bar{X}_n ——一次观测时 n 个测量值的算术平均值;

\bar{X}_m —— m 次观测结果的算术平均值。

$S_m < u_c$ 稳定性符合要求。

8. 结论

该电感测微仪检定装置不确定度为 $0.02 \mu\text{m}$,重复性为 $0.005 \mu\text{m}$,稳定性为 $0.0028 \mu\text{m}$ 。检定人员具有有效证书,配套设备齐全,环境条件满足要求,技术资料齐全。

符合JJG 396-2002《电感测微仪检定规程》的要求,可开展电感测微仪等检定。

参考文献:

- [1] International Organization for Standardization, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement [S]. 1993.
- [2] GJB/J 2749-1996 建立测量标准技术报告的编写要求[S]. 北京:国防科工委军标出版社发行部出版,1996.
- [3] JJF 1059-1999 测量不确定度评定与表示[S]. 北京:中国计量出版社出版,1999.
- [4] GJB 3756-1999 测量不确定度的表示与评定[S]. 北京:中国人民解放军总装备部,1999.
- [5] JJG 396-2002 电感测微仪检定规程[S]. 北京:中国计量出版社出版,2002.
- [6] JJG 146-2003 量块检定规程[S]. 北京:中国计量出版社出版,2003.
- [7] 刘智敏. 不确定度及其实践[M]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [8] 施昌彦. 现代计量学概论[M]. 北京:中国计量出版社,2003.

(本文作者通讯地址:长春市东南湖大路16号中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,邮编:130033)