

## 单位长度链码的单位长度质量测量不确定度评定（示例）

### A.1 概述

#### A.1.1 测量标准

F<sub>1</sub> 等级砝码（5 kg）、游标卡尺（0~1000） mm。

#### A.1.2 被测对象

链码（5 kg/m，6.2 m）。

#### A.1.3 测量方法

按本规范 7.2 方法，对单位长度链码的单位长度质量进行校准。

### A.2 测量模型

单位长度链码的单位长度质量测量模型

$$\lambda = \frac{m}{L} \quad (\text{A.1})$$

式中：

$\lambda$  —单位长度链码的单位长度质量，kg/m；

$m$  —单位长度链码的质量，kg；

$L$  —单位长度链码的长度，m。

#### A.2.1 灵敏度系数

$$c_1 = \frac{\partial \lambda}{\partial m} = \frac{1}{L} \quad (\text{A.2})$$

$$c_2 = \frac{\partial \lambda}{\partial L} = -\frac{m}{L^2} \quad (\text{A.3})$$

### A.3 测量不确定度来源

#### A.3.1 质量的标准不确定度 $u(m)$ ；

#### A.3.2 长度的标准不确定度 $u(L)$ 。

### A.4 测量不确定度评定

#### A.4.1 质量的标准不确定度 $u(m)$

质量的标准不确定度来源于质量测量过程、标准砝码、空气浮力和衡量仪器。

##### A.4.1.1 质量测量过程的标准不确定度 $u_w(\bar{m})$

质量测量过程的标准不确定度 $u_w(\Delta\bar{m})$ 是质量差值的标准偏差。

用同一链码，通过连续测量得到测量列，采用 A 类方法进行评定。以 5 kg

F<sub>1</sub> 等级砝码，对被测链码在重复性条件下连续测量 10 次，得到测量列为 (g)：  
0.23、0.20、0.18、0.22、0.20、0.17、0.15、0.20、0.21、0.19

算术平均值：

$$\Delta\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta m_i}{n} = 0.195 \text{ g} \quad (\text{A.4})$$

链码平均质量为

单次实验标准差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta m_i - \Delta\bar{m})^2}{n-1}} = 0.023 \text{ g} \quad (\text{A.5})$$

实际测量以 1 次测量值作为测量结果，故测量重复性引入的不确定度分量：

$$u_w(\Delta\bar{m}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.023}{\sqrt{10}} = 0.0072 \text{ g} \quad (\text{A.6})$$

#### A.4.1.2 标准砝码引入的不确定度 $u_{m_{cr}}$

依据 JJG 99-2022 《砝码检定规程》，F<sub>1</sub> 等级标准砝码 5 kg 的最大允许误差为 25 mg。标准不确定度：

$$u_{m_{cr}} = 0.014 \text{ g} \quad (\text{A.7})$$

#### A.4.1.3 空气浮力引起的不确定度分量可忽略不计。

#### A.4.1.4 衡量仪器分辨力引起的不确定度

衡量仪器分辨力为 0.01 g，估计为均匀分布，引起的不确定度为：

$$u_d = \left( \frac{d/2}{\sqrt{3}} \right) \times \sqrt{2} = 0.0041 \text{ g} \quad (\text{A.8})$$

#### A.4.1.5 合成质量的标准不确定度

$$u(m) = \sqrt{u_w(\Delta\bar{m})^2 + u_{m_{cr}}^2 + u_d^2} = 0.023 \text{ g} \quad (\text{A.9})$$

#### A.4.2 长度的标准不确定度 $u(L)$

长度的标准不确定度来源于长度测量重复性、游标卡尺不准确引入。

##### A.4.2.1 长度测量重复性的标准不确定度 $u_w(\bar{L})$

用游标卡尺对一个测量单位进行 10 次重复测量，测量数据列为 (mm)：

1000.06, 1000.06, 1000.04, 1000.05, 1000.08, 1000.05, 1000.05, 1000.05,  
1000.04, 1000.04

算术平均值：

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} = 1000.05 \text{ mm} \quad (\text{A.10})$$

用贝塞尔公式计算单次测量结果的实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1}} = 0.012 \text{ mm} \quad (\text{A.11})$$

实际测量以 3 次测量的平均值作为测量结果，故测量重复性引入的不确定度分量为：

$$u_w(\bar{L}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.012}{\sqrt{3}} = 0.007 \text{ mm} \quad (\text{A.12})$$

#### A.4.2.2 游标卡尺不准确引入的不确定度分量 $u_{\delta L}$

已知游标卡尺最大允许误差为 $\pm 0.10 \text{ mm}$ ，区间半宽为  $0.10 \text{ mm}$ ，估计均匀分布；采用 B 类方法评定。

$$u_{\delta L} = \frac{MPEV}{\sqrt{3}} = \frac{0.10}{\sqrt{3}} \text{ mm} = 0.058 \text{ mm} \quad (\text{A.13})$$

#### A.4.2.3 合成长度的不确定度分量 $u_L$

$$u(L) = \sqrt{u_w(\bar{L})^2 + u_{\delta L}^2} = 0.059 \text{ mm} \quad (\text{A.14})$$

### A.4.3 合成标准不确定度评定

#### A.4.3.1 标准不确定度分量汇总表：

表 A.1 标准不确定度分类汇总表

| 标准不确定度<br>$u_i$ | 不确定度来源 | 标准不确定度<br>值 | 灵敏系数 $ c_i $ | $ c_i u_i$<br>g/mm |
|-----------------|--------|-------------|--------------|--------------------|
| $u(m)$          | 质量     | 0.023 g     | 0.001 g/mm   | 0.000023           |
| $u(L)$          | 长度     | 0.059 mm    | 0.00499      | 0.00029            |

#### A.4.3.2 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u(m)^2 + c_2^2 u(L)^2} = 0.00029 \text{ g/mm} \quad (\text{A.15})$$

#### A.4.4 扩展不确定度计算

取包含因子  $k=2$

$$U = k u_c = 0.00058 \text{ g/mm} \quad (\text{A.16})$$

### A.5 链码总质量的不确定度

链码总质量标准不确定度计算同 A.1。

同理可得，6.2 米链码总质量标准不确定度 $u_c(M) = 0.90 \text{ g}$ ，取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度 $U = k u_c(M) = 1.8 \text{ g}$