



中华人民共和国工业和信息化部  
电子计量技术规范

JJF(电子) XXXX-20XX

电池洗涤试验机校准规范

Calibration Specification for Battery Wash Testing Machine

(报批稿)

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

# 电池洗涤试验机校准规范

Calibration Specification for  
Battery Wash testing machine

JJF(电子) XXXX—20XX

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：中国电子技术标准化研究院

参加起草单位：

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：徐 沛（中国电子技术标准化研究院）

武嘉琪（中国电子技术标准化研究院）

李雨薇（中国电子技术标准化研究院）

参加起草人：

## 目 录

|                       |   |
|-----------------------|---|
| 引言 .....              | V |
| 1 范围 .....            | 1 |
| 2 引用文件 .....          | 1 |
| 3 术语和计量单位 .....       | 1 |
| 4 概述 .....            | 1 |
| 5 计量特性 .....          | 1 |
| 6 校准条件 .....          | 2 |
| 7 校准项目和校准方法 .....     | 3 |
| 8 校准结果表达 .....        | 6 |
| 9 复校时间间隔 .....        | 6 |
| 附录 A 原始记录格式 .....     | 7 |
| 附录 B 校准证书内页格式 .....   | 8 |
| 附录 C 测量不确定度评定示例 ..... | 9 |

# 引言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

# 电池洗涤试验机校准规范

## 1 范围

本规范适用于电池洗涤试验机的校准。

## 2 引用文件

GB/T31241-2022《便携式电子产品用锂离子电池和电池组安全要求》

## 3 术语和计量单位

无

## 4 概述

电池洗涤试验机是专门用于测试电池安全性的试验设备，通过模拟实际使用环境，对电池进行多次洗涤循环，检测电池遇水浸泡的安全性和可靠性，主要由微系统控制单元、测量单元、温度传感器、清洗池等组成，如图 1 所示。

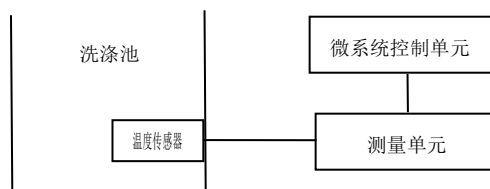


图 1 电池洗涤试验机组成

## 5 计量特性

### 5.1 温度

范围：（10~80）℃；

最大允许误差：±0.5℃；

温度均匀度：±2℃；

温度波动度：±1℃。

### 5.2 转速

范围：（1~900）r/min；

最大允许误差：±1%。

### 5.3 试验时间

范围：(60~1800) s

最大允许误差：±0.1%。

### 5.4 浸泡液面高度刻线

300mm;

最大允许误差 ±10mm。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(23±5) °C;

6.1.2 相对湿度：≤75%;

6.1.3 供电电源：(220±22)V, (50±1)Hz;

6.1.4 周围无影响正常工作的机械振动和电磁干扰。

### 6.2 测量标准及其它设备

#### 6.2.1 多通道温度巡检仪

测量范围：(0~100) °C;

最大允许误差：±0.1°C;

分辨力：0.01°C;

配备不少于 5 个铂电阻温度传感器。

#### 6.2.2 非接触式转速表

测量范围：(1~1000) r/min;

最大允许误差：±0.1%。

#### 6.2.3 电子秒表

测量范围：(10~3600) s;

分辨力：0.01s;

最大允许误差：±0.1s。

#### 6.2.4 钢直尺

测量范围：≥400mm;

最大允许误差：±1mm。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

电池洗涤试验机校准项目见表 1。

表 1 校准项目

| 序号 | 校准项目     | 计量特性条款 | 校准方法  |
|----|----------|--------|-------|
| 1  | 温度       | 5.1    | 7.2.2 |
| 2  | 转速       | 5.2    | 7.2.3 |
| 3  | 试验时间     | 5.3    | 7.2.4 |
| 4  | 浸泡液面高度刻线 | 5.4    | 7.2.5 |

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 外观及工作正常性检查

被校电池洗涤试验机的仪器名称、型号、制造厂名或商标、出厂编号等信息齐全；插接及连接应通断分明；各种功能标志应齐全清晰；各开关和指示功能应正常，各种指示应正确，将结果记录在附录 A 中表 A.1 中。

#### 7.2.2 温度

a) 将 5 个温度传感器分别放入洗涤池工作区域内 1/2 深度位置的同一个平面上。

①位于洗涤池中心，②~⑤以①为圆心均匀分布于洗涤池的四周，温度传感器在洗涤池中具体分布如图 2 所示。

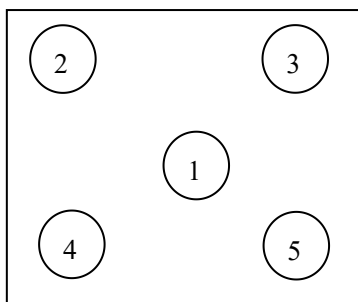


图 2 温度传感器在洗涤池中具体分布

b) 向洗涤槽内注入洗涤液至浸泡液面高度刻线；

c) 设定洗涤池校准温度值，待温度巡检仪显示温度示值稳定后，每隔 2min 记录一次 5 个测试点的测量值，共记录  $n$  次 ( $n \geq 6$ )，记录在附录 A 中表 A.2 中；

d) 按公式 1 计算温度波动度, 取全部测量点中变化量的最大值作为温度波动度校准结果, 记录在附录 A 中表 A.2 中。

$$\Delta T_f = \pm \max[(t_{\max} - t_{\min})/2] \quad (1)$$

式中:  $\Delta T_f$ —温度波动度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_{\max}$ —各测量点第  $i$  次测得的最高温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_{\min}$ —各测量点第  $i$  次测得的最低温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

e) 按公式 2 计算各测量点的平均温度。

$$\overline{t_N} = \sum_{i=1}^n t_i / n \quad (2)$$

式中:  $\overline{t_N}$ —测量点  $N$  的平均温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$n$ —测量次数;

$t_i$ —测量点  $N$  第  $i$  次测得的温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

f) 按公式 3 计算每个测量点上温度偏差, 取最大值作为温度偏差, 记录在附录 A 中表 A.2 中。

$$\Delta t = \max(t_i - t_a) \quad (3)$$

式中:

$\Delta t$ —温度偏差, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_i$ —测量点第  $i$  次温度测量值, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_a$ —被校设备温度设置值, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

取各测量点平均温度的最大值与最小值, 按公式 4 计算温度均匀度, 将结果记录在附录 A 中表 A.2 中。

$$\Delta T_u = \sum_{i=1}^n (\overline{t_{N\max}} - \overline{t_{N\min}}) / n \quad (4)$$

式中:  $\Delta T_u$ —温度均匀度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\overline{t_{N\max}}$ —各测量点温度平均值的最大值, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\overline{t_{N\min}}$ —各测量点温度平均值的最小值, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

g) 重复 b) ~e), 完成其他温度点上温度波动度、温度偏差、温度均匀度的校准, 通常选择电池洗涤机的上限、下限和中间温度, 也可根据客户的要求校准。

### 7.2.3 转速

a) 将反光贴平整地粘贴在洗涤池中旋转轴端部或转盘边缘, 向洗涤槽内注入洗涤液至浸泡液面高度刻线, 在试验机转速量程范围内设置转速值, 启动试验机;

b) 待转速达到设定值后, 使用转速表测量旋转轴的转速, 分别记录各点转速的设定值和测量值, 按公式 5 计算其示值误差, 将结果记录在附录 A 中表 A.3 中。

$$\Delta n = n_1 - n_2 \quad (5)$$

式中:  $\Delta n$ —示值误差, 单位为 r/min;

$n_1$ —设定值, 单位为 r/min;

$n_2$ —测量值, 单位为 r/min。

c) 重复 a) ~b), 完成其他转速值的校准, 可在试验机转速量程范围内均匀选取转速值。

### 7.2.4 试验时间

a) 选取 10min 作为校准点进行校准, 或按照客户需求选择时间值。同时启停试验机和时间计时装置的计时功能, 记录时间计时装置的标准时间和试验机时间;

b) 按公式 6 计算试验机时间示值的误差, 将结果记录在附录 A 中表 A.4 中。

$$\Delta t = t_x - t_0 \quad (6)$$

式中:  $\Delta t$ —试验机时间示值误差, 单位为秒 (s);

$t_x$ —试验机时间示值, 单位为秒 (s);

$t_0$ —计时装置标准值, 单位为秒 (s)。

### 7.2.5 浸泡液面高度刻线

a) 缓慢向洗涤池内注入洗涤液至 300mm 刻度;

b) 将钢直尺垂直竖直紧贴洗涤池内壁, 尺身与水平面保持 90°直角, 液面静止无波纹时, 分别在前、后、左、右四个方位, 测量液面水平面至电池中心标记点的垂直距离, 记录为  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ ;

c) 按公式 7 计算高度偏差, 记录在附录 A 中表 A.5 中。

$$\Delta H = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}{4} - 300 \quad (7)$$

式中:  $\Delta H$ —液面高度偏差, 单位为毫米 (mm);

$L_i$ —高度测量值, 单位为毫米 (mm)。

## 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

## 9 复校时间间隔

建议复校的时间间隔为 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际情况自主决定复校时间间隔。

---

## 附录 A 原始记录格式

## A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

| 项目      | 检查结果 |
|---------|------|
| 外观检查    |      |
| 工作正常性检查 |      |

## A.2 温度

表 A.2 温度记录

| 测量次数 | 测量值 | 温度波动度 | 温度偏差 | 温度均匀度 | 不确定度<br>$U(k=2)$ |
|------|-----|-------|------|-------|------------------|
| 1    |     |       |      |       |                  |
| 2    |     |       |      |       |                  |
| ...  |     |       |      |       |                  |
| n    |     |       |      |       |                  |

## A.3 转速

表 A.3 转速记录

| 设置值 | 测量值 | 不确定度<br>$U(k=2)$ |
|-----|-----|------------------|
|     |     |                  |
|     |     |                  |

## A.4 试验时间

表 A.4 试验时间记录

| 设置值   | 测量值 | 不确定度<br>$U(k=2)$ |
|-------|-----|------------------|
| 10min |     |                  |

## A.5 浸泡液面高度

表 A.5 浸泡液面高度

| 测量位置 | 测量值 | 偏差 | 不确定度<br>$U(k=2)$ |
|------|-----|----|------------------|
| 前    |     |    |                  |
| 后    |     |    |                  |
| 左    |     |    |                  |
| 右    |     |    |                  |

## 附录 B 校准证书内页格式

## B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

| 项目      | 检查结果 |
|---------|------|
| 外观检查    |      |
| 工作正常性检查 |      |

## B.2 温度

表 B.2 温度

| 温度波动度 | 温度偏差 | 温度均匀度 | 不确定度<br>$U(k=2)$ |
|-------|------|-------|------------------|
|       |      |       |                  |

## B.3 转速

表 B.3 转速记录

| 设置值 | 测量值 | 不确定度<br>$U(k=2)$ |
|-----|-----|------------------|
|     |     |                  |
|     |     |                  |

## B.4 试验时间

表 B.4 试验时间记录

| 设置值 | 测量值 | 不确定度<br>$U(k=2)$ |
|-----|-----|------------------|
|     |     |                  |
|     |     |                  |

## B.5 浸泡液面高度

表 B.5 浸泡液面高度

| 偏差 | 不确定度<br>$U(k=2)$ |
|----|------------------|
|    |                  |

## 附录 C 测量不确定度评定示例

## C.1 温度的测量不确定度评定（以 45℃洗涤水温为例）

## C.1.1 测量模型

$$\Delta t = t_d - t_s$$

式中： $\Delta t$ ——温度示值误差，单位为℃；

$t_d$ ——电池洗涤试验机温度示值，单位为℃；

$t_s$ ——多通道温度巡检仪测得的标准温度值，单位为℃。

## C.1.2 标准不确定度评定

a) 多通道温度巡检仪测量不准引入的不确定度  $u_1$ 

多通道温度巡检仪的最大允许误差为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，该误差服从均匀分布，取包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u_1$  为：

$$u_1 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058^\circ\text{C}$$

b) 多通道温度巡检仪示值分辨力引入的不确定度  $u_2$ 

多通道温度巡检仪的显示分辨力为  $0.01^\circ\text{C}$ ，其示值误差的区间半宽度  $a=0.005^\circ\text{C}$ ，服从均匀分布，取包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u_2$  为：

$$u_2 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003^\circ\text{C}$$

c) 多通道温度巡检仪稳定性引入的不确定度  $u_3$ 

多通道温度巡检仪相邻两次校准温度修正值最大变化为  $0.10^\circ\text{C}$ ，服从均匀分布，，取包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u_3$  为：

$$u_3 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058^\circ\text{C}$$

d) 测量重复性引入的不确定度  $u_4$

将试验机温度稳定在  $45^\circ\text{C}$  后, 用多通道温度巡检仪连续测量 10 次, 得到测量列 (单位:  $^\circ\text{C}$ ): 45.12、45.08、45.15、45.10、45.09、45.13、45.11、45.07、45.14、45.10。

计算测量平均值:  $45.11^\circ\text{C}$ ;

根据标准偏差计算公式:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \approx 0.008^\circ\text{C}$$

标准不确定度分量:  $u_4=0.008^\circ\text{C}$ 。

### C.1.3 合成标准不确定度

a) 不确定度分量汇总

| 不确定度分量 | 不确定度来源        | 标准不确定度                |
|--------|---------------|-----------------------|
| $u_1$  | 多通道温度巡检仪测量不准  | $0.058^\circ\text{C}$ |
| $u_2$  | 多通道温度巡检仪示值分辨力 | $0.003^\circ\text{C}$ |
| $u_3$  | 多通道温度巡检仪稳定性   | $0.058^\circ\text{C}$ |
| $u_4$  | 测量重复性         | $0.008^\circ\text{C}$ |

b) 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量互不相关, 所以合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \approx 0.08^\circ\text{C}$$

c) 扩展不确定度

取包含因子  $k$  等于 2, 则扩展不确定度:

$$U = ku_c = 2 \times 0.08 = 0.16^\circ\text{C}$$

## C.2 转速的测量不确定度评定 (以 60r/min 转速为例)

### C.2.1 测量模型

转速测量与温度测量原理一致,以试验机转速示值与标准转速值的差值作为示值误差,数学模型如下:

$$\Delta n = n_1 - n_2$$

式中:  $\Delta n$ —示值误差, r/min;

$n_1$ —设定值, r/min;

$n_2$ —测量值, r/min。

### C.2.2 标准不确定度评定

a) 转速表测量不准引入的不确定度  $u_1$

转速表的最大允许误差为 $\pm 0.1\%$ , 60r/min 转速误差区间半宽度:

$$a = 0.1\% \times 60 = 0.06 \text{ r/min}$$

该误差服从均匀分布, 取包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 则标准不确定度  $u_1$  为:

$$u_1 = \frac{a}{k} = \frac{0.06}{\sqrt{3}} = 0.035 \text{ r/min}$$

b) 转速表示值分辨力引入的不确定度  $u_2$

转速表显示分辨力为 0.1r/min, 误差区间半宽度  $a=0.05\text{r/min}$ , 服从均匀分布, 则标准不确定度  $u_2$  为:

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ r/min}$$

c) 反光贴粘贴质量引入的不确定度  $u_3$

反光贴粘贴质量引起的转速测量误差约为 $\pm 0.1\text{r/min}$ , 服从均匀分布, 则标准不确定度  $u_3$  为:

$$u_3 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ r/min}$$

d) 测量重复性引入的不确定度  $u_4$ 

将试验机转速稳定在 60r/min 后, 用转速表连续测量 10 次, 得到测量列 (单位: r/min): 59.8、60.1、59.9、60.0、60.2、59.7、60.0、59.9、60.1、59.8。

计算测量平均值: 59.95r/min;

根据标准偏差计算公式:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \approx 0.158 \text{r/min}$$

标准不确定度分量  $u_4$  为:

$$u_4 = 0.158 \text{r/min}。$$

## C.2.3 合成标准不确定度

## a) 不确定度分量汇总

| 不确定度分量 | 不确定度来源   | 标准不确定度     |
|--------|----------|------------|
| $u_1$  | 转速表测量不准  | 0.035r/min |
| $u_2$  | 转速表示值分辨力 | 0.029r/min |
| $u_3$  | 反光贴粘贴质量  | 0.058r/min |
| $u_4$  | 测量重复性    | 0.158r/min |

## b) 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量互不相关, 所以合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \approx 0.11 \text{r/min}$$

## c) 扩展不确定度

取包含因子  $k$  等于 2, 则扩展不确定度:

$$U = ku_c = 2 \times 0.11 = 0.22 \text{r/min}$$

## C.3 试验时间的测量不确定度评定 (以 30min 浸泡时间为例)

## C.3.1 测量模型

试验时间测量以试验机计时示值与标准秒表示值的差值作为示值误差，数学模型如下：

$$\Delta_t = t_x - t_0$$

式中：

$\Delta_t$ ——试验机时间示值误差，s；

$t_x$ ——试验机时间示值，s；

$t_0$ ——计时装置标准值，s。

### C.3.2 标准不确定度评定

#### a) 电子秒表测量不准引入的不确定度 $u_1$

电子秒表的最大允许误差为 $\pm 0.1\text{s}$ ，服从均匀分布，则标准不确定度  $u_1$  为：

$$u_1 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058\text{s}$$

#### b) 电子秒表分辨力引入的不确定度 $u_2$

电子秒表显示分辨力为  $0.01\text{s}$ ，误差区间半宽度  $a=0.005\text{s}$ ，服从均匀分布，则标准不确定度  $u_2$  为：

$$u_2 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003\text{s}$$

#### c) 人员反应时间引入的不确定度 $u_3$

人员同时启动和停止设备与秒表的反应时间约为  $\pm 0.2\text{s}$ ，服从均匀分布，则标准不确定度  $u_3$  为：

$$u_3 = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.115\text{s}$$

#### d) 测量重复性引入的不确定度 $u_4$

在相同环境条件下，对 30min (1800s) 试验时间进行 10 次重复测量，测量结果如下  
1800.2s、1800.1s、1800.3s、1800.0s、1800.2s、1800.1s、1800.3s、1800.2s、1800.1s、  
1800.0s；

计算测量平均值：1800.15s；

根据标准偏差计算公式：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \approx 0.108s$$

标准不确定度分量  $u_4$  为：

$$u_4 = 0.108s。$$

### C.3.3 合成标准不确定度

a) 不确定度分量汇总

| 不确定度分量 | 不确定度来源    | 标准不确定度 |
|--------|-----------|--------|
| $u_1$  | 电子秒表测量不准  | 0.058s |
| $u_2$  | 电子秒表示值分辨力 | 0.003s |
| $u_3$  | 人员反应时间    | 0.115s |
| $u_4$  | 测量重复性     | 0.108s |

b) 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量互不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \approx 0.16s$$

c) 扩展不确定度

取包含因子  $k$  等于 2，则扩展不确定度：

$$U = ku_c = 2 \times 0.16 = 0.32s$$

## C.4 浸泡液面高度的测量不确定度评定

### C.4.1 测量模型

$$\Delta H = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}{4} - 300$$

式中： $\Delta H$ ——液面高度偏差，mm；

$L_i$ ——高度测量值，mm。

### C.4.2 标准不确定度评定

#### a) 钢直尺测量不准引入的不确定度 $u_1$

钢直尺最大允许误差为 $\pm 0.10\text{mm}$ ，服从均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u_1$  为：

$$u_1 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058\text{mm}$$

#### b) 钢直尺分辨力引入的不确定度 $u_2$

钢直尺分辨力为 1mm，误差区间半宽度  $a=0.5\text{mm}$ ，服从均匀分布，则标准不确定度  $u_2$  为：

$$u_2 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289\text{mm}$$

#### c) 人员估读引入的不确定度 $u_3$

人员估读引起的测量误差约为 $\pm 0.1\text{mm}$ ，服从均匀分布，则标准不确定度  $u_3$  为：

$$u_3 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058\text{mm}$$

#### d) 测量重复性引入的不确定度 $u_4$

在相同环境条件下连续测量 10 次，得到测量列（单位：mm）：300.1、300.0、300.2、300.1、300.0、300.1、300.2、300.1、300.0、300.1。

计算测量平均值：300.09mm；

根据标准偏差计算公式：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \approx 0.074\text{mm}$$

标准不确定度分量  $u_4$  为:

$$u_4=0.074\text{mm}。$$

### C.4.3 合成标准不确定度

a) 不确定度分量汇总

| 不确定度分量 | 不确定度来源  | 标准不确定度  |
|--------|---------|---------|
| $u_1$  | 钢直尺测量不准 | 0.058mm |
| $u_2$  | 钢直尺分辨率  | 0.289mm |
| $u_3$  | 人员估读    | 0.058mm |
| $u_4$  | 测量重复性   | 0.074mm |

b) 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量互不相关, 所以合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \approx 0.30\text{mm}$$

c) 扩展不确定度

取包含因子  $k$  等于 2, 则扩展不确定度:

$$U=ku_c=2\times 0.30=0.60\text{mm}$$