

3501 受控 2/F

JJF

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1423—2013

## $\pi$ 尺校准规范

Calibration Specification for Pi Tapes

2013-07-04 发布

2013-10-04 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布



# $\pi$ 尺校准规范

Calibration Specification for Pi Tapes

JJF 1423—2013

归口单位：全国几何量工程参量计量技术委员会

主要起草单位：河北省计量科学研究所

辽宁省计量科学研究院

参加起草单位：北京市计量检测科学研究院

成都市精博直径精密测量研究所

沈阳佳宇工具有限公司

**本规范主要起草人：**

高同山（河北省计量科学研究所）

王少平（河北省计量科学研究所）

于佃清（辽宁省计量科学研究院）

张 锐（河北省计量科学研究所）

**参加起草人：**

崔 蕊（北京市计量检测科学研究院）

于 波（成都市精博直径精密测量研究所）

赵 霞（沈阳佳宇工具有限公司）

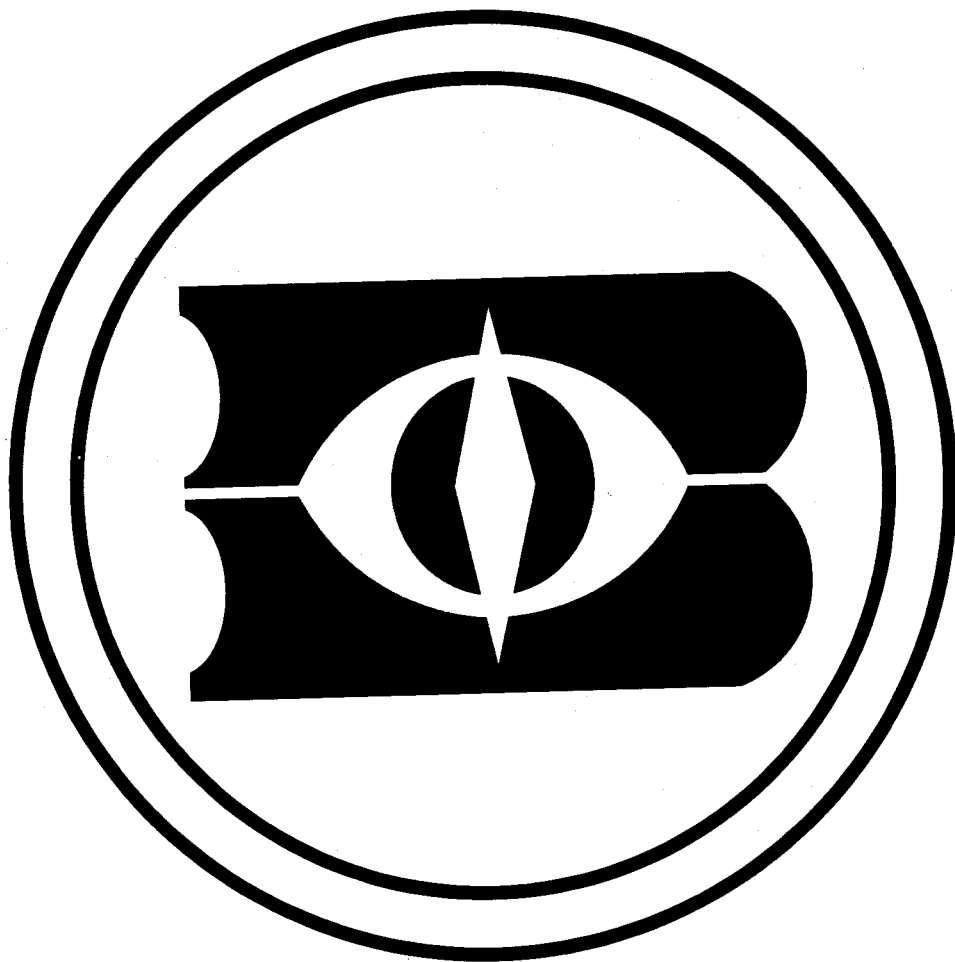
## 目 录

|  |      |
|--|------|
| 引言 .....                                     | (II) |
| 1 范围 .....                                   | (1)  |
| 2 引用文件 .....                                 | (1)  |
| 3 概述 .....                                   | (1)  |
| 4 计量特性 .....                                 | (2)  |
| 4.1 标记宽度和宽度差 .....                           | (2)  |
| 4.2 尺带厚度偏差和厚度差 .....                         | (2)  |
| 4.3 副尺与主尺的重合度 .....                          | (2)  |
| 4.4 副尺的间隔误差 .....                            | (2)  |
| 4.5 直径示值误差 .....                             | (2)  |
| 5 校准条件 .....                                 | (2)  |
| 5.1 环境条件 .....                               | (2)  |
| 5.2 张紧力条件 .....                              | (3)  |
| 5.3 校准用设备 .....                              | (3)  |
| 6 校准项目和校准方法 .....                            | (3)  |
| 6.1 校准项目 .....                               | (3)  |
| 6.2 校准方法 .....                               | (3)  |
| 7 校准结果的表达 .....                              | (5)  |
| 8 复校时间间隔 .....                               | (5)  |
| 附录 A $\pi$ 尺校准时的张紧力计算示例 .....                | (6)  |
| 附录 B 用激光干涉仪测量 $\pi$ 尺直径示值误差的测量不确定度评定示例 ..... | (8)  |
| 附录 C 用标准钢卷尺测量 $\pi$ 尺直径示值误差的测量不确定度评定示例 ..... | (13) |
| 附录 D 校准证书内容及内页格式 .....                       | (18) |

## 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》共同构成支撑校准规范制订工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。



## $\pi$ 尺校准规范

### 1 范围

本规范适用于分度值为 0.01 mm, 0.02 mm, 0.05 mm, 直径测量范围为 9 mm~16 m 的  $\pi$  尺的校准。

### 2 引用文件

JJG 4—1999 钢卷尺

JJG 741—2005 标准钢卷尺

凡是注日期的引用文件, 仅注日期的版本适用于本规范; 凡是不注日期的引用文件, 其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

### 3 概述

$\pi$  尺主要由一条弹性钢带构成, 其两端分别为主尺和副尺,  $\pi$  尺主要用于测量圆形工件的直径。 $\pi$  尺按结构不同分为条式、穿孔式和卷尺式三种型式, 其外形见图 1、图 2、图 3。

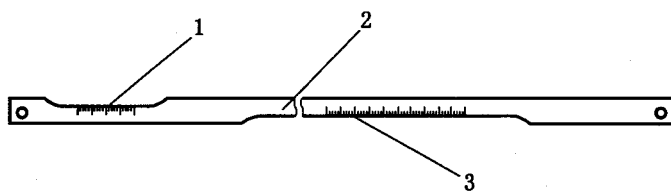


图 1 条式

1—副尺; 2—尺带; 3—主尺

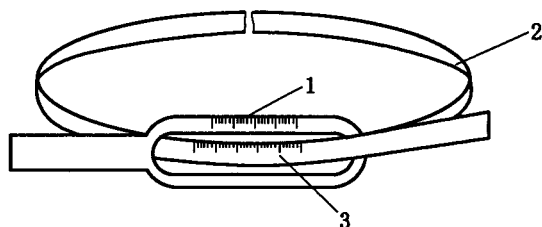


图 2 穿孔式

1—副尺; 2—尺带; 3—主尺

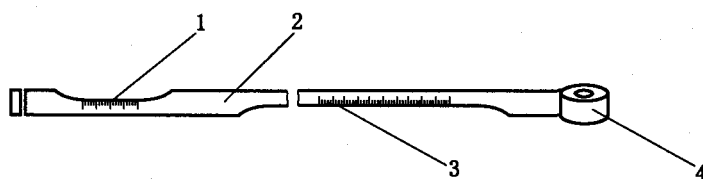


图3 卷尺式

1—副尺；2—尺带；3—主尺；4—尺盒

## 4 计量特性

### 4.1 标记宽度和宽度差

主尺、副尺的标记宽度为 $(0.08\sim 0.20)$  mm，标记宽度差一般不大于 $0.03$  mm。

### 4.2 尺带厚度偏差和厚度差

4.2.1 尺带厚度偏差一般不超过 $\pm 0.01$  mm。

4.2.2 尺带厚度差一般不大于 $0.01$  mm。

### 4.3 副尺与主尺的重合度

副尺的零标记与主尺的零标记对齐后，其尺标记应与主尺的零标记重合，其重合度一般不大于 $0.01$  mm。

### 4.4 副尺的间隔误差

一般不超过 $\pm 0.01$  mm。

### 4.5 直径示值误差

$\pi$ 尺直径的最大允许误差

| 直径 $D$ 测量范围/mm            | 分度值/mm     | 直径最大允许误差/mm         |
|---------------------------|------------|---------------------|
| $9 \leq D < 50$           | 0.05       | $\pm 0.05$          |
| $50 \leq D < 500$         | 0.01, 0.02 | $\pm 0.05$          |
| $500 \leq D < 1\ 100$     |            | $\pm 0.06$          |
| $1\ 100 \leq D < 2\ 100$  |            | $\pm 0.08$          |
| $2\ 100 \leq D < 3\ 000$  |            | $\pm 0.10$          |
| $3\ 000 \leq D < 3\ 750$  |            | $\pm 0.15$          |
| $3\ 750 \leq D < 5\ 000$  |            | $\pm 0.20$          |
| $5\ 000 \leq D < 16\ 000$ |            | 相对误差： $\pm 0.005\%$ |

注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。

## 5 校准条件

### 5.1 环境条件

校准室温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度：不大于 $70\%$ 。

## 5.2 张紧力条件

张紧力应符合说明书中的规定，对于说明书中无规定的，可以通过计算确定。其最大允许误差为 $\pm 0.5\text{ N}$ 。

常见 $\pi$ 尺张紧力的计算见附录A。

## 5.3 校准用设备

校准用主要设备见表2。

推荐使用表2所列测量设备，允许使用满足测量不确定度要求的其他设备。

## 6 校准项目和校准方法

校准前， $\pi$ 尺和校准用器具等温平衡时间不少于4 h。

首先检查外观和各部分的相互作用，确定没有影响校准计量特性的因素后再进行校准。

### 6.1 校准项目

校准项目见表2。

表2 校准项目和校准用设备

| 序号 | 校准项目       | 设备名称及计量特性  |
|----|------------|--|
| 1  | 标记宽度及宽度差   | 读数显微镜，MPEV: $10\ \mu\text{m}$  |
| 2  | 尺带厚度偏差和厚度差 | 数显千分尺，MPE: $\pm 2\ \mu\text{m}$  |
| 3  | 副尺与主尺的重合度  | 工具显微镜，MPEV: $3\ \mu\text{m}$   |
| 4  | 副尺的间隔误差    | 万能工具显微镜，MPE: $1\ \mu\text{m} + 10^{-5}L$   |
| 5  | 直径示值误差     | 激光干涉仪，MPE: $\pm (0.03\ \mu\text{m} + 1.5 \times 10^{-6}L)$<br>标准钢卷尺， $U = (5\ \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6}L)$ ， $k=2$<br>读数显微镜，MPEV: $10\ \mu\text{m}$<br>重锤，MPE: $\pm 0.5\text{ N}$ |

### 6.2 校准方法

#### 6.2.1 标记宽度和宽度差

用读数显微镜测量。主尺和副尺的标记至少各抽测三条，测量抽测的每条标记的宽度值，作为该位置标记宽度测量结果；主尺的标记宽度差以被测标记中的最大值与最小值之差确定，副尺的标记宽度差以被测标记中的最大值与最小值之差确定。

注：标记宽度和宽度差仅在首次校准时测量。

#### 6.2.2 尺带厚度偏差和厚度差

尺带厚度偏差和厚度差用数显千分尺测量。在 $\pi$ 尺尺带全长范围内测量不少于均匀分布的三个位置，按式(1)计算各位置的平均值 $\bar{h}$ ，取 $\bar{h}$ 为尺带厚度值，尺带厚度值与尺带厚度标称值之差即为尺带厚度偏差；各位置中的最大值与最小值之差即为尺带厚度差。



$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \quad (1)$$

式中:

$\bar{h}$ ——尺带的厚度值, mm;

$h_i$ ——尺带第  $i$  位置的厚度测量值, mm;

$n$ ——测量位置的个数。

### 6.2.3 副尺与主尺的重合度

目力观察。使副尺的零标记与主尺某一标记对齐后, 观察其尾标记与主尺的相应标记是否重合, 其差值即为重合度。

有争议时用工具显微镜测量。测量副尺上零标记与尾标记间的距离和主尺上分别与副尺的零标记和尾标记相对应的标记间的距离, 两者之差的绝对值即为重合度。

### 6.2.4 副尺的间隔误差

用工具显微镜在  $\pi$  尺的副尺标记范围内不少于均匀分布的三段进行测量, 如副尺标记范围为 14.137 mm, 分别测量(0~4.241)mm, (0~8.482)mm, (0~14.137)mm 段。各测量段的间隔误差以标称间隔与实际间隔之差确定。

注: 副尺的间隔误差仅在首次校准时测量。

### 6.2.5 直径示值误差

校准时, 在  $\pi$  尺的主尺标记范围内不少于均匀分布的三段进行测量。

#### 6.2.5.1 用激光干涉仪测量

用压紧装置将被校  $\pi$  尺紧固在测量平台上, 在被校  $\pi$  尺的另一端施加规定的张紧力。

调整  $\pi$  尺与激光干涉仪光路平行, 用瞄准显微镜瞄准  $\pi$  尺的零值标记, 激光干涉仪清零, 然后用瞄准显微镜分别对所要求测量的各标记进行瞄准定位, 由干涉仪测量零值标记至各被测标记之间的长度, 测完各测量位置后, 激光干涉仪应回零, 回零误差不大于 5  $\mu\text{m}$ 。

#### 6.2.5.2 与标准钢卷尺进行比较测量

当标准钢卷尺具有对应校准点的修正值时, 可以使用标准钢卷尺测量。

用压紧装置将被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺紧固在测量平台上, 分别在被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺的另一端施加各自规定的张紧力。

测量时, 调整测量平台上的调零机构, 使被校  $\pi$  尺的零值标记与标准钢卷尺的零值标记对齐, 然后用读数显微镜分别瞄准被校  $\pi$  尺和标准钢卷尺上的相应标记进行读数。

#### 6.2.5.3 $\pi$ 尺直径值的计算

$\pi$  尺直径值的计算见式 (2)、式 (3):

$$D_{\text{外}} = L_i / \pi - \bar{h} \quad (2)$$

$$D_{\text{内}} = L_i / \pi + \bar{h} \quad (3)$$

式中:

$D_{\text{外}}$ ——外径实测值, mm;

$D_{\text{内}}$ ——内径实测值，mm；  
 $\bar{h}$ ——尺带的厚度值，mm；  
 $L_i$ ——被校点的长度实测值，mm；  
 $\pi$ ——3.1415927。

#### 6.2.5.4 $\pi$ 尺直径示值误差的计算

$\pi$ 尺直径示值误差的计算见式(4)：

$$\Delta = D_0 - D_i \quad (4)$$

式中：

$\Delta$ —— $\pi$ 尺的示值误差，mm；  
 $D_0$ —— $\pi$ 尺被校点的值，mm；  
 $D_i$ —— $\pi$ 尺被校点的直径实测值，mm。

当 $\pi$ 尺的长度大于检测台的长度时，可分段检测，用各段的实际长度之和计算示值误差。

直径示值误差也可以用满足测量不确定度要求的其他方法测量。

## 7 校准结果的表达

校准后的 $\pi$ 尺，出具校准证书。校准证书应给出校准结果及示值误差的测量不确定度。

## 8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由 $\pi$ 尺的使用情况、使用者、 $\pi$ 尺本身质量等诸因素所决定的，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校间隔一般不超过1年。

## 附录 A

## π 尺校准时的张紧力计算示例

## A.1 π 尺校准时张紧力的计算

π 尺使用时的工作拉力在使用说明书中已给定。用 π 尺测量圆柱体时所施加的工作拉力可使尺带产生一个变形量  $\Delta_1$ ，在平台上校准 π 尺时所施加的张紧力也使尺带产生一个变形量  $\Delta_2$ ，校准时测量力的选择保证两种情形下的变形量相等，从而计算得到在平台上测量 π 尺时所施加的张紧力。

用 π 尺测量圆柱体时尺带的变形量见式 (A.1)：

$$\Delta_1 = DF(1 - 1/e^{\pi f}) / (EAf) \quad (\text{A.1})$$

式中：

$\Delta_1$ ——变形量，mm；

$D$ ——π 尺示值，mm；

$F$ ——工作拉力，N；

$f$ ——π 尺测量圆柱体时的摩擦系数；

$A$ ——π 尺截面积，mm<sup>2</sup>；

$E$ ——弹性模量，N/mm<sup>2</sup>。

π 尺在平台上测量时所施加的张紧力使尺带产生的变形量见式 (A.2)：

$$\Delta_2 = \pi DF_0 / (EA) \quad (\text{A.2})$$

式中：

$\Delta_2$ ——变形量，mm；

$F_0$ ——校准时的张紧力，N。

使  $\Delta_1 = \Delta_2$ ，得到：

$$F_0 = F(1 - 1/e^{\pi f}) / (\pi f) \quad (\text{A.3})$$

令  $c = (1 - 1/e^{\pi f}) / (\pi f)$ ，则式 (A.3) 变为

$$F_0 = cF \quad (\text{A.4})$$

张紧力计算时常用的  $c$  值见表 A.1。

## A.2 π 尺校准时张紧力的典型计算

当 π 尺的工作拉力规定为 20 N、摩擦系数为 0.15 时，π 尺的张紧力通过式 (A.3) 计算得：

$$F_0 = 15.9 \text{ N}$$

表 A.1 张紧力计算时常用的  $c$  值

| $f$  | $c$   |
|------|-------|
| 0.10 | 0.858 |
| 0.15 | 0.797 |

表 A.1 (续)

| $f$  | $c$   |
|------|-------|
| 0.18 | 0.764 |
| 0.20 | 0.742 |
| 0.30 | 0.647 |

## 附录 B

用激光干涉仪测量  $\pi$  尺直径示值误差的测量不确定度评定示例

## B.1 测量方法

在测量平台上使用激光干涉仪对被校  $\pi$  尺的长度进行直接测量, 通过计算得出  $\pi$  尺直径的示值误差, 下面以尺带厚度为 0.25 mm, 直径测量范围为 (50~100)mm、(1 300~1 500)mm 的  $\pi$  尺为例, 分析其测量不确定度。

## B.2 测量模型

$\pi$  尺的示值误差按式 (B.1) 计算:

$$\Delta = D_0 - D_i \quad (\text{B.1})$$

式中:

$\Delta$ —— $\pi$  尺直径示值误差, mm;

$D_0$ —— $\pi$  尺被校点的值, mm;

$D_i$ —— $\pi$  尺被校点的直径实测值, mm。

$$D_i = L_i / \pi - \bar{h} \quad (\text{B.2})$$

式中:

$L_i$ —— $\pi$  尺被校点的长度实测值, mm;

$\bar{h}$ —— $\pi$  尺尺带的厚度值, mm;

$\pi$ ——3.1415927。

考虑到  $\pi$  尺的线膨胀系数偏差、尺温测量误差、张紧力偏差、阿贝误差的影响, 加上这些修正有:

$$D_i = L_i / \pi - \bar{h} + \delta_{\Delta\alpha} + \delta_{\Delta T} + \delta_{\Delta P} + \delta_A \quad (\text{B.3})$$

式中:

$\delta_{\Delta\alpha}$ ——线膨胀系数偏差所带来的影响, mm;

$\delta_{\Delta T}$ ——尺温测量误差所带来的影响, mm;

$\delta_{\Delta P}$ ——张紧力偏差所带来的影响, mm;

$\delta_A$ ——阿贝误差所带来的影响, mm。

将式 (B.3) 代入式 (B.1) 得:

$$\Delta = D_0 - [(L_i / \pi - \bar{h}) + \delta_{\Delta\alpha} + \delta_{\Delta T} + \delta_{\Delta P} + \delta_A] \quad (\text{B.4})$$

## B.3 方差和灵敏系数

式 (B.4) 中各输入量相互独立, 依据  $u_c^2(y) = \sum [\partial f / \partial x_i]^2 u^2(x_i)$ , 则有  $u_c^2 = \sum c^2(x_i) u^2(x_i)$ 。

故得:

$$u_c^2 = c_{L_i}^2 u_{L_i}^2 + c_{\bar{h}}^2 u_{\bar{h}}^2 + c_{\Delta\alpha}^2 u_{\Delta\alpha}^2 + c_{\Delta T}^2 u_{\Delta T}^2 + c_{\Delta P}^2 u_{\Delta P}^2 + c_A^2 u_A^2 \quad (\text{B.5})$$

由式 (B.5) 得:

$$u_c = \sqrt{c_{L_i}^2 u_{L_i}^2 + c_{\bar{h}}^2 u_{\bar{h}}^2 + c_{\Delta\alpha}^2 u_{\Delta\alpha}^2 + c_{\Delta T}^2 u_{\Delta T}^2 + c_{\Delta P}^2 u_{\Delta P}^2 + c_A^2 u_A^2} \quad (\text{B.6})$$

由式 (B.4) 得:

$$c_{L_i} = \partial \Delta / \partial L_i = -1/\pi \qquad c_{\bar{h}} = \partial \Delta / \partial \bar{h} = 1$$

#### B.4 不确定度来源

不确定度来源包括:

- a) 测量长度  $L_i$  的标准不确定度  $u_{L_i}$ ;
- b) 尺带厚度引入的标准不确定度  $u_{\bar{h}}$ ;
- c)  $\pi$  尺的线膨胀系数偏差引入的标准不确定度  $u_{\Delta\alpha}$ ;
- d)  $\pi$  尺尺温的测量误差引入的标准不确定度  $u_{\Delta T}$ ;
- e) 张紧力偏差引入的标准不确定度  $u_{\Delta P}$ ;
- f) 阿贝误差引入的标准不确定度  $u_A$ 。

下面以(50~100)mm的 $\pi$ 尺为例具体分析其测量不确定度,线膨胀系数 $\alpha=(11.5\pm 1)\times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,其最大测量点为 $D_0=87.50\text{ mm}$ ,对应的长度实测值 $L_i=275.728\text{ mm}=0.275\ 728\text{ m}$ ;尺带厚度值 $\bar{h}=0.249\text{ mm}$ 。

#### B.5 标准不确定度一览表

标准不确定度一览表见表 B.1。

表 B.1 (50~100)mm 的  $\pi$  尺示值误差测量的标准不确定度一览表

| 标准不确定度分量 $u(x_i)$        | 不确定度来源         | 标准不确定度值 $u(x_i)$                                  | $c_i = \partial f / \partial x_i$                   | $ c_i \times u(x_i) $ |
|--------------------------|----------------|---|---|-----------------------|
| $u_{L_i}$                | 测量长度 $L_i$     | $1.2\ \mu\text{m}$                                | $-1/\pi$  | $0.38\ \mu\text{m}$   |
| $u_{\bar{h}}$            | 尺带厚度           | $4.3\ \mu\text{m}$                                | 1   | $4.3\ \mu\text{m}$    |
| $u_{\Delta\alpha}$       | $\pi$ 尺线膨胀系数偏差 | $0.577 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ | $4.4 \times 10^5\ \mu\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ | $0.25\ \mu\text{m}$   |
| $u_{\Delta T}$           | $\pi$ 尺尺温测量误差  | $0.115\text{ }^\circ\text{C}$                     | $1.0\ \mu\text{m} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$        | $0.115\ \mu\text{m}$  |
| $u_{\Delta P}$           | 张紧力偏差          | $0.289\text{ N}$                                  | $0.14\ \mu\text{m} \cdot \text{N}^{-1}$             | $0.04\ \mu\text{m}$   |
| $u_A$                    | 阿贝误差           | $0.4\ \mu\text{m}$                                | 1   | $0.4\ \mu\text{m}$    |
| $u_c = 4.4\ \mu\text{m}$ |                |   |   |                       |

#### B.6 标准不确定度分量计算

##### B.6.1 测量长度 $L_i$ 引入的标准不确定度分量 $u_{L_i}$

测量长度  $L_i$  通过瞄准显微镜瞄准,由激光干涉仪读数得到的,因此其影响量有激光干涉仪的示值误差、测量重复性以及激光干涉仪的分辨力。

##### B.6.1.1 激光干涉仪的示值误差引入的标准不确定度 $u_{L,1}$

激光干涉仪的最大允许误差为 $\pm(0.03\ \mu\text{m} + 1.5 \times 10^{-6} L_i)$ ,均匀分布, $k=\sqrt{3}$ ,则:

$$\begin{aligned} u_{L,1} &= (0.03\ \mu\text{m} + 1.5 L_i) / \sqrt{3} \\ &= (0.03\ \mu\text{m} + 1.5 \times 0.275\ 728\ \text{m} \times 10^{-6})\ \mu\text{m} / \sqrt{3} \\ &= 0.26\ \mu\text{m} \end{aligned}$$

##### B.6.1.2 测量重复性估算的标准不确定度 $u_{L,2}$

由瞄准显微镜瞄准 $\pi$ 尺某标记,用激光干涉仪读数,重复测量10次,测量结果(单

位:  $\mu\text{m}$ )为: 0.0, 1.2, -1.0, -1.2, 1.4, -1.5, 1.2, 1.5, -0.9, -0.8, 则:

$$\text{实验标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1.2 \mu\text{m}$$

$$\text{则: } u_{L,2} = s = 1.2 \mu\text{m}$$

因激光干涉仪的分辨力为  $0.1 \mu\text{m}$ , 其引入的标准不确定度为  $(0.1 \mu\text{m}/2)/\sqrt{3} = 0.029 \mu\text{m}$ , 小于测量重复性引入的标准不确定度, 所以只取测量重复性引入的标准不确定度。故:

$$u_{L_i} = \sqrt{u_{L,1}^2 + u_{L,2}^2} = \sqrt{0.26^2 + 1.2^2} \mu\text{m} \approx 1.2 \mu\text{m}$$

B. 6. 2  $\pi$  尺尺带厚度引入的标准不确定度分量  $u_{\bar{h}}$

B. 6. 2. 1 尺带厚度测量引入的标准不确定度分量  $u_{\bar{h}1}$

B. 6. 2. 1. 1 尺带厚度测量的重复性或量化误差引入的标准不确定度分量  $u_{\bar{h}11}$

B. 6. 2. 1. 1. 1 测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_{\bar{h}111}$

对  $\pi$  尺某点, 在重复性条件下用数显千分尺测量 10 次, 测量结果 (单位:  $\text{mm}$ ) 为: 0.245, 0.246, 0.245, 0.244, 0.246, 0.244, 0.244, 0.246, 0.245, 0.245, 则:

$$\text{实验标准偏差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0008 \text{ mm}$$

由于尺带厚度值是 3 次测量 (即  $n=3$ ) 的平均值, 则:

$$u_{\bar{h}111} = s/\sqrt{n} = s/\sqrt{3} = 0.0005 \text{ mm} = 0.5 \mu\text{m}$$

B. 6. 2. 1. 1. 2 量化误差引入的标准不确定度分量  $u_{\bar{h}112}$

分辨力为  $0.001 \text{ mm}$  的数显千分尺的量化误差为  $0.0005 \text{ mm}$ , 均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ , 则:

$$u_{\bar{h}112} = 0.0005 \text{ mm}/\sqrt{3} = 0.0003 \text{ mm} = 0.3 \mu\text{m}$$

测量重复性和量化误差, 两者中取大值, 故:

$$u_{\bar{h}11} = u_{\bar{h}111} = 0.5 \mu\text{m}$$

B. 6. 2. 1. 2 千分尺示值误差引入的标准不确定度分量  $u_{\bar{h}12}$

分辨力为  $0.001 \text{ mm}$  的数显千分尺的示值误差为  $0.002 \text{ mm}$ , 均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ , 则:

$$u_{\bar{h}12} = 0.002 \text{ mm}/\sqrt{3} = 0.00115 \text{ mm} = 1.15 \mu\text{m}$$

$$\text{则: } u_{\bar{h}1} = \sqrt{u_{\bar{h}11}^2 + u_{\bar{h}12}^2} = 1.25 \mu\text{m}$$

B. 6. 2. 2 尺带厚度不均匀引入的标准不确定度分量  $u_{\bar{h}2}$

由于尺带厚度不均匀而造成尺带厚度差, 其值不大于  $0.01 \text{ mm}$ , 三角分布,  $k = \sqrt{6}$ , 则:

$$u_{\bar{h}2} = 0.01 \text{ mm}/\sqrt{6} = 0.0041 \text{ mm} = 4.1 \mu\text{m}$$

尺带厚度测量时温度偏离标准温度  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，尺带厚度值为  $\bar{h}=0.249\text{ mm}$ ，则温度所带来的影响量为  $0.249 \times \alpha \times 5 = 0.249\text{ mm} \times 11.5 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times 5\text{ }^{\circ}\text{C} = 0.000\ 014\text{ mm}$ ，忽略不计。故：

$$u_{\bar{h}} = \sqrt{u_{h1}^2 + u_{h2}^2} = 4.3\ \mu\text{m}$$

B.6.3  $\pi$  尺线膨胀系数偏差引入的标准不确定度分量  $u_{\Delta\alpha}$

线膨胀系数偏差所带来的直径影响量为：

$$\delta_{\Delta\alpha} = L_i \times \Delta\alpha \times (T - 20) / \pi$$

对用优质碳素钢为材料的  $\pi$  尺，线膨胀系数偏差为  $\Delta\alpha = \pm 1 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，均匀分布  $k = \sqrt{3}$ ， $(T - 20\text{ }^{\circ}\text{C}) = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，则：

$$u_{\Delta\alpha} = 1 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} / \sqrt{3} = 0.577 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\Delta\alpha} = \frac{\partial \delta_{\Delta\alpha}}{\partial \Delta\alpha} = L_i (T - 20) / \pi = 275.728\text{ mm} \times 5\text{ }^{\circ}\text{C} / \pi$$

$$= 438.834\ 7\text{ mm} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C} \approx 4.4 \times 10^5\ \mu\text{m} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}$$

B.6.4  $\pi$  尺尺温测量误差

$\pi$  尺尺温测量误差所带来的影响量为： $\delta_{\Delta T}$

$\pi$  尺尺温的测量误差为  $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{\Delta T} = 0.2\text{ }^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.115\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\Delta T} = \frac{\partial \delta_{\Delta\alpha}}{\partial \Delta T} = \Delta\alpha / \pi = 1 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} / \pi$$

$$= 0.000\ 318\ \mu\text{m} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$= 1.0 \times 10^{-4}\ \mu\text{m} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

B.6.5  $\pi$  尺张紧力偏差引入的标准不确定度  $u_{\Delta P}$

由张紧力偏差引起的变形量对应的直径变化量  $\delta_{\Delta P}$  为：

$$\delta_{\Delta P} = L_i \times \Delta P / (\pi E F) \quad (\text{B.7})$$

式中：

$\Delta P$ ——张紧力偏差；

$E$ ——弹性系数， $21\ 000 \times 9.8\ \text{N}/\text{mm}^2$ ；

$F$ —— $\pi$  尺的横截面积， $F = 3\ \text{mm}^2$ 。

$\pi$  尺张紧力偏差为  $\Delta P = 0.5\ \text{N}$ ，均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_{\Delta P} = 0.5\ \text{N} / \sqrt{3} = 0.289\ \text{N}$$

$$c_{\Delta P} = \frac{\partial \delta_{\Delta P}}{\partial \Delta P} = L_i / (\pi E F)$$

$$= 275.728\text{ mm} / (\pi \times 21\ 000 \times 9.8\ \text{N}/\text{mm}^2 \times 3\ \text{mm}^2)$$

$$= 0.000\ 14 (\text{mm} \cdot \text{N}^{-1}) = 0.14\ \mu\text{m} \cdot \text{N}^{-1}$$

B.6.6 阿贝误差引入的标准不确定度分量  $u_2$

导轨在水平面内直线性偏摆产生的最大测量误差为  $\Delta L_s = 3.8\ \mu\text{m}$ ，对应的直径变化量为  $(3.8/\pi)\ \mu\text{m}$ ，均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：



$$u_2 = (3.8/\pi)\mu\text{m}/\sqrt{3} = 0.4\mu\text{m}$$

导轨在垂直面内的倾斜，使被测量与标准量产生同向同量的长度变化。在比较结果中相互抵消而可不考虑。

#### B.7 合成标准不确定度 $u_c$

由式 (B.6) 可得：

$$u_c = \sqrt{c_{L_i}^2 u_{L_i}^2 + c_h^2 u_h^2 + c_{\Delta\alpha}^2 u_{\Delta\alpha}^2 + c_{\Delta T}^2 u_{\Delta T}^2 + c_{\Delta P}^2 u_{\Delta P}^2 + c_A^2 u_A^2} = 4.4\mu\text{m}$$

#### B.8 扩展不确定度 $U$

取  $k=2$ ，则  $U = ku_c = 2 \times 4.4\mu\text{m} = 8.8\mu\text{m} \approx 0.01\text{mm}$ ，即对于 (50~100) mm 的  $\pi$  尺， $U/\text{MPEV} = 0.01/0.05 = 0.20 < 1/3$ 。

同理可得：(1 300~1 500) mm 的  $\pi$  尺， $U = 0.02\text{mm}$ ， $U/\text{MPEV} = 0.02/0.08 \approx 0.25 < 1/3$ 。

## 附录 C

用标准钢卷尺测量  $\pi$  尺直径示值误差的测量不确定度评定示例

## C.1 测量方法

在测量平台上,使被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺进行比较测量,下面以尺带厚度为 0.25 mm,直径测量范围为(350~500)mm、(3 000~3 250)mm 的  $\pi$  尺为例,分析其测量不确定度。

## C.2 测量模型

$\pi$  尺的示值误差按式 (C.1) 计算:

$$\Delta = D_0 - D_i \quad (\text{C.1})$$

式中:

$\Delta$ —— $\pi$  尺直径示值误差, mm;

$D_0$ —— $\pi$  尺被校点的值, mm;

$D_i$ —— $\pi$  尺被校点的

$$D_i = L_i / \pi \quad (\text{C.2})$$

式中:

$L_i$ —— $\pi$  尺被校点的长度实测值, mm;

$\bar{h}$ —— $\pi$  尺尺带的厚度, mm;

$\pi$ ——3.1415927。

考虑到校准  $\pi$  尺时温度的影响

$$D_i = (L_i - \bar{h}) / \pi \quad (\text{C.3})$$

式中:

$D$ —— $\pi$  尺被校点的值 (20 °C 条件下), mm;

$h$ —— $\pi$  尺尺带的厚度值 (20 °C 条件下), mm;

$L$ ——被校点的长度实测值 (20 °C 条件下), mm;

$\alpha$ ,  $\alpha_0$ ——分别为  $\pi$  尺和标准钢卷尺的线膨胀系数, 均为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$\Delta t$ ,  $\Delta t_0$ ——分别为  $\pi$  尺和标准钢卷尺偏离 20 °C 时的温度值。

令  $\delta_\alpha = \alpha - \alpha_0$ , 则:

$$\alpha = \delta_\alpha + \alpha_0 \quad (\text{C.4})$$

令  $\delta_t = \Delta t - \Delta t_0$ , 则:

$$\Delta t_0 = \Delta t - \delta_t \quad (\text{C.5})$$

取

$$D_1 = D + h \quad (\text{C.6})$$

$$D_2 = L / \pi \quad (\text{C.7})$$

将式 (C.4)、(C.5)、(C.6)、(C.7) 代入式 (C.3) 得:

$$\Delta = D_1 - D_2 + D_1 \delta_\alpha \cdot \Delta t + D_2 \alpha_0 \cdot \delta_t + D_1 \alpha_0 \cdot \Delta t - D_2 \alpha_0 \cdot \Delta t \quad (\text{C.8})$$

由于  $D_1 \alpha_0 \cdot \Delta t \approx D_2 \alpha_0 \cdot \Delta t$ , 则化简式 (C.8) 得:

$$\Delta = D_1 - D_2 + D_1 \delta_\alpha \cdot \Delta t + D_2 \alpha_0 \cdot \delta_t \quad (\text{C.9})$$

将式 (C.6)、(C.7) 代入式 (C.9) 得:

$$\begin{aligned}\Delta &= (D+h) - L/\pi + (D+h) \cdot \Delta t \cdot \delta_a + (L/\pi) \cdot \alpha_0 \cdot \delta_i \\ &= D(1 + \Delta t \delta_a) + h(1 + \Delta t \cdot \delta_a) - (L/\pi)(1 - \alpha_0 \cdot \delta_i)\end{aligned}\quad (\text{C.10})$$

### C.3 方差和灵敏系数

依据  $u_c^2(y) = \sum [\partial f / \partial x_i]^2 u^2(x_i)$ , 有  $u_c^2 = \sum c^2(x_i) u^2(x_i)$ , 则由式 (C.10) 得:

$$c_h = \partial \Delta / \partial h = (1 + \Delta t \cdot \delta_a) \approx 1 \quad (\delta_a = \alpha - \alpha_0 \approx 0)$$

$$c_L = \partial \Delta / \partial L = -(1 - \alpha_0 \cdot \delta_i)(1/\pi) \approx -1/\pi \quad [\alpha_0 \cdot \delta_i = \alpha_0(\Delta t - \Delta t_0) \approx 0]$$

$$c_{\delta_a} = \partial \Delta / \partial \delta_a = (D+h) \cdot \Delta t$$

$$c_{\delta_i} = \partial \Delta / \partial \delta_i = (L/\pi) \cdot \alpha_0$$

故: 
$$u_c^2 = c_h^2 u_h^2 + c_L^2 u_L^2 + c_{\delta_a}^2 u_{\delta_a}^2 + c_{\delta_i}^2 u_{\delta_i}^2$$

由于测量重复性或估读误差、读数显微镜示值误差、张紧力偏差应包含, 故输出量估计方差的完整表达式应为:

$$u_c^2 = c_h^2 u_h^2 + c_L^2 u_L^2 + c_{\delta_a}^2 u_{\delta_a}^2 + c_{\delta_i}^2 u_{\delta_i}^2 + c_g^2 u_g^2 + c_w^2 u_w^2 + c_{\Delta P}^2 u_{\Delta P}^2 \quad (\text{C.11})$$

式中:

$u_g$ —— $\pi$  尺测量重复性或估读误差引入的标准不确定度分量;

$u_w$ ——读数显微镜示值误差引入的标准不确定度分量;

$u_{\Delta P}$ ——由被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺的张紧力偏差引入的标准不确定度分量。

由式 (C.11) 得:

$$u_c = \sqrt{c_h^2 u_h^2 + c_L^2 u_L^2 + c_{\delta_a}^2 u_{\delta_a}^2 + c_{\delta_i}^2 u_{\delta_i}^2 + c_g^2 u_g^2 + c_w^2 u_w^2 + c_{\Delta P}^2 u_{\Delta P}^2} \quad (\text{C.12})$$

由于  $\pi$  尺的测量重复性或估读误差、读数显微镜示值误差带给  $\pi$  尺的影响是长度值的变化, 除以  $\pi$  才变成对应直径值的变化, 故式 (C.12) 中:  $c_g = 1/\pi$ ,  $c_w = 1/\pi$ 。

### C.4 不确定度来源

不确定度来源包括:

- 尺带厚度引入的标准不确定度  $u_h$ ;
- 标准钢卷尺引入的测量不确定度  $u_L$ ;
- 被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺的线膨胀系数差引入的标准不确定度  $u_{\delta_a}$ ;
- 被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺的温度差引入的标准不确定度  $u_{\delta_i}$ ;
- 测量重复性或估读误差引入的标准不确定度  $u_g$ ;
- 读数显微镜示值误差引入的标准不确定度  $u_w$ ;
- 由被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺的张紧力偏差引入的标准不确定度  $u_{\Delta P}$ 。

下面以 (350~500) mm 的  $\pi$  尺为例具体分析其测量不确定度, 其线膨胀系数  $\alpha = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , 其最大测量点为  $D = 477.46$  mm, 对应的长度为  $L = 1500$  mm = 1.5 m; 尺带厚度值为  $\bar{h} = 0.250$  mm, 由于尺带厚度值很小, 20  $^\circ\text{C}$  条件下的厚度值约等于 (20  $\pm$  5)  $^\circ\text{C}$  条件下的厚度值, 即  $h \approx \bar{h} = 0.250$  mm。

### C.5 标准不确定度一览表

标准不确定度一览表见表 C.1。

表 C.1 (350~500)mm 的  $\pi$  尺示值误差测量的标准不确定度一览表

| 标准不确定度分量 $u(x_i)$           | 不确定度来源                  | 标准不确定度值 $u(x_i)$                                    | $c_i = \partial f / \partial x_i$                | $ c_i \times u(x_i) $ |
|-----------------------------|-------------------------|---|--|-----------------------|
| $u_h$                       | 尺带厚度                    | 0.004 3 mm  | 1  | 0.004 3 mm            |
| $u_L$                       | 标准钢卷尺的测量不确定度和稳定性        | 0.008 8 mm  | $-1/\pi$   | 0.002 8 mm            |
| $u_{\delta_e}$              | 被校 $\pi$ 尺与标准钢卷尺的线膨胀系数差 | $0.817 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ | $2\ 388.55 \text{ mm} \cdot ^\circ\text{C}$      | 0.001 95 mm           |
| $u_{\delta_t}$              | 被校 $\pi$ 尺与标准钢卷尺的温度差    | 0.173 2 $^\circ\text{C}$                            | $0.005\ 49 \text{ mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ | 0.000 95 mm           |
| $u_g$                       | 测量重复性或估读误差              | 0.001 4 mm  | $1/\pi$  | 0.000 4 mm            |
| $u_w$                       | 读数显微镜示值误差               | 0.005 8 mm  | $1/\pi$  | 0.001 8 mm            |
| $u_{\Delta P}$              | 被校 $\pi$ 尺与标准钢卷尺的张紧力偏差  | 0.577 N   | $0.000\ 77 \text{ mm/N}$                         | 0.000 45 mm           |
| $u_c = 0.005\ 9 \text{ mm}$ |                         |   |  |                       |

## C.6 标准不确定度分量计算

C.6.1  $\pi$  尺尺带厚度引入的标准不确定度分量  $u_h$ C.6.1.1 尺带厚度测量引入的标准不确定度分量  $u_{h1}$ C.6.1.1.1 尺带厚度测量的重复性或量化误差引入的标准不确定度分量  $u_{h11}$ C.6.1.1.1.1 测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_{h111}$ 

对  $\pi$  尺某点, 在重复性条件下用数显千分尺连续测量 10 次, 数据 (单位: mm) 为: 0.250, 0.249, 0.249, 0.249, 0.248, 0.249, 0.249, 0.250, 0.249, 0.249, 则实验标准偏差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.000\ 57 \text{ mm}$$

由于尺带厚度值是 3 次测量的平均值, 则:

$$u_{h111} = s / \sqrt{n} = s / \sqrt{3} = 0.000\ 33 \text{ mm}$$

C.6.1.1.1.2 量化误差引入的标准不确定度分量  $u_{h112}$ 

分辨力为 0.001 mm 的数显千分尺的量化误差为 0.000 5 mm, 均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ , 则:

$$u_{h112} = 0.000\ 5 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0.000\ 3 \text{ mm}$$

测量重复性和量化误差, 两者中取大值, 故:

$$u_{h11} = u_{h111} = 0.000\ 33 \text{ mm}$$

C.6.1.1.2 千分尺示值误差引入的标准不确定度分量  $u_{h12}$ 

分辨力为 0.001 mm 的数显千分尺的示值误差为 0.002 mm, 均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ , 则:

$$u_{h12} = 0.002 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0.001 15 \text{ mm}$$

则: 
$$u_{h1} = \sqrt{u_{h11}^2 + u_{h12}^2} = 0.001 2 \text{ mm}$$

C.6.1.2 尺带厚度不均匀引入的标准不确定度分量  $u_{h2}$ 

由于尺带厚度不均匀而造成尺带厚度差, 其值不大于 0.01 mm, 三角分布,  $k = \sqrt{6}$ , 则:

$$u_{h2} = 0.01 \text{ mm} / \sqrt{6} = 0.004 1 \text{ mm}$$

尺带厚度测量时温度偏离标准温度 5℃, 尺带厚度值为  $h = 0.250 \text{ mm}$ , 则温度所带来的影响量为  $0.250 \times \alpha \times 5 = 0.250 \text{ mm} \times 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 5 \text{ } ^\circ\text{C} = 0.000 014 \text{ mm}$ , 忽略不计。

故: 
$$u_h = \sqrt{u_{h1}^2 + u_{h2}^2} = 0.004 3 \text{ mm}$$

C.6.2 由标准钢卷尺引入的标准不确定度分量  $u_L$ C.6.2.1 由标准钢卷尺的测量不确定度引入的标准不确定度分量  $u_{L1}$ 

标准钢卷尺的测量不确定度为  $U = 5 \text{ } \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L$ ,  $k = 2$ , 则:

$$u_{L1} = (5 \text{ } \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L) / 2 = (5 + 5 \times 1.5 \times 10^{-6}) \text{ } \mu\text{m} / 2 = 12.5 \text{ } \mu\text{m} / 2 = 6.25 \text{ } \mu\text{m} \\ = 0.006 25 \text{ mm}$$

C.6.2.2 由标准钢卷尺的稳定性引入的标准不确定度分量  $u_{L2}$ 

标准钢卷尺的稳定性为  $10^{-5} L \text{ mm}$ , 三角分布,  $k = \sqrt{6}$ , 则:

$$u_{L2} = 10^{-5} L / \sqrt{6} = 1.5 \times 10^{-5} \text{ mm} / \sqrt{6} = 0.006 1 \text{ mm}$$

故: 
$$u_L = \sqrt{u_{L1}^2 + u_{L2}^2} = 0.008 8 \text{ mm}$$

C.6.3 由被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺的线膨胀系数差引入的标准不确定度分量  $u_{\delta_2}$ 

被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺的线膨胀系数均为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , 则被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺的线膨胀系数差最大为  $2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , 三角分布,  $k = \sqrt{6}$ , 则:

$$u_{\delta_2} = 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} / \sqrt{6} = 0.817 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

校准时, 实验室温度偏离标准温度最大为  $\Delta t = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ , 则:

$$c_{\delta_2} = (D + h) \cdot \Delta t = (477.46 + 0.250) \text{ mm} \times 5 \text{ } ^\circ\text{C} = 2 388.55 \text{ mm} \cdot \text{ } ^\circ\text{C}$$

C.6.4 由被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺的温度差引入的标准不确定度分量  $u_{\delta_3}$ 

被校  $\pi$  尺与标准钢卷尺的温度差估计为  $0.3 \text{ } ^\circ\text{C}$ , 均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ ,  $\pi$  尺和标准钢卷尺的线膨胀系数均为  $11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , 则:

$$u_{\delta_3} = 0.3 \text{ } ^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.173 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_{\delta_3} = (L / \pi) \cdot \alpha = (1 500 / \pi) \text{ mm} \times 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 0.005 49 \text{ mm} \cdot \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

C.6.5  $\pi$  尺测量重复性或估读误差引入的标准不确定度分量  $u_g$ C.6.5.1  $\pi$  尺测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_{g1}$ 

对  $\pi$  尺某点示值, 在重复性条件下用读数显微镜连续测量 10 次, 得到测量列 (单位: mm): 0.290, 0.286, 0.288, 0.287, 0.288, 0.287, 0.290, 0.288, 0.290,

0.288, 则实验标准偏差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0014 \text{ mm}$$

则:

$$u_{g1} = s = 0.0014 \text{ mm}$$

C.6.5.2  $\pi$ 尺测量时估读误差引入的标准不确定度分量  $u_{g2}$

$\pi$ 尺测量时, 用分度值为 0.01 mm 的读数显微镜读数, 其估读误差为 0.001 mm, 均匀分布,  $k=\sqrt{3}$ , 则:

$$u_{g2} = 0.001 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0.0006 \text{ mm}$$

测量重复性和估读误差, 两者中取大值, 故:

$$u_g = u_{g1} = 0.0014 \text{ mm}$$

C.6.6 读数显微镜示值误差引入的标准不确定度分量  $u_w$

分度值为 0.01 mm 的读数显微镜的示值误差为 0.010 mm, 均匀分布,  $k=\sqrt{3}$ , 则:

$$u_w = 0.010 \text{ mm} / \sqrt{3} = 0.0058 \text{ mm}$$

C.6.7 由被校  $\pi$ 尺与标准钢卷尺的张紧力偏差引入的标准不确定度分量  $u_{\Delta P}$

被测  $\pi$ 尺与标准钢卷尺张紧力的偏差均为 0.5 N, 两者最大差值为 1 N, 均匀分布,  $k=\sqrt{3}$ , 则:

$$u_{\Delta P} = 1 \text{ N} / \sqrt{3} = 0.577 \text{ N}$$

由张紧力偏差引起的变形量  $\Delta L$  对应的直径变化量  $\Delta D$  为:

$$\Delta D = \Delta L / \pi = L \times \Delta P / (\pi E F) \quad (\text{C.13})$$

式中:

$\Delta P$ ——张紧力偏差;

$E$ ——弹性系数,  $21\,000 \times 9.8 \text{ N/mm}^2$ ;

$F$ —— $\pi$ 尺的横截面积,  $F=3 \text{ mm}^2$ 。

由式 (C.13) 得:

$$c_{\Delta P} = \partial \Delta D / \partial \Delta P = L / (\pi E F) = 1\,500 \text{ mm} / (\pi \times 21\,000 \times 9.8 \text{ N/mm}^2 \times 3 \text{ mm}^2) \\ = 0.00077 (\text{mm/N})$$

C.7 合成标准不确定度  $u_c$

由式 (C.11) 可得:

$$u_c = \sqrt{c_h^2 u_h^2 + c_L^2 u_L^2 + c_{\delta_e}^2 u_{\delta_e}^2 + c_{\delta_i}^2 u_{\delta_i}^2 + c_g^2 u_g^2 + c_w^2 u_w^2 + c_{\Delta P}^2 u_{\Delta P}^2} = 0.0059 \text{ mm}$$

C.8 扩展不确定度  $U$

取  $k=2$ , 则  $U = k \times u_c = 2 \times 0.0059 \text{ mm} \approx 0.012 \text{ mm}$ , 即对于 (350~500) mm 的  $\pi$ 尺,  $U/\text{MPEV} = 0.012/0.05 = 0.24 < 1/3$ 。

同理可得: 对于 (3 000~3 250) mm 的  $\pi$ 尺,  $U = 0.045 \text{ mm}$ , 则:  $U/\text{MPEV} = 0.045/0.15 = 0.30 < 1/3$ 。

## 附录 D

## 校准证书内容及内页格式

## D.1 校准证书应至少包括以下信息：

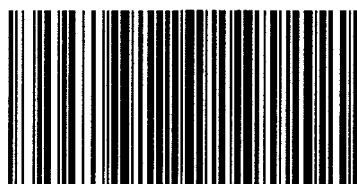
- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及测量不确定度的说明；
- m)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

## D.2 推荐的校准证书内页格式见表 D.1。

表 D.1 校准证书内页格式

| 序号 | 校准项目       | 校准结果 |
|----|------------|------|
| 1  | 标记宽度及宽度差   |      |
| 2  | 尺带厚度偏差和厚度差 |      |
| 3  | 副尺与主尺的重合度  |      |
| 4  | 副尺的间隔误差    |      |
| 5  | 直径示值误差     |      |

注：张紧力 \_\_\_\_\_



JJF 1423-2013

版权专有 侵权必究

\*

书号：155026·J-2830

定价：24.00 元