

# 天津市地方计量技术规范

JJF (津) XX-2024

## 凹槽千分尺校准规范

Calibration Specification for Groove Micrometers

(报批稿)

2024—XX—XX 发布

2024—XX—XX 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

# 凹槽千分尺校准规范

Calibration Specification

for Groove Micrometers

JJF(津) XX-2024

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

吴娟 (天津市计量监督检测科学研究院)

李斌 (天津市计量监督检测科学研究院)

齐欣 (天津市计量监督检测科学研究院)

参加起草人：

刘婷 (天津市计量监督检测科学研究院)

周卯君 (天津市计量监督检测科学研究院)

# 目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(1)
4.1 测力和测力变化.....	(2)
4.2 刻线宽度和宽度差.....	(2)
4.3 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离.....	(2)
4.4 微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线的相对位置.....	(2)
4.5 示值误差.....	(2)
5 校准条件.....	(2)
5.1 环境条件.....	(2)
5.2 校准项目和校准设备.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(3)
6.1 测力和测力变化.....	(3)
6.2 刻线宽度和宽度差.....	(3)
6.3 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离.....	(3)
6.4 微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线的相对位置.....	(3)
6.5 示值误差.....	(4)
7 校准结果的表达.....	(5)
8 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 凹槽千分尺外尺寸示值误差测量结果的不确定度评定.....	(6)
附录 B 凹槽千分尺内尺寸示值误差测量结果的不确定度评定.....	(10)
附录 C 校准证书内页格式.....	(15)

## 引言

JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范，本规范在制定中参考了GB/T1217-2022《公法线千分尺》。

本规范为首次制定。

## 凹槽千分尺校准规范

### 1 范围

本规范适用于分度值为 0.01mm，测量范围上限至 100mm 的凹槽千分尺的校准。

### 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 1217-2022 公法线千分尺

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；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

凹槽千分尺是应用螺旋副传动原理，把微分筒的回转运动转变成测微螺杆的直线运动，主要用于测量凹槽内/外孔和管材内外凹槽深度和位置关系的计量器具。凹槽千分尺是由活动凸缘、活动测杆、固定凸缘、固定套管和微分筒等组成。其外形结构如图 1 所示。

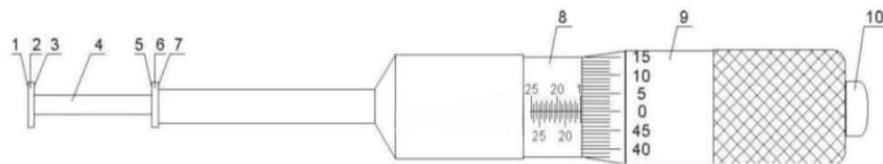


图 1 凹槽千分尺

1—活动内测量面 2—活动凸缘 3—活动外测量面 4—活动测杆 5—固定外测量面  
6—固定凸缘 7—固定内测量面 8—固定套管 9—微分筒 10—测力装置

### 4 计量特性

#### 4.1 测力和测力变化

测力一般为(5~10) N，测力变化一般不大于 2N。

#### 4.2 刻线宽度和宽度差

刻线宽度一般为(0.08~0.20) mm, 固定套管上的刻线与微分筒上的刻线的宽度差一般不大于0.03mm。

#### 4.3 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离

微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离一般不大于0.4mm。

#### 4.4 微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线的相对位置

微分筒上的零刻线与固定套管纵刻线对准时, 微分筒的端面与固定套管毫米刻线右边缘应相切, 若不相切, 压线一般不大于0.05mm, 离线一般不大于0.10mm。

#### 4.5 示值误差

凹槽千分尺示值最大允许误差一般不超过表1中的规定。

表1 示值最大允许误差

测量范围 / mm	最大允许误差 / $\mu\text{m}$
0~25, 25~50	$\pm 8$
50~75, 75~100	$\pm 10$

注: 校准工作不判断合格与否, 上述计量特性要求仅供参考。

## 5 校准条件

### 5.1 环境条件

测量凹槽千分尺的室内温度为(20 $\pm$ 5)  $^{\circ}\text{C}$ , 被测凹槽千分尺在室内平衡温度的时间应不小于2h, 室内湿度不大于70%RH。

### 5.2 校准项目和校准设备

主要校准项目和校准设备见表2。

表2 校准项目和校准设备

序号	校准项目	主要校准设备
1	测力和测力变化	2级量仪测力计
2	刻线宽度和宽度差	工具显微镜 MPE: $\pm 3\mu\text{m}$ 或读数显微镜 MPE: $\pm 0.010\text{mm}$
3	微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离	塞尺 MPE: $\pm 0.012\text{mm}$
4	微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线的相对位置	——
5	示值误差	5等量块及内尺寸测量专用检具

## 6 校准项目和校准方法

首先检查外观及各部分相互作用，确定没有影响计量特性的因素后再进行校准。

### 6.1 测力和测力变化

用 2 级量仪测力计进行测量。在全量程首尾任意位置测量 2 次，两个测量力之差为测力变化。

### 6.2 刻线宽度和宽度差

在工具显微镜或读数显微镜上进行测量。微分筒和固定套管至少各任意抽测 3 条刻线。刻线宽度差以最大值和最小值之差确定。

### 6.3 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离

用 0.4mm 塞尺置于固定套管刻线表面上用比较法测量，测量应在微分筒转动一周内不小于 3 个位置上进行。见图 2。

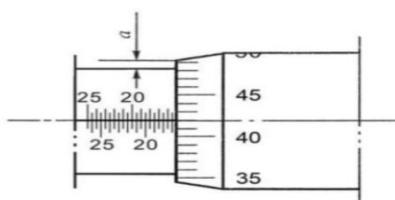
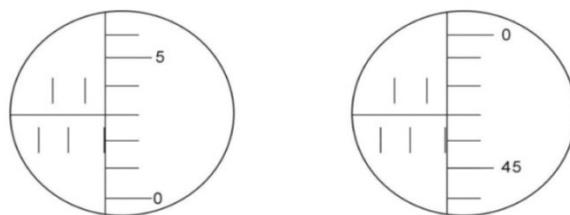


图 2 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离

### 6.4 微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线的相对位置

测量下限调整正确后，转动微分筒锥面的端面与固定套管任意毫米刻线的右边缘相切，读取微分筒上零刻线与固定套管纵向刻线的偏移量，该偏移量即为离线或压线的数值的校准值，见图 3。



(a) 压线 0.03mm

(b) 离线 0.03mm

图 3 微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置

### 6.5 示值误差

测量凹槽千分尺外尺寸示值误差时，先将外尺寸的测量下限调至正确位置，（0~25）mm 的凹槽千分尺，将两外测量面直接接触调整零位，其他测量范围的凹槽千分尺，用相应尺寸测量下限的 5 等量块调整零位。

凹槽千分尺外尺寸示值误差应在测量范围内选择均匀分布的 5 点进行测量，校准点的量块尺寸参考 GB/T 1217-2022 公法线千分尺的要求，如表 3 所示。每个点采取四个方位进行测量，如图 4 所示，计算该点 4 个方位读数与其相应量块尺寸的差值，其中绝对值最大的差值为该点的示值误差，5 个校准点中绝对值最大的示值误差为该凹槽千分尺外尺寸的示值误差。

外测量点/内测量点示值误差  $e$  可由下式（1）计算：

$$e=L_i-L_s \quad (1)$$

式中： $e$ ——示值误差，mm；

$L_i$ ——凹槽千分尺的读数值（参考温度 20℃），mm；

$L_s$ ——量块的实际值（参考温度 20℃），mm。

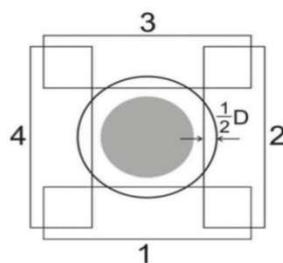


图 4 测量位置示意图

测量凹槽千分尺内尺寸示值误差时，使用相应尺寸的 5 等量块及内尺寸测量专用检具组合进行测量。凹槽千分尺内尺寸示值误差的测量方法和计算方法与外尺寸示值误差一致。

表 3 校准点尺寸

测量范围 / mm	校准点尺寸 / mm
0~25	5.12 10.24 15.36 21.50 25 或 5.12 10.25 15.37 20.50 25
25~100	A+5.12 A+10.24 A+15.36 A+21.50 A+25 或 A+5.12 A+10.25 A+15.37 A+20.50 A+25
注：表中 A 为测量下限值。测量内尺寸时，各校准点还需要加入 1.5mm 量块。	

## 7 校准结果的表达

经校准的凹槽千分尺发给校准证书。  
校准证书及内页格式见附录 B。

## 8 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。也可根据实际使用情况，由使用者自主决定复校时间间隔。

## 附录 A

## 凹槽千分尺外尺寸示值误差测量结果的不确定度评定

## A.1 测量方法

依据规范, 测量温度为  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ , 分度值为  $0.01\text{mm}$  的凹槽千分尺示值误差是在规定条件下使用 5 等量块进行的。下面仅对  $(0 \sim 25)\text{mm}$  和  $(75 \sim 100)\text{mm}$  凹槽千分尺的测量上限点外尺寸示值误差进行测量结果不确定度分析。

## A.2 测量模型

$$e = L_m - L_b + L_m \cdot \alpha_m \cdot \Delta t_m - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b \quad (\text{A.1})$$

式中:  $e$ — 凹槽千分尺外尺寸的示值误差 ( $20^\circ\text{C}$  条件下);

$L_m$ — 凹槽千分尺外尺寸的示值 ( $20^\circ\text{C}$  条件下);

$L_b$ — 量块的长度值 ( $20^\circ\text{C}$  条件下);

$\alpha_m$  和  $\alpha_b$ — 凹槽千分尺和量块的线胀系数;

$\Delta t_m$  和  $\Delta t_b$ — 凹槽千分尺和量块偏离参考温度  $20^\circ\text{C}$  的数值。

## A.3 方差和灵敏度系数

在公式 (A.1) 中:

为了简化运算, 舍去微小量, 并转化相关项影响。

令:  $\delta\alpha = \alpha_m - \alpha_b$ ;  $\delta t = \Delta t_m - \Delta t_b$ ;

$L \approx L_m \approx L_b$ ;  $\alpha \approx \alpha_m \approx \alpha_b$ ;  $\Delta t \approx \Delta t_m \approx \Delta t_b$

代入公式 (A.1) 后, 经整理可得:

$$e = L_m - L_b + L \cdot \Delta t \cdot \delta\alpha - L \cdot \alpha \cdot \delta t \quad (\text{A.2})$$

灵敏系数  $c_i$ :

$$c_1 = \partial e / \partial L_m = 1; \quad c_2 = \partial e / \partial L_b = -1$$

$$c_3 = \partial e / \partial \delta\alpha = L \cdot \Delta t; \quad c_4 = \partial e / \partial \delta t = L \cdot \alpha$$

依据不确定度传播律公式, 输出量  $e$  估计值的方差为:

$$\begin{aligned} u_c^2 &= u^2(e) = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2 + c_4^2 \cdot u_4^2 \\ &= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 \cdot u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 \cdot u_4^2 \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

## A.4 标准不确定度一览表

L=25mm

表 A.1

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	灵敏系数 $c_i$	$ c_i  \times u(x_i)$
$u_1$	估读误差	$0.58\mu\text{m}$	1	$0.58\mu\text{m}$
$u_2$	量块不确定度	$0.243\mu\text{m}$	1	$0.243\mu\text{m}$
$u_{21}$	对零量块不确定度	$0\mu\text{m}$		
$u_{22}$	读数量块不确定度	$0.243\mu\text{m}$		
$u_3$	凹槽千分尺和量块的 线胀系数差	$0.816 \times 10^{-6}\text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	$0.102\mu\text{m}$
$u_4$	凹槽千分尺和量块的 温度差	$0.173\text{C}$	$L \cdot \alpha$	$0.050\mu\text{m}$
$u_c = 0.64\mu\text{m}$				

L=100mm

表 A.2

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	灵敏系数 $c_i$	$ c_i  \times u(x_i)$
$u_1$	估读误差	$0.58\mu\text{m}$	1	$0.58\mu\text{m}$
$u_2$	量块不确定度	$0.516\mu\text{m}$	1	$0.516\mu\text{m}$
$u_{21}$	对零量块不确定度	$0.34\mu\text{m}$		
$u_{22}$	读数量块不确定度	$0.388\mu\text{m}$		
$u_3$	凹槽千分尺和量块的 线胀系数差	$0.816 \times 10^{-6}\text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	$0.408\mu\text{m}$
$u_4$	凹槽千分尺和量块的 温度差	$0.173\text{C}$	$L \cdot \alpha$	$0.199\mu\text{m}$
$u_c = 0.9\mu\text{m}$				

## A.5 标准不确定度计算

### A.5.1 读数误差引入的标准不确定度 $u_1$

选择 (0~25) mm 的凹槽千分尺, 对 25 mm 点用量块进行测量, 在重复性条件下连续测量 10 次, 经计算得出单次测量实验标准差  $s=0.48\mu\text{m}$ ,

凹槽千分尺的分度值为 0.01mm, 估读误差在 1/10 范围内为  $1\mu\text{m}$ , 估计为均匀分布, 取  $k=\sqrt{3}$ , 则分度值引入的标准不确定度为  $1\mu\text{m}/\sqrt{3} = 0.58\mu\text{m}$ 。

由此可见, 分度值的估读误差引入的不确定度分量略大于测量重复性引入的不确定

度分量，因此以分度值引入的不确定度分量作为分析结果，则：

$$u_1 = 0.58\mu\text{m}$$

#### A.5.2 量块不确定度引入的标准不确定度 $u_2$

5 等量块的测量不确定度为  $U=0.5\mu\text{m}+5\times 10^{-6}L$ ， $k=2.58$ 。

##### A.5.2.1 对零量块引起的不确定度分量 $u_{21}$

凹槽千分尺测量上限  $L=25\text{mm}$  时：

凹槽千分尺下限为零，无需对零量块，则：

$$u_{21} = 0.00\mu\text{m}$$

凹槽千分尺测量上限  $L=100\text{mm}$  时：

以 75 mm 量块对零，不确定度为  $0.875\mu\text{m}$ ， $k=2.58$ ，则：

$$u_{21} = 0.875\mu\text{m}/2.58 = 0.34\mu\text{m}$$

##### A.5.2.2 读数用量块引起的标准不确定度分量 $u_{22}$

凹槽千分尺测量上限  $L=25\text{mm}$  时：

测量点用 25mm 量块的不确定度为  $0.625\mu\text{m}$ ， $k=2.58$ ，则：

$$u_{22} = 0.625/2.58 = 0.243\mu\text{m};$$

凹槽千分尺测量上限  $L=100\text{mm}$  时：

测量点用 100mm 量块的不确定度为  $1.00\mu\text{m}$ ， $k=2.58$ ，则：

$$u_{22} = 1.00/2.58 = 0.388\mu\text{m};$$

以上两项合成，得：

$L=25\text{mm}$  时

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = \sqrt{0.000^2 + 0.243^2} = 0.243\mu\text{m}$$

$L=100\text{mm}$  时

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = \sqrt{0.34^2 + 0.388^2} = 0.516\mu\text{m}$$

#### A.5.3 凹槽千分尺和量块间线胀系数差引入的标准不确定度 $u_3$

取凹槽千分尺和量块线胀系数均为： $\alpha=(11.5\pm 1)\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$ ，两者线胀系数差  $\delta\alpha$  在  $\pm 2\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$  范围内，服从三角分布， $k=\sqrt{6}$ ，则：

$$u_3 = 2 \times 10^{-6} \text{C}^{-1} / \sqrt{6} = 0.816 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$$

#### A.5.4 凹槽千分尺和量块间的温度差引入的标准不确定度 $u_4$

凹槽千分尺和量块间有一定的温度差存在，并以等概率落于估计区间为  $(-0.3 \sim +0.3) \text{C}$  内，服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_4 = 0.3 \text{C} / \sqrt{3} = 0.173 \text{C}$$

#### A.6 合成标准不确定度

检测测量凹槽千分尺时，规范要求的温度允许偏差为  $\Delta t = \pm 5 \text{C}$ ，线胀系数取  $\alpha = 11.5 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ 。

$L = 25 \text{mm} = 0.025 \times 10^6 \mu\text{m}$  时：

$$\begin{aligned} u_c^2 &= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 \cdot u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 \cdot u_4^2 \\ &= (0.58 \mu\text{m})^2 + (0.243 \mu\text{m})^2 + (0.025 \times 10^6 \mu\text{m} \times 5 \text{C} \times 0.816 \times 10^{-6} \text{C}^{-1})^2 + (0.025 \times 10^6 \mu\text{m} \\ &\quad \times 11.5 \times 10^{-6} \text{C}^{-1} \times 0.173 \text{C})^2 \\ &= 0.408 \mu\text{m}^2 \\ u_c &= 0.64 \mu\text{m} \end{aligned}$$

$L = 100 \text{mm} = 0.1 \times 10^6 \mu\text{m}$  时：

$$\begin{aligned} u_c^2 &= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 \cdot u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 \cdot u_4^2 \\ &= (0.58 \mu\text{m})^2 + (0.516 \mu\text{m})^2 + (0.1 \times 10^6 \mu\text{m} \times 5 \text{C} \times 0.816 \times 10^{-6} \text{C}^{-1})^2 + (0.1 \times 10^6 \mu\text{m} \times \\ &\quad 11.5 \times 10^{-6} \text{C}^{-1} \times 0.173 \text{C})^2 \\ &= 0.81 \mu\text{m}^2 \\ u_c &= 0.9 \mu\text{m} \end{aligned}$$

#### A.7 扩展不确定度

取  $k = 2$ ，则扩展不确定度：

测量上限为 25mm 时

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.64 \mu\text{m} = 1.28 \mu\text{m} \approx 2 \mu\text{m}$$

测量上限为 100mm 时

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.9 \mu\text{m} = 1.8 \mu\text{m} \approx 2 \mu\text{m}$$

## 附录 B

## 凹槽千分尺内尺寸示值误差测量结果的不确定度评定

## B.1 测量方法

依据规范,测量温度为  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ,分度值为  $0.01\text{mm}$  的凹槽千分尺示值误差是在规定条件下使用 5 等量块进行的。下面仅对  $(0 \sim 25)\text{mm}$  和  $(75 \sim 100)\text{mm}$  凹槽千分尺的测量上限点内尺寸示值误差进行测量结果不确定度分析。

## B.2 测量模型

$$e = L_m - L_b + L_m \cdot \alpha_m \cdot \Delta t_m - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b \quad (\text{B.1})$$

式中:  $e$ — 凹槽千分尺内尺寸的示值误差 ( $20^\circ\text{C}$  条件下);

$L_m$ — 凹槽千分尺内尺寸的示值 ( $20^\circ\text{C}$  条件下);

$L_b$ — 量块的长度值 ( $20^\circ\text{C}$  条件下);

$\alpha_m$  和  $\alpha_b$ — 凹槽千分尺和量块的线胀系数;

$\Delta t_m$  和  $\Delta t_b$ — 凹槽千分尺和量块偏离参考温度  $20^\circ\text{C}$  的数值。

## B.3 方差和灵敏度系数

在公式 (B.1) 中:

为了简化运算,舍去微小量,并转化相关项影响。

令:  $\delta\alpha = \alpha_m - \alpha_b$ ;  $\delta t = \Delta t_m - \Delta t_b$ ;

$L \approx L_m \approx L_b$ ;  $\alpha \approx \alpha_m \approx \alpha_b$ ;  $\Delta t \approx \Delta t_m \approx \Delta t_b$

代入公式 (B.1) 后,经整理可得:

$$e = L_m - L_b + L \cdot \Delta t \cdot \delta\alpha - L \cdot \alpha \cdot \delta t \quad (\text{B.2})$$

灵敏系数  $c_i$ :

$$c_1 = \partial e / \partial L_m = 1; \quad c_2 = \partial e / \partial L_b = -1$$

$$c_3 = \partial e / \partial \delta\alpha = L \cdot \Delta t; \quad c_4 = \partial e / \partial \delta t = L \cdot \alpha$$

依据不确定度传播律公式,输出量  $e$  估计值的方差为:

$$\begin{aligned} u_c^2 &= u^2(e) = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2 + c_4^2 \cdot u_4^2 \\ &= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 \cdot u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 \cdot u_4^2 \end{aligned} \quad (\text{B.3})$$

## B.4 标准不确定度一览表

L=25mm

表 B.1

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	灵敏系数 $c_i$	$ c_i  \times u(x_i)$
$u_1$	估读误差	$0.58\mu\text{m}$	1	$0.58\mu\text{m}$
$u_2$	量块不确定度	$0.243\mu\text{m}$	1	$0.243\mu\text{m}$
$u_{21}$	对零量块不确定度	$0\mu\text{m}$		
$u_{22}$	读数量块不确定度	$0.243\mu\text{m}$		
$u_3$	凹槽千分尺和量块的 线胀系数差	$0.816 \times 10^{-6}\text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	$0.102\mu\text{m}$
$u_4$	凹槽千分尺和量块的 温度差	$0.173\text{C}$	$L \cdot \alpha$	$0.050\mu\text{m}$
$u_c = 0.65\mu\text{m}$				

L=100mm

表 B.2

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	灵敏系数 $c_i$	$ c_i  \times u(x_i)$
$u_1$	估读误差	$0.58\mu\text{m}$	1	$0.58\mu\text{m}$
$u_2$	量块不确定度	$0.517\mu\text{m}$	1	$0.517\mu\text{m}$
$u_{21}$	对零量块不确定度	$0.34\mu\text{m}$		
$u_{22}$	读数量块不确定度	$0.39\mu\text{m}$		
$u_3$	凹槽千分尺和量块的 线胀系数差	$0.816 \times 10^{-6}\text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	$0.408\mu\text{m}$
$u_4$	凹槽千分尺和量块的 温度差	$0.173\text{C}$	$L \cdot \alpha$	$0.199\mu\text{m}$
$u_c = 0.91\mu\text{m}$				

## B.5 标准不确定度计算

### B.5.1 读数误差引入的标准不确定度 $u_1$

选择 (0~25) mm 的凹槽千分尺, 对 25 mm 点用量块进行测量, 在重复性条件下连续测量 10 次, 经计算得出单次测量实验标准差  $s=0.48\mu\text{m}$ ,

凹槽千分尺的分度值为 0.01mm, 估读误差在 1/10 范围内为  $1\mu\text{m}$ , 估计为均匀分布, 取  $k=\sqrt{3}$ , 则分度值引入的标准不确定度为  $1\mu\text{m}/\sqrt{3} = 0.58\mu\text{m}$ 。

由此可见, 分度值的估读误差引入的不确定度分量略大于测量重复性引入的不确定

度分量，因此以分度值引入的不确定度分量作为分析结果，则：

$$u_1 = 0.58\mu\text{m}$$

### B.5.2 量块不确定度引入的标准不确定度 $u_2$

5 等量块的测量不确定度为  $U=0.5\mu\text{m}+5\times 10^{-6}L$ ， $k=2.58$ 。

#### B.5.2.1 对零量块引起的不确定度分量 $u_{21}$

凹槽千分尺测量上限  $L=25\text{mm}$  时：

凹槽千分尺下限为零，无需对零量块，则：

$$u_{21} = 0.00\mu\text{m}$$

凹槽千分尺测量上限  $L=100\text{mm}$  时：

以 75 mm 和 1.5mm 量块组合后对零，不确定度分别为  $0.875\mu\text{m}$  和  $0.008\mu\text{m}$ ， $k=2.58$ ，则：

$$u_{21} = \sqrt{\left(\frac{0.875}{2.58}\right)^2 + \left(\frac{0.008}{2.58}\right)^2} = 0.34\mu\text{m}$$

#### B.5.2.2 读数用量块引起的标准不确定度分量 $u_{22}$

凹槽千分尺测量上限  $L=25\text{mm}$  时：

测量点用 25mm 和 1.5mm 量块组合后使用，不确定度分别为  $0.625\mu\text{m}$  和  $0.008\mu\text{m}$ ， $k=2.58$ ，则：

$$u_{21} = \sqrt{\left(\frac{0.625}{2.58}\right)^2 + \left(\frac{0.008}{2.58}\right)^2} = 0.243\mu\text{m}$$

凹槽千分尺测量上限  $L=100\text{mm}$  时：

测量点用 100mm 和 1.5mm 量块组合后使用，不确定度分别为  $1.00\mu\text{m}$  和  $0.008\mu\text{m}$ ， $k=2.58$ ，则：

$$u_{21} = \sqrt{\left(\frac{1.00}{2.58}\right)^2 + \left(\frac{0.008}{2.58}\right)^2} = 0.39\mu\text{m}$$

以上两项合成，得：

$L=25\text{mm}$  时

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = \sqrt{0.00^2 + 0.243^2} = 0.243\mu\text{m}$$

$L=100\text{mm}$  时

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = \sqrt{0.34^2 + 0.39^2} = 0.517\mu\text{m}$$

### B.5.3 凹槽千分尺和量块间线胀系数差引入的标准不确定度 $u_3$

取凹槽千分尺和量块线胀系数均为： $\alpha=(11.5\pm 1)\times 10^{-6}\text{°C}^{-1}$ ，两者线胀系数差  $\delta\alpha$  在  $\pm 2\times 10^{-6}\text{°C}^{-1}$  范围内，服从三角分布， $k=\sqrt{6}$ ，则：

$$u_3=2\times 10^{-6}\text{°C}^{-1}/\sqrt{6}=0.816\times 10^{-6}\text{°C}^{-1}$$

### B.5.4 凹槽千分尺和量块间的温度差引入的标准不确定度 $u_4$

凹槽千分尺和量块间有一定的温度差存在，并以等概率落于估计区间为  $(-0.3\sim+0.3)\text{°C}$  内，服从均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_4=0.3\text{°C}/\sqrt{3}=0.173\text{°C}$$

## B.6 合成标准不确定度

检测测量凹槽千分尺时，规范要求的温度允许偏差为  $\Delta t=\pm 5\text{°C}$ ，线胀系数取  $\alpha=11.5\times 10^{-6}\text{°C}^{-1}$ 。

$L=25\text{mm}$  时（测量点用 25mm 和 1.5mm 量块，即  $26.5\text{mm}=0.0265\times 10^6\mu\text{m}$ ）： $u_c^2 = u_1^2 +$

$$u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 \cdot u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 \cdot u_4^2$$

$$=(0.58\mu\text{m})^2+(0.243\mu\text{m})^2+(0.0265\times 10^6\mu\text{m}\times 5\text{°C}\times 0.816\times 10^{-6}\text{°C}^{-1})^2+(0.0265\times 10^6\mu\text{m}\times 11.5\times 10^{-6}\text{°C}^{-1}\times 0.173\text{°C})^2$$

$$=0.41\mu\text{m}^2$$

$$u_c=0.65\mu\text{m}$$

$L=100\text{mm}$ （测量点用 100mm 和 1.5mm 量块，即  $101.5\text{mm}=0.1015\times 10^6\mu\text{m}$ ）时：

$$u_c^2 = u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 \cdot u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 \cdot u_4^2$$

$$=(0.58\mu\text{m})^2+(0.517\mu\text{m})^2+(0.1015\times 10^6\mu\text{m}\times 5\text{°C}\times 0.816\times 10^{-6}\text{°C}^{-1})^2+(0.1015\times 10^6\mu\text{m}\times 11.5\times 10^{-6}\text{°C}^{-1}\times 0.173\text{°C})^2$$

$$=0.82\mu\text{m}^2$$

$$u_c=0.91\mu\text{m}$$

### B.7 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则扩展不确定度：

测量上限为 25mm 时

$$U=k \cdot u_c=2 \times 0.65\mu\text{m}=1.3\mu\text{m} \approx 2\mu\text{m}$$

测量上限为 100mm 时

$$U=k \cdot u_c=2 \times 0.91\mu\text{m}=1.82\mu\text{m} \approx 2\mu\text{m}$$

## 附录 C

## 校准证书内页格式

温度：℃

相对湿度：%

序号	校准项目	校准结果	测量结果 不确定度 $U(k=2)$
1	测力和测力变化		
2	刻线宽度和宽度差		
3	微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离		
4	微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线的相对位置		
5	示值误差		

