

JJF (浙)

浙江省地方计量技术规范

JJF (浙) 1045—2021

代替 JJF (浙) 1045-2010

尖头外径千分尺校准规范

Calibration Specification for Point Outside Micrometers

2021-11-11 发布

2022-05-11 实施

浙江省市场监督管理局 发布

尖头外径千分尺校准规范

Calibration Specification for
Point Outside Micrometers



归口单位：浙江省市场监督管理局

主要起草单位：浙江省方正校准有限公司

台州市计量设备技术校准中心

浙江省计量科学研究所

参加起草单位：浙江双环传动机械股份有限公司

本规范技术条文由起草单位负责解释

主要起草人：

黄伟城（浙江省方正校准有限公司）

方 舟（浙江省方正校准有限公司）

邬振华（台州市计量设备技术校准中心）

陈 康（台州市计量设备技术校准中心）

陆 益（浙江省计量科学研究院）

参加起草人：

叶美平（浙江双环传动机械股份有限公司）

目 录

引言	(III)
1 范围	(1)
2 概述	(1)
3 计量特性	(2)
3.1 测力和测力变化	(2)
3.2 微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离	(3)
3.3 微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置	(3)
3.4 测量面的表面粗糙度	(3)
3.5 固定测砧测量面的平面度	(3)
3.6 电子数显尖头外径千分尺的示值重复性	(3)
3.7 电子数显尖头外径千分尺任意位置时数值漂移	(3)
3.8 示值误差	(3)
3.9 电子数显尖头外径千分尺的细分误差	(4)
3.10 校对用量杆	(4)
4 校准条件	(4)
4.1 环境条件	(4)
4.2 校准项目和校准设备	(4)
5 校准方法	(5)
5.1 测力和测力变化	(5)
5.2 微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离	(5)
5.3 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)
5.4 测量面的表面粗糙度	(6)
5.5 固定测砧测量面的平面度	(6)
5.6 电子数显尖头外径千分尺的示值重复性	(7)
5.7 电子数显尖头外径千分尺任意位置时数值漂移	(7)

5.8	示值误差	(7)
5.9	电子数显尖头外径千分尺的细分误差	(8)
5.10	校对用量杆	(8)
6	校准结果表达	(8)
7	复校时间间隔	(8)
附录A	尖头外径千分尺示值误差测量结果的不确定度评定	(9)
附录B	电子数显尖头外径千分尺示值误差测量结果的不确定度评定	(14)
附录C	校准证书内容及内页格式	(18)

引 言

JJF1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001《通用计量术语及定义》、JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》、GB/T6313《尖头千分尺》、GB/T36175《特殊结构的电子数显外径千分尺》共同构成支撑本校准规范编写修订工作的基础性系列规范。

本规范的修订，主要参考GB/T 6313-2018《尖头千分尺》国家标准、新颁发GB/T 36175-2018《特殊结构的电子数显外径千分尺》国家标准。本规范替代JJF(浙)1045-2010《尖头千分尺(测量范围为0~200mm)》校准规范。

与原来JJF(浙)1045-2010《尖头千分尺》相比，除了编辑性修改之外，本规范主要技术变化如下：

——规范名称改为《尖头外径千分尺》校准规范。

——将尖头外径千分尺测量范围上限修改至150mm、电子数显尖头外径千分尺的测量范围上限修改至100mm。

——修改了引用文件，将GB/T 6313《尖头千分尺》国家标准的年号修订至2018版、增加GB/T 36175《特殊结构的电子数显外径千分尺》国家标准。

——修改了尖头外径千分尺的概述和定义。

——修改了尖头外径千分尺(标尺式)结构图、电子数显尖头外径千分尺结构图(分为有刻线电子数显尖头外径千分尺和无刻线电子数显尖头外径千分尺)、删除计数器尖头外径千分尺结构图。

——删除尖头外径千分尺刻线宽度及宽度差的技术指标，并删除相应校准方法。

——删除尖头外径千分尺测微螺杆的轴向窜动和径向摆动的技术指标，并删除相应校准方法

——删除尖头外径千分尺测砧与测微螺杆测量面的相对偏移的技术指标，并删除相应校准方法。

——修改了尖头外径千分尺测力技术指标，增加电子数显尖头外径千分尺测力指标，增加尖头外径千分尺测力变化技术指标。

——修改了尖头千分尺测量面的平面度改为尖头外径千分尺固定测砧测量面的平面度。

——修改了电子数显尖头千分尺示值变动性改为电子数显尖头外径千分尺示值重复性。

——修改了尖头外径千分尺和电子数显尖头外径千分尺的校准环境要求。

——增加尖头外径千分尺测量面的表面粗糙度项目和校准方法。

——修改了尖头外径千分尺、电子数显尖头千分尺校对用量杆的尺寸偏差，删除了尺寸变动差。

——增加电子数显尖头外径千分尺示值误差测量结果的不确定度评定。

——增加校准证书内页格式。

JJF(浙)1045 的历次版本发布情况为：

JJF(浙)1045-2010

尖头外径千分尺校准规范

1 范围

本规范适用于分度值/分辨力为 0.01mm、0.001mm，测量上限至 150mm 的尖头外径千分尺的校准。

2 概述

尖头外径千分尺是利用螺旋副原理，把测微螺杆的旋转角度转换成测微螺杆的轴向位移，对尺架上两锥形球测量面或两锥形平测量面间分隔的距离进行读数的外尺寸测量器具，尖头外径千分尺按读数形式分为标尺式和电子数显式，其外形结构如图 1、图 2、图 3 所示。

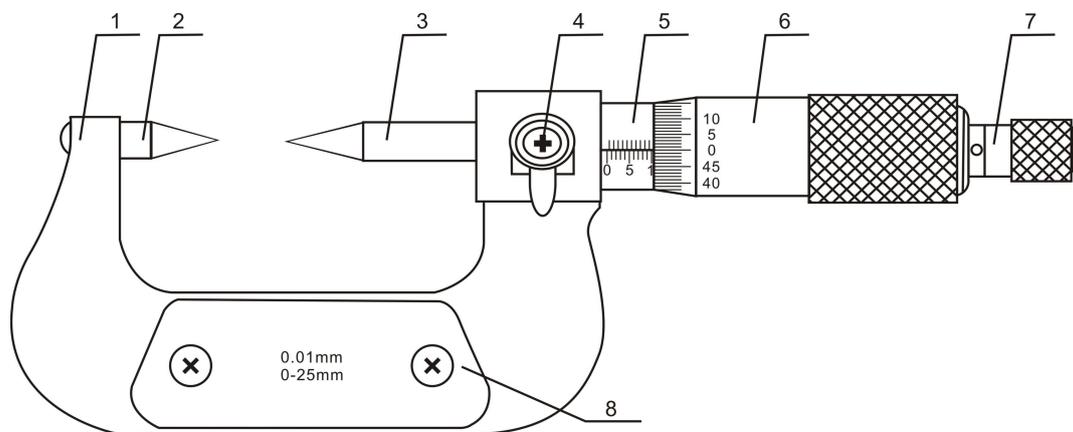


图 1 双尖头外径千分尺

- 1—尺架 2—尖头固定测砧 3—测微螺杆 4—锁紧装置 5—固定套管 6—微分筒 7—测力装置
8—隔热装置

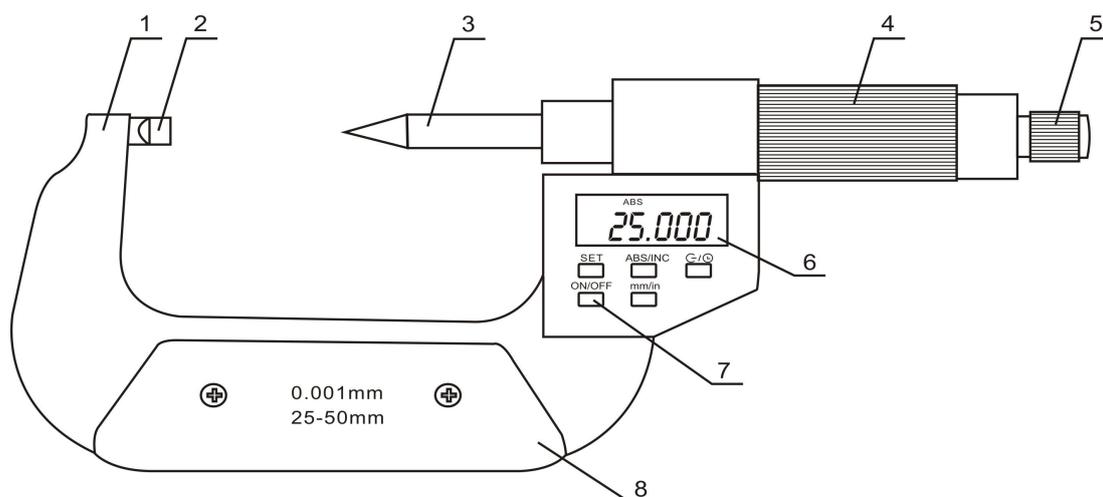


图2 电子数显无刻线单尖头外径千分尺

1—尺架 2—薄片固定测砧 3—测微螺杆 4—棘轮套测力装置 5—快速驱动装置 6—显示屏 7—功能键
8—隔热装置

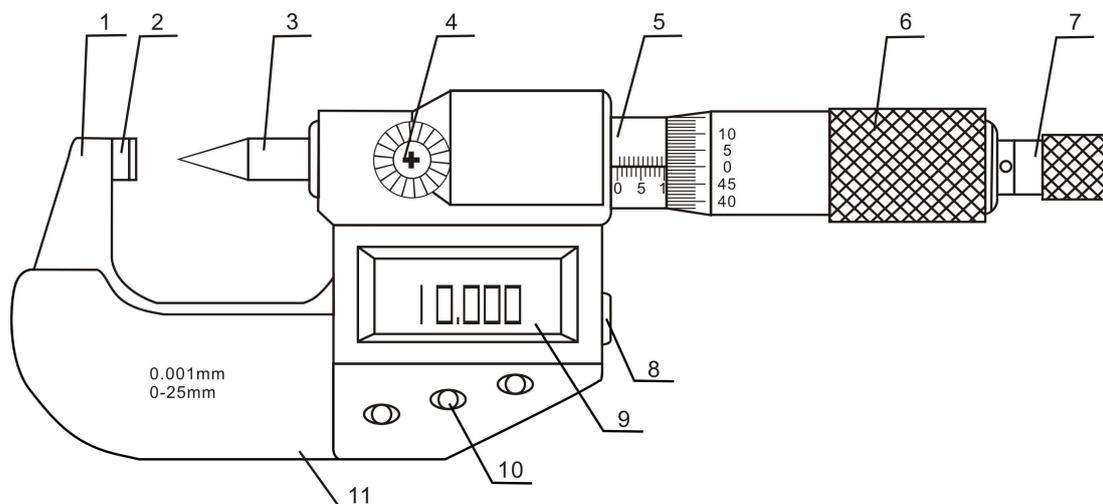


图3 电子数显带刻线单尖头外径千分尺

1—尺架 2—平面固定测砧 3—测微螺杆 4—锁紧装置 5—固定套管 6—微分筒 7—测力装置
8—数据线接口 9—显示器 10—功能键 11—隔热装置

3 计量特性

3.1 测力和测力变化

通过测力装置移动测微螺杆，使量仪测力仪的平面测量面与尖头外径千分尺尖头测量面接触的测力及测力变化应符合表 1 中的规定。

表 1 测力和测力变化

读数形式	测量范围/mm	测力/N	测力变化/N
标尺式	0~150	3~6	2
数显式	0~100	3~10	

3.2 微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离

微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离不大于 0.40mm。

3.3 微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置

当微分筒上的零标尺标记与固定套管纵标尺标记对准时，微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记右边缘应相切，若不相切，压线不大于 0.05mm，离线不大于 0.10mm。

3.4 测量面的表面粗糙度

固定测砧的测量面是平面的表面粗糙度不超过 R_a 0.05 μm ；固定测砧的测量面是尖头或薄片的表面粗糙度不超过 R_a 0.40 μm 。

3.5 固定测砧测量面的平面度

固定测砧测量面是平面的平面度应不大于 0.6 μm ；固定测砧测量面是薄片的平面度应不大于 3 μm 。

3.6 电子数显尖头外径千分尺的示值重复性

电子数显尖头外径千分尺的示值重复性不大于 1 μm 。

3.7 电子数显尖头外径千分尺任意位置时数值漂移

电子数显尖头外径千分尺在任意位置时的数值漂移应不大于 1 $\mu\text{m}/\text{h}$ 。

3.8 示值误差

尖头外径千分尺示值最大允许误差应不超过表 2 中的规定。

表 2 示值最大允许误差

测量范围/mm	最大允许误差/ μm
0~25, 25~50	± 4
50~75, 75~100	± 5
100~125, 125~150	± 6

3.9 电子数显尖头外径千分尺的细分误差

电子数显尖头外径千分尺数显装置的细分误差应不大于 $\pm 2 \mu\text{m}$ 。

3.10 校对用量杆

校对用量杆的尺寸偏差应不超过表 3 中的规定。

表 3 校对用量杆的尺寸偏差

校对用量杆标称尺寸/mm	尺寸偏差的最大允许误差/ μm
25, 50	± 1.25
75	± 1.5
100	± 2.0
125	± 2.5

注：校准工作不判断合格与否，上述计量特性要求仅供参考。

4 校准条件

4.1 环境条件

4.1.1 测量尖头外径千分尺的实验室内温度和平衡温度的时间一般不超过表 4 中的规定。

4.1.2 实验室内相对湿度不大于 70%RH。

表 4 室内温度和室内平衡温度的时间

读数形式	测量范围/mm	室内温度对 20℃ 的允许偏差/℃		平衡温度时间/h
		尖头外径千分尺	校对用量杆	
标尺式	0~100	± 5	± 3	2
	>100~150	± 3	± 2	3
数显式	0~100	± 3	± 1	3

4.2 校准项目和校准设备

尖头外径千分尺校准项目和校准设备见表 5。

表 5 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	量仪测力仪: MPE: $\pm 2.0\%$
2	微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离	工具显微镜: MPE: $\pm (1+L/100) \mu\text{m}$ 塞尺: MPE: $\pm (5\sim 16) \mu\text{m}$
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	—
4	测量面的表面粗糙度	表面粗糙度比较样板 MPE: $+12\%\sim -17\%$
5	固定测砧测量面的平面度	平面平晶 MPEV: $0.05 \mu\text{m}$ 75mm 刀口形直尺 MPEV: $1.0 \mu\text{m}$
6	电子数显尖头外径千分尺的示值重复性	5 等量块
7	电子数显尖头外径千分尺任意位置时数值漂移	—
8	示值误差	5 等量块
9	电子数显尖头外径千分尺的细分误差	微分筒或 5 等量块
10	校对用量杆	4 等量块、立式光学计 MPE: $\pm 0.25 \mu\text{m}$ 、 测长机 MPE: $\pm (0.5+L/100) \mu\text{m}$

5 校准方法

首先检查外观, 确定没有影响计量特性因素后再进行测量。

5.1 测力和测力变化

调整量仪测力仪安装位置, 确保量仪测力仪的平面测量面与尖头外径千分尺测微螺杆尖头测量面的有效接触。在测量上限、测量下限两极限位置上, 在量仪测力仪上分别读取两个测力数值, 取最大值作为测力值, 两测力数值之差作为测力变化。对于 (0~25) mm 的尖头外径千分尺, 测量下限在 10mm 处。

5.2 微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离

用 0.40mm 塞尺置于固定套管标尺标记表面上以比较法测量, 微分筒锥面的棱边上边缘不应高于塞尺的表面, 测量应在微分筒任意一周内不小于 3 个位置上进行。也可以用工具显微镜上测量, 见图 4。

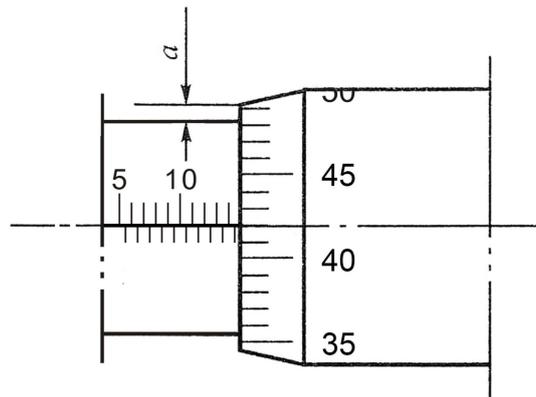


图4 微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离示意图

5.3 微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置

首先将尖头外径千分尺测量下限调整正确后，转动微分筒使其零标尺标记与固定套管的纵标尺标记对准，观察微分筒锥面的端面是否与固定套管毫米标尺标记线右边缘相切。若不相切，转动微分筒使其相切，在微分筒上读出其零标尺标记对固定套管纵标尺标记的偏移量，该偏移量即为离线或压线的数值，见图5。

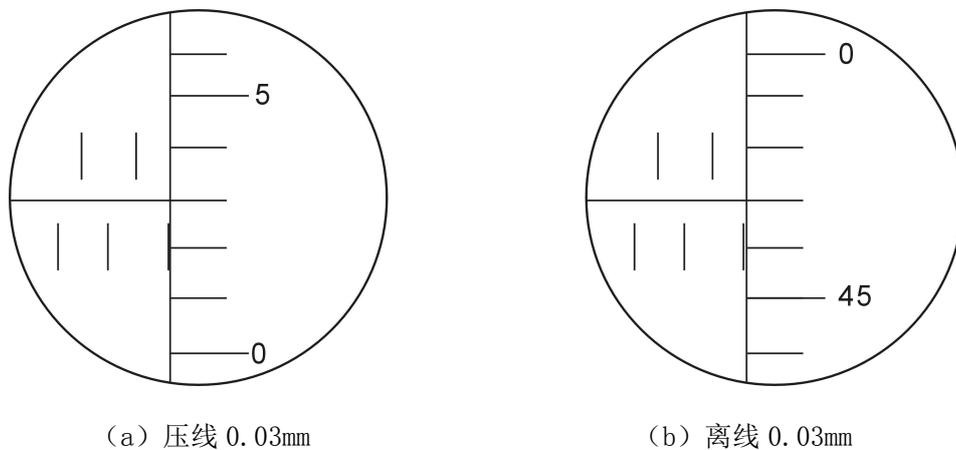


图5 微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置示意图

5.4 测量面的表面粗糙度

用表面粗糙度比较样块进行比较测量。在进行比较时，所用的表面粗糙度比较样块和被测尺的测量面两者加工方法应该相同，表面粗糙度比较样块的材料、形状、表面色泽等也应尽可能与被测尺的测量面一致。以相应表面粗糙度比较样块的标称值作为测量结果。

5.5 固定测砧测量面的平面度

5.5.1 对于尖头外径千分尺固定测砧测量面是平面的，用平面平晶以技术光波法进行测量，将平面平晶的测量面与尖头外径千分尺固定测砧测量面的平面研

合，其形成的干涉环或干涉带的最小数目为平面度的测量结果。固定测砧测量面是平面的，在距测量面边缘 0.4mm 范围内的平面度可忽略不计。

5.5.2 对于尖头外径千分尺固定测砧测量面是薄片的，用刀口形直尺以光隙法测量，将刀口形直尺的测量面与尖头外径千分尺固定测砧薄片测量面接触，根据其间隙量来确定其平面度的测量结果

5.6 电子数显尖头外径千分尺的示值重复性

在相同测量条件下重复测量五次分别读数，示值重复性以最大读数与最小读数的差值确定。

5.7 电子数显尖头外径千分尺任意位置时数值漂移

在测量范围内的任意位置锁紧测微螺杆，观察 1h 内显示值的变化不超过规定值。

5.8 示值误差

尖头外径千分尺示值误差用 5 等专用量块进行测量。尖头外径千分尺的校准点应均匀分布在测量范围内的 5 点上，如表 6 中所示。读取各校准点的尖头外径千分尺指示值或显示值与各相应量块实际尺寸的差值作为该点示值误差，取各校准点中绝对值最大值的示值误差作为该尖头外径千分尺的示值误差，示值误差均不应超过表 2 中的规定。

测量上限大于 100mm 的尖头外径千分尺，将专用量块依次研合在相当于尖头外径千分尺测量范围下限的 5 等量块上依次进行测量。示值误差均不应超过表 2 中的规定。

尖头外径千分尺示值误差 e 可由下式计算：

$$e=L_i-L_s$$

式中：

L_i —尖头外径千分尺的示值（20℃条件下），mm；

L_s —量块的实际值（20℃条件下），mm。

表 6 示值误差校准点的量块尺寸

测量范围/mm	量块标称尺寸/mm													
0~25	5.12	10.24	15.36	21.50	25 或 2.5	5.1	7.7	10.3	12.9	15	17.6	20.2	22.8	25
>25	A+5.12	A+10.24	A+15.36	A+21.50	A+25 或 A+2.5	A+5.1	A+7.7	A+10.3	A+12.9	A+15	A+17.6	A+20.2	A+22.8	A+25

注：表中 A 为测量下限值

5.9 电子数显尖头外径千分尺的细分误差

在测量范围任一位置上,沿测量方向转动微分筒,每间隔 0.04mm 测量一次,共测量 12 点,如表 7 所示,分别读出各测量点数显装置上的显示值与微分筒读数数值之差。其最大差值应符合规定的要求。对于没有微分筒的电子数显尖头外径千分尺,可用量块测量。

表 7 细分误差校准点的量块尺寸

测量范围/mm	量块标称尺寸/mm
0~25	1.04 1.08 1.12 1.16 1.20 1.24 1.28 1.32 1.36 1.40 1.44 1.48
>25	A+1.04 A+1.08 A+1.12 A+1.16 A+1.20 A+1.24 A+1.28 A+1.32 A+1.36 A+1.40 A+1.44 A+1.48
注:表中 A 为测量下限值	

5.10 校对用量杆

校对用量杆尺寸偏差在光学计或测长机上采用 4 等量块以比较法进行测量。对于平测量面的校对用量杆应采用球面测帽在图 6 所示的 5 点上测量,各点尺寸偏差不应超过表 3 的规定。

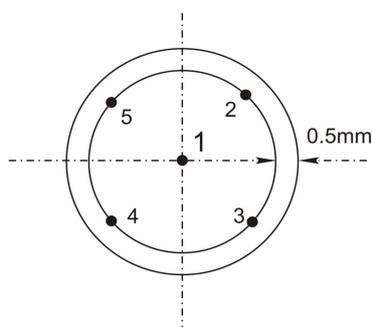


图 6 测量校对用量杆尺寸偏差示意图

6 校准结果表达

经校准的尖头外径千分尺发给校准证书。

校准证书及内页格式见附录 C。

7 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由尖头外径千分尺的使用情况、使用者、尖头外径千分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。一般情况下,建议复校时间间隔为一年。

附录 A

尖头外径千分尺示值误差测量结果的不确定度评定

A.1 测量方法

依据本规范, 测量范围小于 100mm 时, 测量温度为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, 测量范围大于 100mm 时, 测量温度为 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$, 分度值为 0.01mm 尖头外径千分尺示值误差的测量是在规定条件下用 5 等量块进行的。下面仅对 $(0 \sim 25)$ mm、 $(75 \sim 100)$ mm、 $(125 \sim 150)$ mm 尖头外径千分尺的测量上限点的示值误差, 进行测量结果的测量不确定度分析。

A.2 测量模型

尖头外径千分尺的示值误差 e :

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

式中: L_m —— 尖头外径千分尺的示值 (20°C 条件下);

L_b —— 量块的长度值 (20°C 条件下);

α_m 和 α_b —— 分别是尖头外径千分尺和量块的线胀系数;

Δt_m 和 Δt_b —— 分别是尖头外径千分尺和量块偏离参考温度 20°C 的数值。

A.3 方差和灵敏度系数

在公式 (A.1) 中: 为简化运算, 舍去微小量, 并转化相关项影响。

$$\text{令: } L \approx L_m \approx L_b \quad \alpha \approx \alpha_m \approx \alpha_b \quad \Delta t \approx \Delta t_m \approx \Delta t_b$$

$$\delta\alpha = \alpha_m - \alpha_b \quad \delta t = \Delta t_m - \Delta t_b$$

代入公式 (A.1) 后, 经整理得:

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

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 不确定度来源分析

A.4.1、测量重复性引入的不确定度 u_1 ;

A.4.2、量块引入的不确定度 u_2 ;

A.4.3、尖头外径千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度 u_3 ;

A.4.4、尖头外径千分尺和量块的温度差引入不确定度 u_4 。

A.5 标准不确定度一览表

L=25mm

表 A.1 不确定度概算汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (μm)	c_i	$ c_i \times u(x_i)$ (μm)
u_1	测量重复性	0.50	1	0.50
u_2	量块引入的不确定度	0.23	-1	0.23
u_3	尖头外径千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度	$0.58 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	0.07
u_4	尖头外径千分尺和量块的温度差引入不确定度	0.173C	$L \cdot \alpha$	0.05
$u_c = 0.51 \mu\text{m}$				

L=100mm

表 A.2 不确定度概算汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (μm)	c_i	$ c_i \times u(x_i)$ (μm)
u_1	测量重复性	0.50	1	0.50
u_2	量块引入的不确定度	0.42	-1	0.49
u_3	尖头外径千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度	$0.58 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	0.29
u_4	尖头外径千分尺和量块的温度差引入不确定度	0.173C	$L \cdot \alpha$	0.20
$u_c = 0.78 \mu\text{m}$				

L=150mm

表 A.3 不确定度概算汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (μm)	c_i	$ c_i \times u(x_i)$ (μm)
u_1	测量重复性	0.50	1	0.50
u_2	量块引入的不确定度	0.69	-1	0.62
u_3	尖头外径千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度	$0.58 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	0.26
u_4	尖头外径千分尺和量块的温度差引入不确定度	0.173C	$L \cdot \alpha$	0.30
$u_c = 0.89 \mu\text{m}$				

A.6 标准不确定度计算

A.6.1 尖头外径千分尺测量重复性引入的不确定度分量 u_1

以 25.00mm 示值为例, 尖头外径千分尺用 5 等量块进行测量, 重复测量 10 次, 由贝塞尔公式得实验标准差

$$u_1 = s = 0.50 \mu\text{m}$$

A.6.2 由对零位量块引入的不确定度分量 u_{21} 和校准点量块引入的不确定度分

量 u_{22} 组成不确定度 u_2 的评定。

A. 6. 2. 1 由对零位量块引入的不确定度为分量 u_{21}

5 等量块的测量不确定度为: $(0.50 \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L_n)$, $k=2.7$ 。
尖头外径千分尺测量上限 $L=25\text{mm}$ 时:
被测量尖头外径千分尺下限为零, 不用对零量块, 则:

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

尖头外径千分尺测量上限 $L=100\text{mm}$ 时:
以 75mm 量块对零, 不确定度为 $0.875 \mu\text{m}$,

$$u_{21} = 0.875 \mu\text{m} / 2.7 = 0.32 \mu\text{m};$$

尖头外径千分尺测量上限 $L=150\text{mm}$ 时:
以 125mm 量块对零, 不确定度为 $1.125 \mu\text{m}$,

$$u_{21} = 1.125 \mu\text{m} / 2.7 = 0.42 \mu\text{m};$$

A. 6. 2. 2 校准点量块引入的不确定度为分量 u_{22}

5 等量块的测量不确定度为 $(0.50 \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L_n)$, $k=2.7$ 。
尖头外径千分尺测量上限 25mm 时:

$$u_{22} = (0.50 + 5 \times 25 \times 10^3 \times 10^{-6}) \mu\text{m} / 2.7 = 0.23 \mu\text{m}$$

尖头外径千分尺测量上限 100mm 时:

$$u_{22} = (0.50 + 5 \times 100 \times 10^3 \times 10^{-6}) \mu\text{m} / 2.7 = 0.37 \mu\text{m}$$

尖头外径千分尺测量上限 150mm 时:

$$u_{22} = (0.50 + 5 \times 150 \times 10^3 \times 10^{-6}) \mu\text{m} / 2.7 = 0.46 \mu\text{m}$$

$L=25\text{mm}$ 时:

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = \sqrt{0.00^2 + 0.23^2} = 0.23 \mu\text{m}$$

$L=100\text{mm}$ 时:

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = \sqrt{0.32^2 + 0.37^2} = 0.49 \mu\text{m}$$

$L=150\text{mm}$ 时:

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = \sqrt{0.42^2 + 0.46^2} = 0.62 \mu\text{m}$$

A. 6. 3 尖头外径千分尺与量块间线胀系数差引入的不确定度 u_3

尖头外径千分尺与量块间线胀系数均为: $\alpha = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$; 线胀系 δ
 a 的界限为 $\pm 1 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$, 服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_3 = 1 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1} / \sqrt{3} = 0.58 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1}$$

A.6.4 尖头外径千分尺和量块间的温度差引入的不确定度 u_4

尖头外径千分尺和量块间的温度差存在, 并以等概率落于估计区间 $(-0.2 \sim +0.2) \text{°C}$ 范围内, $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_4 = 0.2 \text{°C} / \sqrt{3} = 0.173 \text{°C}$$

A.7 合成标准不确定度 u_c

校准测量范围不超过 100mm 尖头外径千分尺时, 校准规范要求温度允许偏差为 $\Delta t = \pm 5 \text{°C}$; 校准测量范围大于 100mm 尖头外径千分尺时, 校准规范要求温度允许偏差为 $\Delta t = \pm 3 \text{°C}$, 量块的线胀系数 $a = 11.5 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1}$ 。

尖头外径千分尺 $L = 25 \text{mm} = 0.025 \times 10^6 \mu\text{m}$ 时:

$$\begin{aligned} u_c^2 &= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 u_3^2 + (L \cdot a)^2 \cdot u_4^2 \\ &= (0.50)^2 + (0.23)^2 + (0.025 \times 10^6 \mu\text{m} \times 5 \text{°C} \\ &\quad \times 0.58 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1})^2 + (0.025 \times 10^6 \mu\text{m} \\ &\quad \times 11.5 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1} \times 0.173 \text{°C})^2 \\ &= 0.26 \mu\text{m} \\ u_c &= 0.51 \mu\text{m} \end{aligned}$$

尖头外径千分尺 $L = 100 \text{mm} = 0.10 \times 10^6 \mu\text{m}$ 时:

$$\begin{aligned} u_c^2 &= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 u_3^2 + (L \cdot a)^2 \cdot u_4^2 \\ &= (0.50)^2 + (0.49)^2 + (0.10 \times 10^6 \mu\text{m} \times 5 \text{°C} \\ &\quad \times 0.58 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1})^2 + (0.10 \times 10^6 \mu\text{m} \\ &\quad \times 11.5 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1} \times 0.173 \text{°C})^2 \\ &= 0.61 \mu\text{m} \\ u_c &= 0.78 \mu\text{m} \end{aligned}$$

尖头外径千分尺 $L = 150 \text{mm} = 0.150 \times 10^6 \mu\text{m}$ 时:

$$\begin{aligned} u_c^2 &= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 u_3^2 + (L \cdot a)^2 \cdot u_4^2 \\ &= (0.50)^2 + (0.62)^2 + (0.150 \times 10^6 \mu\text{m} \times 3 \text{°C} \\ &\quad \times 0.58 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1})^2 + (0.150 \times 10^6 \mu\text{m} \\ &\quad \times 11.5 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1} \times 0.173 \text{°C})^2 \\ &= 0.79 \mu\text{m} \\ u_c &= 0.89 \mu\text{m} \end{aligned}$$

A.8 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$

尖头外径千分尺:

$$L=25\text{mm 时: } U=k \times u_c = 2 \times 0.51 \mu\text{m} \approx 1.0 \mu\text{m}$$

$$L=100\text{mm 时: } U=k \times u_c = 2 \times 0.78 \mu\text{m} \approx 1.6 \mu\text{m}$$

$$L=150\text{mm 时: } U=k \times u_c = 2 \times 0.89 \mu\text{m} \approx 1.8 \mu\text{m}$$

经分析, 校准尖头外径千分尺示值误差的扩展不确定度与其最大允许误差的绝对值之比基本满足三分之一关系, 可以开展校准。

附录 B

电子数显尖头外径千分尺示值误差测量结果的不确定度评定

B.1 测量方法

依据本规范, 测量范围 (0~100) mm, 测量温度为 (20±3) °C。分辨率为

0.001mm 电子数显尖头外径千分尺示值误差的测量是在规定条件下用 5 等量块进行的。下面仅对 (0~25) mm、(75~100) mm 电子数显尖头外径千分尺的测量范围上限点的示值误差, 进行测量结果的测量不确定度分析。

B.2 测量模型

电子数显尖头外径千分尺的示值误差 e :

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

式中: L_m —电子数显尖头外径千分尺的示值 (20℃条件下);

L_b —量块的长度 (20℃条件下);

α_m 和 α_b —分别是电子数显尖头外径千分尺和量块的线胀系数;

Δt_m 和 Δt_b —分别是电子数显尖头外径千分尺和量块偏离参考温度 20℃ 的数值。

B.3 方差和灵敏度系数

在公式(B.1)中:为简化运算,舍去微小量,转化相关项影响。

$$\text{令: } L \approx L_m \approx L_b \quad \alpha \approx \alpha_m \approx \alpha_b \quad \Delta t \approx \Delta t_m \approx \Delta t_b$$

$$\delta\alpha = \alpha_m - \alpha_b \quad \delta t = \Delta t_m - \Delta t_b$$

代入公式(B.1)后,经整理得:

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

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 的估计值方差为:

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

B.4 不确定度来源分析

B.4.1 测量重复性引入的不确定度 u_1 ;

B.4.2 量块引入的不确定度 u_2 ;

B.4.3 电子数显尖头外径千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度 u_3 ;

B.4.4 电子数显尖头外径千分尺和量块的温度差引入不确定度 u_4 。

B.5 标准不确定度一览表

L=25mm

表 B.1 不确定度概算汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (μm)	c_i	$ c_i \times u(x_i)$ (μm)
u_1	测量重复性	0.30	1	0.30
u_2	量块引入的不确定度	0.23	-1	0.23
u_3	电子数显尖头外径千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度	$0.58 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	0.04
u_4	电子数显尖头外径千分尺和量块的温度差引入不确定度	$0.115 \text{ } ^\circ\text{C}$	$L \cdot \alpha$	0.03
$u_c = 0.37 \mu\text{m}$				

L=100mm

表 B.2 不确定度概算汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (μm)	c_i	$ c_i \times u(x_i)$ (μm)
u_1	测量重复性	0.30	1	0.30
u_2	量块引入的不确定度	0.49	-1	0.49
u_3	电子数显尖头外径千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度	$0.58 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	0.17
u_4	电子数显尖头外径千分尺和量块的温度差引入不确定度	$0.115 \text{ } ^\circ\text{C}$	$L \cdot \alpha$	0.13
$u_c = 0.62 \mu\text{m}$				

B.6 标准不确定度计算

B.6.1 电子数显尖头外径千分尺测量重复性引入的不确定度分量 u_1

以 25.00. mm 示值为例, 电子数显尖头外径千分尺用 5 等量块进行测量, 重复测量 10 次, 由贝塞尔公式得实验标准差

$$u_1 = s = 0.30 \mu\text{m}$$

电子数显尖头外径千分尺分辨力为 0.001mm, 等概率分布在区间半宽 0.5 μm 内, 则由电子数显分辨力引入的不确定度为: $\frac{0.5}{\sqrt{3}} \mu\text{m} = 0.29 \mu\text{m}$

由此可见, 电子数显尖头外径千分尺分辨力引入的不确定度分量小于电子数显尖头外径千分尺测量重复性引入的不确定度分量, 因此电子数显尖头外径千分尺测量重复性引入的不确定度分量作为 u_1 。

B.6.2 由对零位量块引入的不确定度分量 u_{21} 和校准点量块引入的不确定度分量 u_{22} 组成不确定度 u_2 的评定。

B. 6. 2. 1 由对零位量块引入的不确定度为分量 u_{21}

5 等量块的测量不确定度为: $(0.50 \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L_n)$, $k=2.7$ 。

电子数显尖头外径千分尺测量上限 $L=25\text{mm}$ 时:

被测量电子数显尖头外径千分尺下限为零, 不用对零量块, 则:

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

电子数显尖头外径千分尺测量上限 $L=100\text{mm}$ 时:

以 75mm 量块对零, 不确定度为 $0.875 \mu\text{m}$,

$$u_{21} = 0.875 \mu\text{m} / 2.7 = 0.32 \mu\text{m};$$

B. 6. 2. 2 校准点量块引入的不确定度为分量 u_{22}

5 等量块的测量不确定度为 $(0.5 \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L_n)$, $k=2.7$ 。

电子数显尖头外径千分尺测量上限 25mm 时:

$$u_{22} = (0.50 + 5 \times 25 \times 10^3 \times 10^{-6}) \mu\text{m} / 2.7 = 0.23 \mu\text{m}$$

电子数显尖头外径千分尺测量上限 100mm 时:

$$u_{22} = (0.50 + 5 \times 100 \times 10^3 \times 10^{-6}) \mu\text{m} / 2.7 = 0.37 \mu\text{m}$$

$L=25\text{mm}$ 时:

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = \sqrt{0.00^2 + 0.23^2} = 0.23 \mu\text{m}$$

$L=100\text{mm}$ 时:

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = \sqrt{0.32^2 + 0.37^2} = 0.49 \mu\text{m}$$

B. 6. 3 电子数显尖头外径千分尺与量块间线胀系数差引入的不确定度 u_3

电子数显尖头外径千分尺与量块间线胀系数均为: $\alpha = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

线胀系数 $\delta \alpha$ 的界限为 $\pm 1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 服从均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_3 = 1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} / \sqrt{3} = 0.58 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

B. 6. 4 电子数显尖头外径千分尺和量块间的温度差引入的不确定度 u_4

电子数显尖头外径千分尺和量块间的温度差存在, 并以等概率落于估计区间为 $(-0.2 \sim +0.2) \text{ } ^\circ\text{C}$ 范围内, $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_4 = 0.2 \text{ } ^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.115 \text{ } ^\circ\text{C}$$

B. 7 合成标准不确定度 u_c

校准测量范围不超过 100mm 的电子数显尖头外径千分尺时, 校准规范要求的温度允许偏差为 $\Delta t = \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

电子数显尖头外径千分尺 $L=25\text{mm} = 0.025 \times 10^6 \mu\text{m}$ 时:

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

$$\begin{aligned}
&= (0.30)^2 + (0.23)^2 + (0.025 \times 10^6 \mu\text{m} \times 3^\circ\text{C} \\
&\quad \times 0.58 \times 10^{-6} \text{C}^{-1})^2 + (0.025 \times 10^6 \mu\text{m} \\
&\quad \times 11.5 \times 10^{-6} \text{C}^{-1} \times 0.115^\circ\text{C})^2 \\
&= 0.14 \mu\text{m} \\
u_c &= 0.37 \mu\text{m}
\end{aligned}$$

电子数显尖头外径千分尺 $L=100\text{mm}=0.10 \times 10^6 \mu\text{m}$ 时:

$$\begin{aligned}
u_c^2 &= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 u_3^2 + (L \cdot a)^2 \cdot u_4^2 \\
&= (0.30)^2 + (0.49)^2 + (0.10 \times 10^6 \mu\text{m} \times 3^\circ\text{C} \\
&\quad \times 0.58 \times 10^{-6} \text{C}^{-1})^2 + (0.10 \times 10^6 \mu\text{m} \times \\
&\quad 11.5 \times 10^{-6} \text{C}^{-1} \times 0.115^\circ\text{C})^2 \\
&= 0.38 \mu\text{m} \\
u_c &= 0.62 \mu\text{m}
\end{aligned}$$

B.8 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$

电子数显尖头外径千分尺:

$$L=25\text{mm} \text{ 时: } \quad U=k \times u_c = 2 \times 0.37 \mu\text{m} \approx 0.7 \mu\text{m}$$

$$L=100\text{mm} \text{ 时: } \quad U=k \times u_c = 2 \times 0.62 \mu\text{m} \approx 1.2 \mu\text{m}$$

经分析,校准电子数显尖头外径千分尺示值误差的扩展不确定度与其最大允许误差的绝对值之比基本满足三分之一关系,可以开展校准。

附录 C

校准证书内容及内页格式

C.1 校准证书应至少包括以下信息:

a) 标题,如“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的应用有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应对被校抽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, 以及签发日期;
- 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。

C. 2 校准证书内页格式

校准证书内页格式见表 C. 1

表 C.1 校准证书内页格式

温度: °C

相对湿度: %

序号	校准项目	校准结果
1	测力和测力变化	
2	微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离	
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	
4	测量面的表面粗糙度	
5	固定测砧测量面的平面度	
6	电子数显尖头外径千分尺的示值重复性	
7	电子数显尖头外径千分尺任意位置时数值漂移	
8	示值误差	
9	电子数显尖头外径千分尺的细分误差	
10	校对用量杆	

