# 测量内尺寸千分尺校准规范

**Calibration Specification for Micrometers for Measuring Inside Dimension**

**JJF 1091—2002**
代替 **JJG 378—1985**
**JJG 23—1988**

本规范经国家质量监督检验检疫总局于2002年11月04日批准，并自2003年05月04日起施行。

**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：** 黑龙江省计量检定测试院

**参加起草单位：** 青海量具刃具有限责任公司

本规范由归口单位负责解释

**本规范主要起草人：**

张黎平　（黑龙江省计量检定测试院）

梁玉红　（黑龙江省计量检定测试院）

马钟焕　（吉林省计量检定测试院）

**参加起草人：**

刘文滨　（黑龙江省计量检定测试院）

张洪玲　（青海量具刃具有限责任公司）

李旭辉　（黑龙江省计量检定测试院）

# 测量内尺寸千分尺校准规范

## 1 范围

本规范适用于分度值为0.01mm，测量范围为（5～150）mm的内测千分尺及分度值为0.005mm、0.01mm，测量范围为（6～200）mm的孔径千分尺（三爪内径千分尺）的校准。

## 2 引用文献

本规范引用下列文献：

GB/T6314—1986 三爪内径千分尺

JB/T10006—1999 内测千分尺

JJF1001—1998 通用计量术语及定义

JJF1059—1999 测量不确定度评定与表示

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

## 3 概述

内测千分尺是一种螺旋副结构、将回转运动变为直线运动的计量器具，主要用于测量内尺寸，它的外形结构见图1。

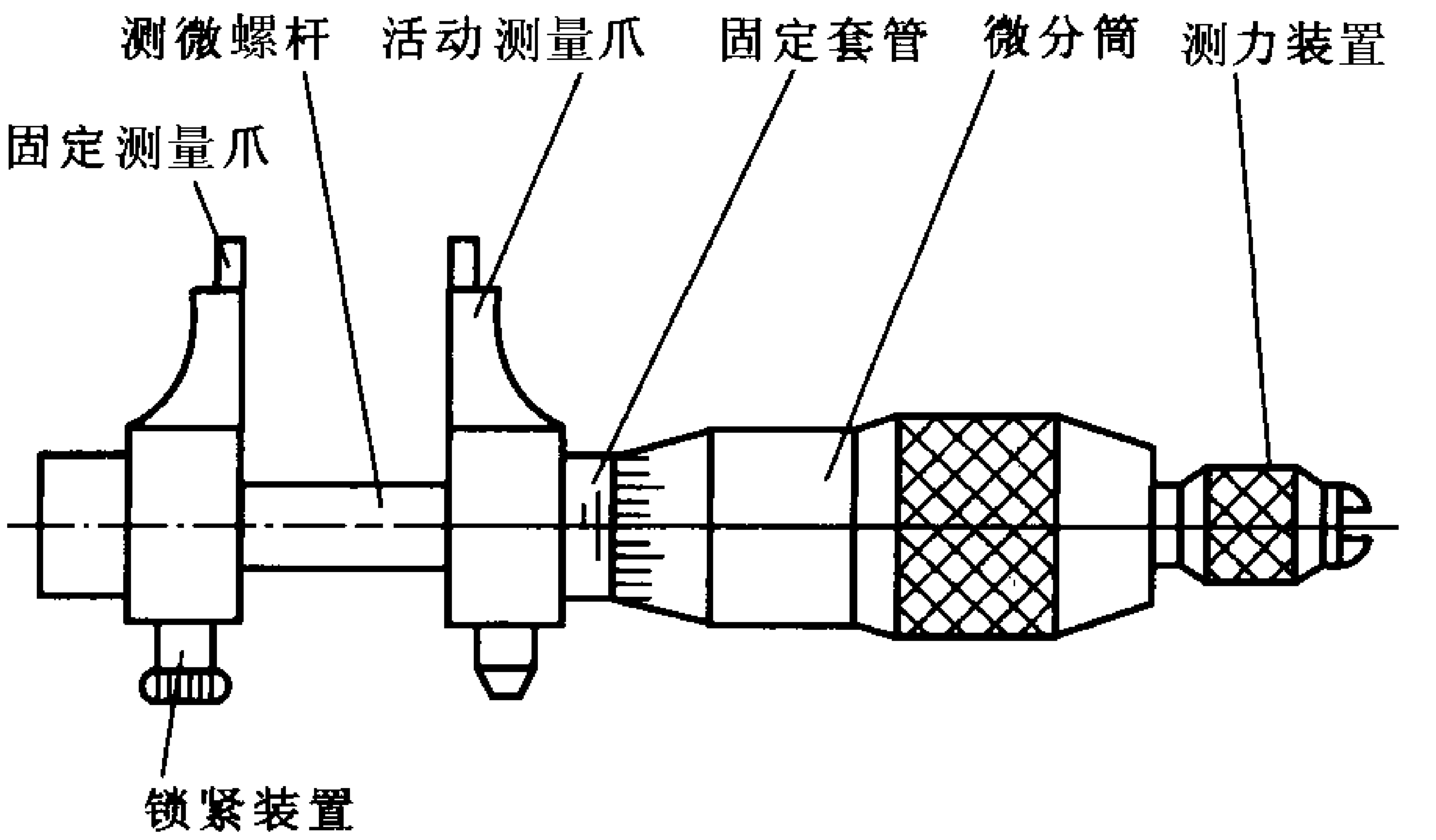



图 1

孔径千分尺是利用螺纹锥体（或光面锥体）的转动（或移动）来推动三只测量爪进行孔径测量的计量器具，它的外形结构见图2。

内测千分尺通常制成下列系列（单位mm）：

5～30；25～50；50～75；75～100；100～125；125～150。

孔径千分尺通常制成下列系列（单位mm）：

6～8；8～10；10～12；11～14；14～17；17～20；20～25；25～30；30～35；35～40；40～50；50～60；60～70；70～80；80～90；90～100；100～125；125～150；150～

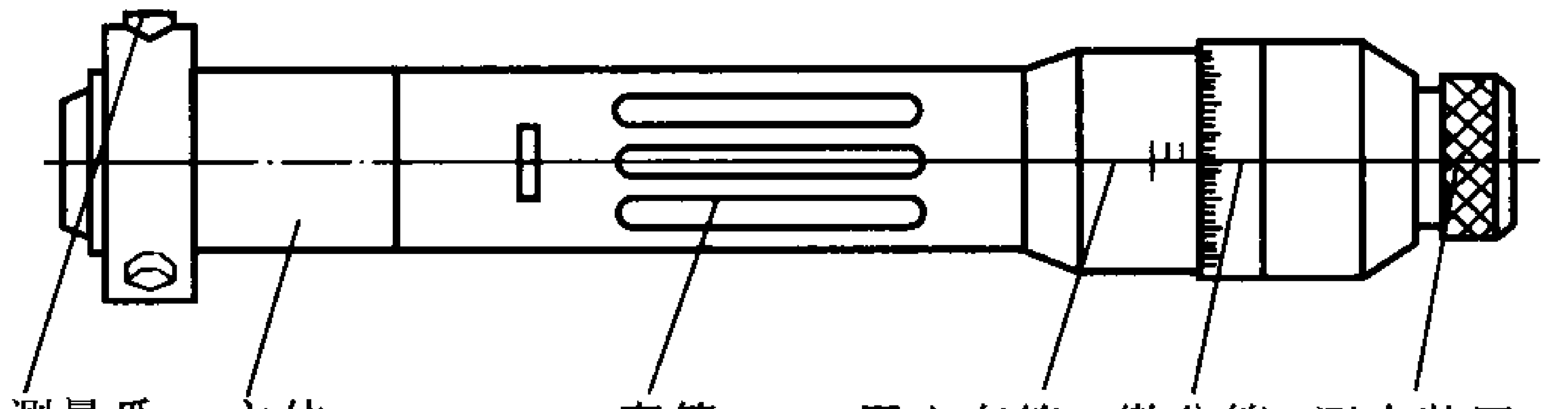



图 2

175；175～200。

## 4 计量特性

4.1 测力

4.1.1 内测千分尺的测力为（5～9）N。

4.1.2 孔径千分尺的测力为（10～35）N。

4.2 刻线宽度及宽度差

固定套管纵刻线和微分筒上的刻线宽度为（0.15～0.20）mm，刻线宽度差在（0～0.03）mm 范围内。

4.3 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离

测量内尺寸千分尺微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离在（0～0.4）mm 范围内，见图 3 中 $a$。

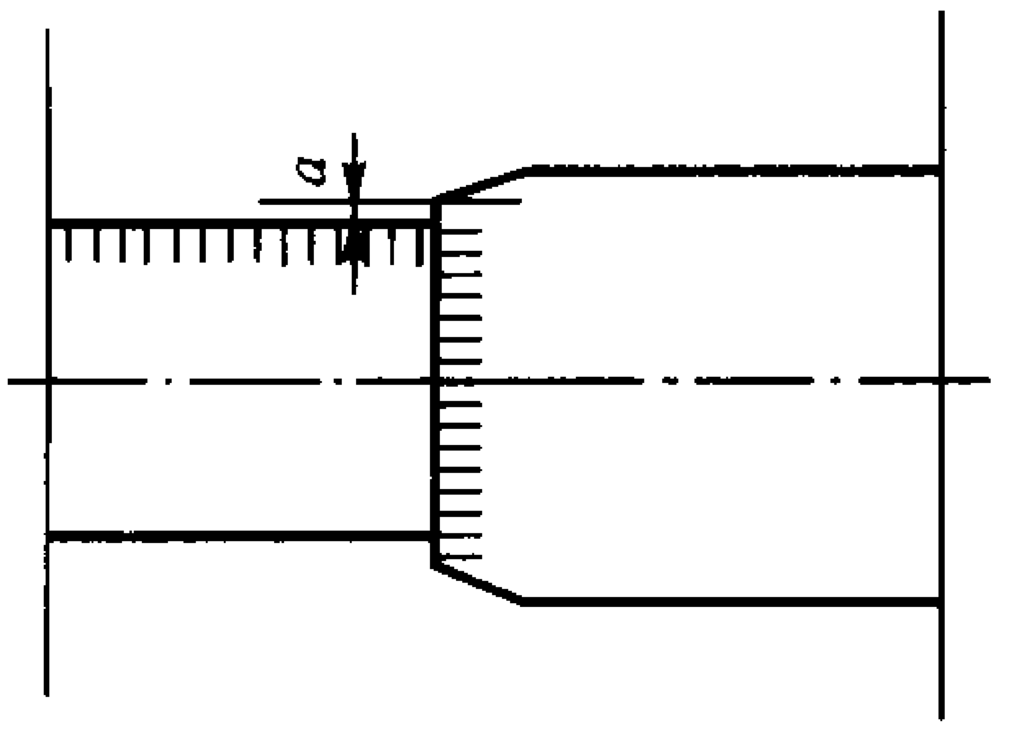



图 3

4.4 微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线的相对位置

当微分筒零刻线与固定套管纵刻线对准后，微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线的右边缘应相切。若不相切，压线在（0～0.05）mm 范围内，离线在（0～0.1）mm 范围内。

4.5 测量面的表面粗糙度

测量爪测量面的表面粗糙度 $R_a 0.2\mu m$。

4.6 测量爪测量面的圆弧半径及素线平行度

4.6.1 测量内尺寸千分尺测量爪测量面的圆弧半径小于测量下限尺寸的一半。

4.6.2 内测千分尺应校准素线平行度：新制的在（0～0.002）mm 范围内，使用中及修理后的在（0～0.003）mm 范围内。

4.7 示值误差

测量内尺寸千分尺的示值误差在表1规定的范围内。

表1 测量内尺寸千分尺的示值误差 mm

| 被校尺的名称 | 测量范围 | 示值误差 |
|---|---|---|
| 孔径千分尺 | 6～40 | ±0.004 |
| | >40～100 | ±0.006 |
| | >100～200 | ±0.010 |
| 内测千分尺 | 5～50 | ±0.008 |
| | >50～100 | ±0.010 |
| | >100～150 | ±0.012 |

4.8 校对用的环规直径偏差及直径变动量

测量内尺寸千分尺校对用的环规直径偏差及直径变动量在表2规定的范围内。

表2 测量内尺寸千分尺校对用的环规直径偏差及直径变动量 mm

| 被校尺名称 | 校对用的环规标称尺寸 | 直径偏差 | 直径变动量 |
|---|---|---|---|
| 内测千分尺 | 5，25 | ±0.0012 | 0～0.001 |
| | 50，75 | ±0.002 | 0～0.001 |
| | 100，125 | ±0.002 | 0～0.002 |
| 孔径千分尺 | 6,8,10,14,17,25,35 | ±0.0012 | 0～0.001 |
| | 50，70，90 | ±0.002 | 0～0.0015 |
| | 125，175 | ±0.002 | 0～0.0015 |

注：作为校准，不判断合格与否，上述计量特性的指标仅供参考。

## 5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 被校内尺寸千分尺及校准器具在温度为（20±5)℃室内平衡温度的时间不少于4h。

5.1.2 校对用环规在温度为（20±1)℃室内平衡温度的时间不少于4h。

5.2 测量标准器及其他设备

测量标准器及其他设备见表3。

表3 测量标准器及其他设备

| 序号 | 校准项目 | 主要校准器具 |
|---|---|---|
| 1 | 测力 | 2.5级测力仪 |
| 2 | 刻线宽度及宽度差 | 工具显微镜 |

表 3（续）

| 序号 | 校准项目 | 主要校准器具 |
|---|---|---|
| 3 | 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离 | 2 级塞尺或工具显微镜 |
| 4 | 微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线的相对位置 | |
| 5 | 测量面的表面粗糙度 | 表面粗糙度比较样块 |
| 6 | 测量爪测量面的圆弧半径及素线平行度 | 杠杆千分尺或半径样板 |
| 7 | 示值误差 | 3 等标准环规或 5 等量块及量块附件 |
| 8 | 校对用的环规直径偏差及直径变动量 | 卧式光学计与 4 等量块或孔径测量仪 |

## 6 校准项目和校准方法

首先检查外观，确定没有影响校准特性的因素后再进行校准。

6.1 测力

用准确度等级为 2.5 级的测力仪测量。

6.1.1 使内测千分尺的圆柱形测量面与测力仪平面测头接触后测出其测力值。

6.1.2 分别在孔径千分尺的测量上限、测量下限进行测量。测量时，借助 V 形块进行，孔径千分尺的 3 支量爪应同时受力，然后测出其测力值，见图 4。

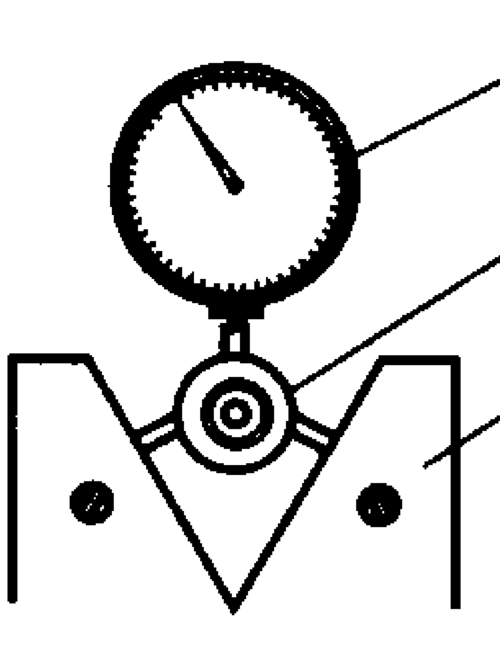



图 4

6.2 刻线宽度及宽度差

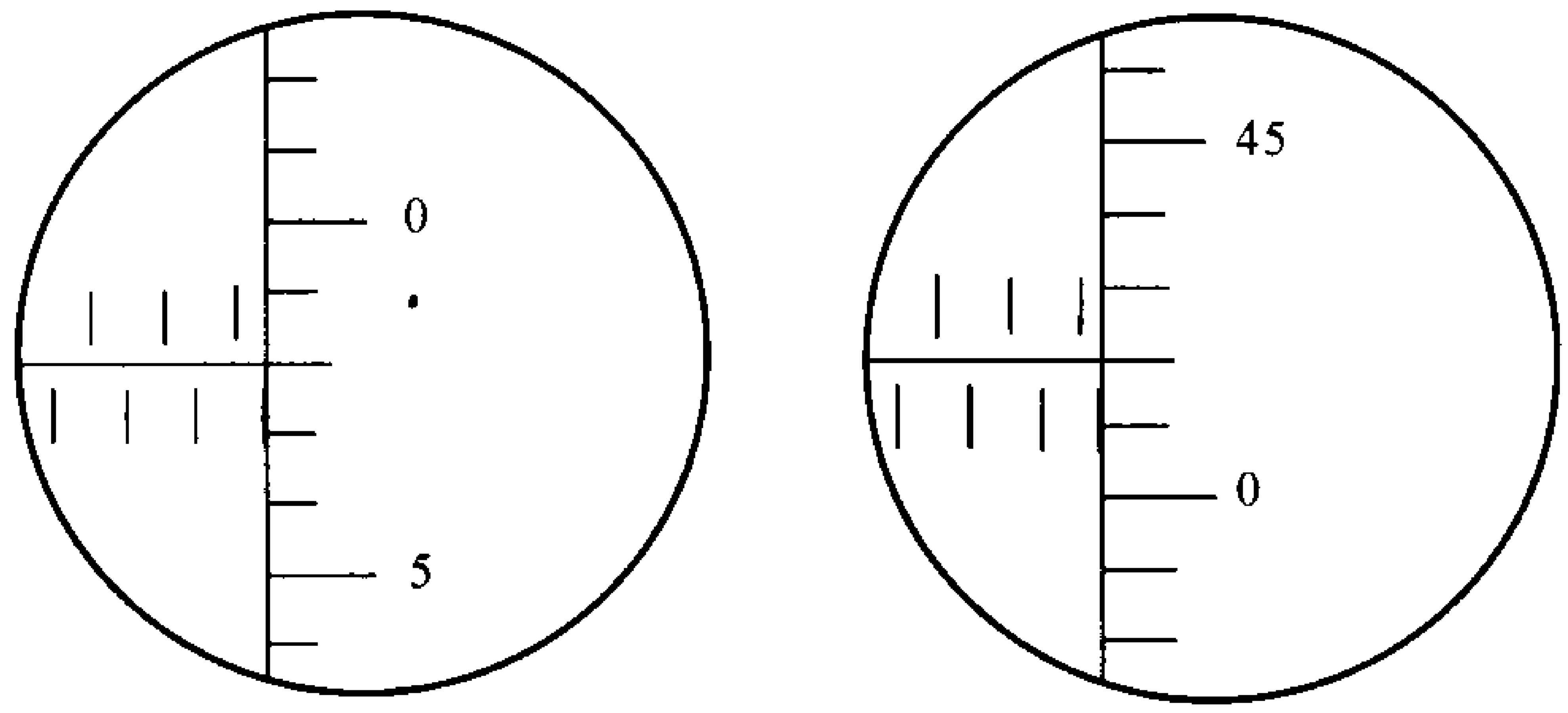
在工具显微镜上测量。微分筒和固定套管至少各抽测均匀分布的 3 条刻线。刻线宽度差以最大值和最小值之差确定。

6.3 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离

在工具显微镜上测量，也可用厚度为 0.4mm 的塞尺以比较法测量。测量时应在微分筒转动一周内不少于 3 个位置上进行。

6.4 微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线的相对位置

当测量下限调整正确后，转动微分筒使其零刻线与固定套管的纵刻线对准，观察微分筒锥面的端面是否与固定套管毫米刻线右边缘相切。若不相切时，转动微分筒使其相切，按微分筒读出其零刻线对固定套管纵刻线的偏移量，该偏移量即为离线或压线的数值，见图 5。




离线 0.02mm　　　　压线 0.02mm

图 5

6.5 测量面的表面粗糙度

用表面粗糙度比较样块校准。

6.6 测量爪测量面的圆弧半径及素线平行度

6.6.1 测量内尺寸千分尺量爪测量面的圆弧半径用半径样板以光隙法测量。只允许样板两侧有光隙。

6.6.2 内测千分尺量爪测量面素线平行度用杠杆千分尺测量。当分别在量爪的两端进行测量时，所得尺寸的差值即为素线平行度。

6.7 示值误差

各点示值误差按下式求得：

$$e = L_i - L_s$$

式中：$L_i$——千分尺的读数值；

$L_s$——标准环规或量块的实际尺寸。

内尺寸千分尺示值误差用符合表 4 规定的 3 等标准环规，在固定套管和微分筒的全部刻度范围内均匀分布的，不少于 5 个点进行校准。也可用 5 等量块和量块附件组成的内尺寸校准。校准时应先校好零位，然后在环规工作面的中间截面上进行。至少应均匀地转换 3 个位置，每个位置应重复校准（3～5）次，取其算术平均值作为测量结果。

加接长杆的孔径千分尺的校准应至少在每套尺中选一支装上接长杆，然后按上述方法进行校准。

6.8 校对用的环规直径偏差及直径变动量

校对用环规直径在卧式光学计上用 4 等量块与量块附件组成的内尺寸以比较法测量，或用具有同等准确度的孔径测量仪测量。应测量环规上、中、下三个截面，每个截面应在相互垂直的 2 个直径方向上进行。以各截面测得值的平均值作为该截面的实际尺寸，以环规中间截面的实际尺寸作为校准结果，测得 6 个尺寸中最大值与最小值之差即为直径变动量。

表 4 校准内尺寸千分尺的标准环规尺寸 mm

| 被校尺名称 | 测量范围 | 每支尺的量程 | 标准环规尺寸 |
|---|---|---|---|
| 孔径千分尺 | 6 ~ 12 | 2 | $A$，$A+0.62$，$A+1.24$，$A+1.86$，$A+2$ |
| | 11 ~ 20 | 3 | $A$，$A+0.62$，$A+1.24$，$A+1.86$，$A+3$ |
| | > 20 ~ 40 | 5 | $A$，$A+1.12$，$A+2.24$，$A+3.36$，$A+4.50$，$A+5$ |
| | > 40 ~ 100 | 10 | $A$，$A+1.12$，$A+3.24$，$A+5.36$，$A+7.50$，$A+10$ |
| | > 100 ~ 200 | 25 | $A$，$A+5.12$，$A+10.24$，$A+15.36$，$A+20.50$，$A+25$ |
| 内测千分尺 | 5 ~ 30 | 25 | 10.12，15.24，20.36，26.50，30 |
| | 25 ~ 50 | 25 | 30.12，35.24，40.36，46.50，50 |
| | > 50 ~ 75 | 25 | 55.12，60.24，65.36，70.50，75 |
| | > 75 ~ 100 | 25 | 80.12，85.24，90.36，95.50，100 |
| | > 100 ~ 125 | 25 | 105.12，110.24，115.36，120.50，125 |
| | > 125 ~ 150 | 25 | 130.12，135.24，140.36，145.50，150 |
| 注：表中“$A$”为尺的测量下限尺寸 | | | |

## 7 校准结果表达

经校准的测量内尺寸千分尺发给校准证书。

校准证书的内容见附录 C。

## 8 复校时间间隔

根据被校内尺寸千分尺的使用情况，复校时间间隔由用户自行决定。

## 附录 A

# 内测千分尺示值误差校准结果的测量不确定度分析

A.1 测量方法

内测千分尺的示值误差是用标准环规进行校准的。

A.2 数学模型

内测千分尺的示值误差：

$$e = L_i - L_s + L_i \cdot \alpha_i \cdot \Delta t_i - L_s \cdot \alpha_s \cdot \Delta t_s$$

式中： $L_i$——内测千分尺的示值（20℃条件下）；

$L_s$——标准环规的实际尺寸（20℃条件下）；

$\alpha_i$ 和 $\alpha_s$——分别是内测千分尺和环规的线膨胀系数；

$\Delta t_i$ 和 $\Delta t_s$——分别是内测千分尺和环规偏离参考温度 20℃的值。

A.3 方差和灵敏系数

因为 $\Delta t_i$ 和 $\Delta t_s$ 来源于同一只温度计而相关，数学处理过程非常复杂，因此我们采用下述方法将相关转化为不相关，以简化数学处理过程。

令 $\delta_\alpha = \alpha_i - \alpha_s$　　$\delta_t = \Delta t_i - \Delta t_s$

取 $L \approx L_i \approx L_s$　　$\alpha = \alpha_i = \alpha_s$　　$\Delta t = \Delta t_i = \Delta t_s$

则 $e = L_i - L_s + L_i \cdot \alpha_i \cdot \Delta t_i - L_i \cdot \alpha_s \cdot \Delta t_i + L_i \cdot \alpha_s \cdot \Delta t_i - L_s \cdot \alpha_s \cdot \Delta t_s$

$= L_i - L_s + L \cdot \Delta t \cdot \delta_\alpha + L \cdot \alpha \cdot \delta_t$

又 $c_1 = \partial e / \partial L_i = 1$； $c_2 = \partial e / \partial L_s = -1$

$c_3 = \partial e / \partial \delta_\alpha = L \cdot \Delta t$； $c_4 = \partial e / \partial \delta_t = L \cdot \alpha$

令 $u_1$，$u_2$，$u_3$，$u_4$ 分别表示 $L_i$，$L_s$，$\delta_\alpha$，$\delta_t$ 的不确定度

则

$$u_c^2 = u^2(e) = u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 u_4^2 \tag{A.1}$$

A.4 标准不确定度一览表

标准不确定度见表 A.1。

A.5 计算标准不确定度分量

A.5.1 测量重复性估算的不确定度分量 $u_1$ 及自由度 $\nu_1$

当 $L = 10.12\text{mm}$ 时，在 10.12mm 处重复测量 10 次，由贝塞尔公式得

实验标准差　　$s = 0.42\mu\text{m}$

则　　$u_1 = 0.42/\sqrt{3} = 0.24\mu\text{m}$　　$\nu_1 = n - 1 = 9$

当 $L = 150\text{mm}$ 时，在 50mm 处重复测量 10 次，由贝塞尔公式得

实验标准差　　$s = 0.74\mu\text{m}$

则　　$u_1 = 0.74/\sqrt{3} = 0.43\mu\text{m}$　　$\nu_1 = n - 1 = 9$

A.5.2 由标准环规给出的不确定度分量 $u_2$ 及 $\nu_2$

表 A.1 $L = 10.12\text{mm}$

| 标准不确定度分量 $u(x_i)$ | 不确定度来源 | 标准不确定度值 $u(x_i)$ | $c_i$ | $\lvert c_i \rvert u(x_i)/\mu\text{m}$ | 自由度 |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_1$ | 测量重复性 | $0.24\mu\text{m}$ | 1 | 0.24 | 9 |
| $u_2$ | 标准环规的不确定度 | $0.6\mu\text{m}$ | $-1$ | 0.6 | 50 |
| $u_3$ | 内测千分尺与环规的线膨胀系数差 | $0.58\times10^{-6}$ ℃$^{-1}$ | $L\cdot\Delta t = 10.12\times10^3\times5\mu\text{m}\cdot$℃ | 0.029 | 50 |
| $u_4$ | 内测千分尺与环规的温度差 | 0.17℃ | $L\cdot\alpha = 10.12\times10^3\times11.5\times10^{-6}\mu\text{m}\cdot$℃$^{-1}$ | 0.020 | 8 |
| $u_c = 0.64\mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 57$ | | | | | |

表 A.2 $L = 150\text{mm}$

| 标准不确定度分量 $u(x_i)$ | 不确定度来源 | 标准不确定度值 $u(x_i)$ | $c_i$ | $\lvert c_i \rvert u(x_i)/\mu\text{m}$ | 自由度 |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_1$ | 测量重复性 | $0.43\mu\text{m}$ | 1 | 0.43 | 9 |
| $u_2$ | 标准环规的不确定度 | $0.80\mu\text{m}$ | $-1$ | 0.80 | 50 |
| $u_3$ | 内测千分尺与环规的线膨胀系数差 | $0.58\times10^{-6}$ ℃$^{-1}$ | $L\cdot\Delta t = 150\times10^3\times5\mu\text{m}\cdot$℃ | 0.44 | 50 |
| $u_4$ | 内测千分尺与环规的温度差 | 0.17℃ | $L\cdot\alpha = 50\times10^3\times11.5\times10^{-6}\mu\text{m}\cdot$℃$^{-1}$ | 0.29 | 8 |
| $u_c = 1.1\mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 107$ | | | | | |

标准环规的不确定度经孔径测量仪的不确定度与环规的不确定度合成得出，其相对不确定度为 10%。孔径测量仪的不确定度按公式 $\delta =$（$0.5 + L/300 + H/100$）$\mu\text{m}$ 计算，其中 $L$、$H$ 的单位取 mm，$H$ 为环规孔的深度。环规的不确定度为 $1\mu\text{m}$，$k = 2$。

当 $L = 10.12\text{mm}$ 时，则 $H = 10\text{mm}$，$U = \sqrt{0.63^2 + 1^2} = 1.2\mu\text{m}$，$u_2 = U/2 = 0.6\mu\text{m}$，

$$\nu_2 = \frac{1}{2}\times(10\%)^{-2} = 50$$

当 $L=150\text{mm}$ 时，则 $H=20\text{mm}$，$U=\sqrt{1.2^2+1^2}=1.6\mu\text{m}$，$u_2=U/2=0.80\mu\text{m}$

$$\nu_2=\frac{1}{2}\times\ (10\%)^{-2}=50$$

A.5.3　内测千分尺与校对环规的线膨胀系数差给出的不确定度分量 $u_3$ 及 $\nu_3$

$\delta_\alpha$ 在 $\pm1\times10^{-6}℃^{-1}$范围内按均匀分布，其相对不确定度为 10%，则

$$u_3=1\times10^{-6}℃^{-1}/\sqrt{3}=0.58\times10^{-6}℃^{-1}$$

$$\nu_3=\frac{1}{2}\times\ (10\%)^{-2}=50$$

当 $L=10.12\text{mm}$ 时：$L\cdot\Delta t\cdot u_3=10.12\times10^3\times5\mu\text{m}\cdot℃\times0.58\times10^{-6}℃^{-1}=0.029\mu\text{m}$

当 $L=150\text{mm}$ 时：$L\cdot\Delta t\cdot u_3=150\times10^3\times5\mu\text{m}\cdot℃\times0.58\times10^{-6}℃^{-1}=0.44\mu\text{m}$

A.5.4　内测千分尺与环规的温度差给出的不确定度分量 $u_4$ 及 $\nu_4$

内测千分尺与环规有一定的温差存在，并以等概率落于区间 $[-0.3,\ +0.3]$℃内，取均匀分布，估计有 25%的相对不确定度，则

$$u_4=0.3℃/\sqrt{3}=0.17℃$$

$$\nu_4=\frac{1}{2}\times\ (25\%)^{-2}=8$$

$$\alpha=11.5\times10^{-6}℃^{-1}$$

当 $L=10.12\text{mm}$ 时：$L\cdot\alpha\cdot u_4=10.12\times10^3\times11.5\times10^{-6}\mu\text{m}\cdot℃^{-1}\times0.17℃$

$$=0.020\mu\text{m}$$

当 $L=150\text{mm}$ 时：$L\cdot\alpha\cdot u_4=150\times10^3\times11.5\times10^{-6}\mu\text{m}\cdot℃^{-1}\times0.17℃=0.29\mu\text{m}$

A.6　合成标准不确定度 $u_c$ 及有效自由度 $\nu_{\text{eff}}$

由式（A.1）得　　$u_c^2=u^2\ (e)\ =u_1^2+u_2^2+\ (L\cdot\Delta t)^2u_3^2+\ (L\cdot\alpha)^2u_4^2$

自由度　　　$\nu_{\text{eff}}=u_c^4/\ [u_1^4/\nu_1+u_2^4/\nu_2+\ (L\cdot\Delta t)^4u_3^4/\nu_3+\ (L\cdot\alpha)^4u_4^4/\nu_4]$

当 $L=10.12\text{mm}$ 时：$u_c^2=0.24^2+0.6^2+0.029^2+0.02^2=0.64^2\mu\text{m}^2$

$$u_c=0.64\mu\text{m}$$

$$\nu_{\text{eff}}=0.64^4/\ (0.24^4/9+0.6^4/50+0.029^4/50+0.02^4/8)\ =57$$

当 $L=150\text{mm}$ 时：$u_c^2=0.43^2+0.8^2+0.44^2+0.29^2=1.1^2\mu\text{m}^2$

$$u_c=1.1\mu\text{m}$$

$$\nu_{\text{eff}}=1.1^4/\ (0.43^4/9+0.8^4/50+0.44^4/50+0.29^4/8)\ =107$$

A.7　扩展不确定度

当 $L=10.12\text{mm}$ 时：取 $p=95\%$，查表得 $k_{95}=t_{95}$（57）$=2.01$，则

$$U_{95}=k_{95}u_c=2.01\times0.64\mu\text{m}=1.3\mu\text{m}$$

当 $L=150\text{mm}$ 时：取 $p=95\%$，查表得 $k_{95}=t_{95}$（107）$=1.984$，则

$$U_{95}=k_{95}u_c=1.984\times1.1\mu\text{m}=2.2\mu\text{m}$$

## 附录 B

# 孔径千分尺示值误差校准结果的测量不确定度分析

B.1 测量方法

孔径千分尺的示值误差是用标准环规进行校准的。

B.2 数学模型

孔径千分尺的示值误差：

$$e = L_i - L_s + L_i \cdot \alpha_i \cdot \Delta t_i - L_s \cdot \alpha_s \cdot \Delta t_s$$

式中：$L_i$——孔径千分尺的示值（20℃条件下）；

$L_s$——标准环规实际尺寸（20℃条件下）；

$\alpha_i$ 和 $\alpha_s$——分别是孔径千分尺和环规的线膨胀系数；

$\Delta t_i$ 和 $\Delta t_s$——分别是孔径千分尺和环规偏离参考温度 20℃的值。

B.3 方差和灵敏系数

因为 $\Delta t_i$ 和 $\Delta t_s$ 来源于同一只温度计而相关，数学处理过程非常复杂，因此我们采用下述方法将相关转化为不相关，以简化数学处理过程。

令 $\delta_\alpha = \alpha_i - \alpha_s \qquad \delta_t = \Delta t_i - \Delta t_s$

取 $L \approx L_i \approx L_s \qquad \alpha = \alpha_i = \alpha_s \qquad \Delta t = \Delta t_i = \Delta t_s$

则
$$\begin{aligned} e &= L_i - L_s + L_i \cdot \alpha_i \cdot \Delta t_i - L_i \cdot \alpha_s \cdot \Delta t_i + L_i \cdot \alpha_s \cdot \Delta t_i - L_s \cdot \alpha_s \cdot \Delta t_s \\ &= L_i - L_s + L \cdot \Delta t \cdot \delta_\alpha + L \cdot \alpha \cdot \delta_t \end{aligned}$$

式中：$c_1 = \partial e / \partial L_i = 1$；$c_2 = \partial e / \partial L_s = -1$；

$c_3 = \partial e / \partial \delta_\alpha = L \cdot \Delta t$；$c_4 = \partial e / \partial \delta_t = L \cdot \alpha$

令 $u_1$，$u_2$，$u_3$，$u_4$ 分别表示 $L_i$，$L_s$，$\delta_\alpha$，$\delta_t$ 的不确定度

则

$$u_c^2 = u^2(e) = u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 \cdot u_4^2 \qquad \text{(B.1)}$$

B.4 标准不确定度一览表

标准不确定度见表 B.1。

B.5 计算标准不确定度分量

B.5.1 测量重复性估算的不确定度分量 $u_1$ 及自由度 $\nu_1$

当 $L = 6\text{mm}$ 时，在 6mm 处重复测量 10 次，由贝塞尔公式得

实验标准差 $s = 0.21\mu\text{m}$

则 $u_1 = 0.21/\sqrt{3} = 0.12\mu\text{m} \qquad \nu_1 = n - 1 = 9$

当 $L = 100\text{mm}$ 时，在 50mm 处重复测量 10 次，由贝塞尔公式得

实验标准差 $s = 0.32\mu\text{m}$

则 $u_1 = 0.32/\sqrt{3} = 0.18\mu\text{m} \qquad \nu_1 = n - 1 = 9$

表 B.1 $L = 6\text{mm}$

| 标准不确定度分量 $u(x_i)$ | 不确定度来源 | 标准不确定度值 $u(x_i)$ | $c_i$ | $\lvert c_i \rvert u(x_i)/\mu\text{m}$ | 自由度 |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_1$ | 测量重复性 | $0.12\mu\text{m}$ | 1 | 0.12 | 9 |
| $u_2$ | 标准环规的不确定度 | $0.55\mu\text{m}$ | $-1$ | 0.55 | 50 |
| $u_3$ | 孔径千分尺与环规的线膨胀系数差 | $0.58 \times 10^{-6}$ ℃$^{-1}$ | $L \cdot \Delta t = 6 \times 10^3 \times 5\mu\text{m} \cdot$ ℃ | 0.017 | 50 |
| $u_4$ | 孔径千分尺与环规的温度差 | 0.17℃ | $L \cdot \alpha = 6 \times 10^3 \times 11.5 \times 10^{-6}$ $\mu\text{m} \cdot$ ℃$^{-1}$ | 0.012 | 8 |
| $u_c = 0.56\mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 53$ | | | | | |

表 B.2 $L = 100\text{mm}$

| 标准不确定度分量 $u(x_i)$ | 不确定度来源 | 标准不确定度值 $u(x_i)$ | $c_i$ | $\lvert c_i \rvert u(x_i)/\mu\text{m}$ | 自由度 |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_1$ | 测量重复性 | $0.18\mu\text{m}$ | 1 | 0.18 | 9 |
| $u_2$ | 标准环规的不确定度 | $0.7\mu\text{m}$ | $-1$ | 0.7 | 50 |
| $u_3$ | 孔径千分尺与环规的线膨胀系数差 | $0.58 \times 10^{-6}$ ℃$^{-1}$ | $L \cdot \Delta t = 100 \times 10^3 \times 5\mu\text{m} \cdot$ ℃ | 0.29 | 50 |
| $u_4$ | 孔径千分尺与环规的温度差 | 0.17℃ | $L \cdot \alpha = 100 \times 10^3 \times 11.5 \times 10^{-6}\mu\text{m} \cdot$ ℃$^{-1}$ | 0.20 | 8 |
| $u_c = 0.80\mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 22$ | | | | | |

B.5.2 由标准环规给出的不确定度分量 $u_2$ 及 $\nu_2$

标准环规的不确定度经孔径测量仪的不确定度与环规的不确定度合成得出。其相对不确定度为 10%，孔径测量仪的不确定度按公式 $\delta =$ （$0.5 + L/300 + H/100$）$\mu\text{m}$ 计算：

当 $L = 6\text{mm}$ 时，$H = 5\text{mm}$，$U = \sqrt{0.55^2 + 1^2} = 1.1\mu\text{m}$，

$$u_2 = 1.1/2 = 0.55\mu\text{m}$$

$$\nu_2 = \frac{1}{2} \times (10\%)^{-2} = 50$$

当 $L=100\mathrm{mm}$ 时，则 $H=20\mathrm{mm}$，$U=\sqrt{1^2+1^2}=1.4\mu\mathrm{m}$

$$u_2=1.4/2=0.7\mu\mathrm{m}$$

$$\nu_2=\frac{1}{2}\times(10\%)^{-2}=50$$

B.5.3　孔径千分尺与校对环规的线膨胀系数差给出的不确定度分量 $u_3$ 及 $\nu_3$

$\delta_\alpha$ 在 $\pm 1\times10^{-6}℃^{-1}$ 范围内按均匀分布，其相对不确定度为10%，则

$$u_3=1\times10^{-6}℃^{-1}/\sqrt{3}=0.58\times10^{-6}℃^{-1}$$

$$\nu_3=\frac{1}{2}\times(10\%)^{-2}=50$$

当 $L=6\mathrm{mm}$ 时：$L\cdot\Delta t\cdot u_3=6\times10^3\times5\mu\mathrm{m}\cdot℃\times0.58\times10^{-6}℃^{-1}=0.017\mu\mathrm{m}$

当 $L=100\mathrm{mm}$ 时：$L\cdot\Delta t\cdot u_3=100\times10^3\times5\mu\mathrm{m}\cdot℃\times0.58\times10^{-6}℃^{-1}=0.29\mu\mathrm{m}$

B.5.4　孔径千分尺与环规的温度差给出的不确定度分量 $u_4$ 及 $\nu_4$

孔径千分尺与环规有一定的温差存在，并以等概率落于区间 $[-0.3,\ +0.3]$℃内，取均匀分布，估计有25%的相对不确定度，则

$$u_4=0.3℃/\sqrt{3}=0.17℃$$

$$\nu_4=\frac{1}{2}\times(25\%)^{-2}=8$$

$$\alpha=11.5\times10^{-6}℃^{-1}$$

当 $L=6\mathrm{mm}$ 时：$L\cdot\alpha\cdot u_4=6\times10^3\times11.5\times10^{-6}\mu\mathrm{m}\cdot℃^{-1}\times0.17℃=0.012\mu\mathrm{m}$

当 $L=100\mathrm{mm}$ 时：$L\cdot\alpha\cdot u_4=100\times10^3\times11.5\times10^{-6}\mu\mathrm{m}\cdot℃^{-1}\times0.17℃=0.20\mu\mathrm{m}$

B.6　合成标准不确定度 $u_c$ 及有效自由度 $\nu_{\mathrm{eff}}$

由式（B.1）得　　$u_c^2=u^2(e)=u_1^2+u_2^2+(L\cdot\Delta t)^2u_3^2+(L\cdot\alpha)^2u_4^2$

自由度　　$\nu_{\mathrm{eff}}=u_c^4/[u_1^4/\nu_1+u_2^4/\nu_2+(L\cdot\Delta t)^4u_3^4/\nu_3+(L\cdot\alpha)^4u_4^4/\nu_4]$

当 $L=6\mathrm{mm}$ 时：$u_c^2=0.12^2+0.55^2+0.017^2+0.012^2=0.56^2\mu\mathrm{m}^2$

$$u_c=0.56\mu\mathrm{m}$$

$$\nu_{\mathrm{eff}}=0.56^4/(0.12^4/9+0.55^4/50+0.017^4/50+0.012^4/8)=53$$

当 $L=100\mathrm{mm}$ 时：$u_c^2=0.18^2+0.7^2+0.29^2+0.20^2=0.80^2\mu\mathrm{m}^2$

$$u_c=0.80\mu\mathrm{m}$$

$$\nu_{\mathrm{eff}}=0.80^4/(0.18^4/9+0.7^4/50+0.29^4/50+0.20^4/8)=22$$

B.7　扩展不确定度

当 $L=6\mathrm{mm}$ 时，取 $p=95\%$，查表得 $k_{95}=t_{95}(53)=2.01$，则

$$U_{95}=k_{95}u_c=2.01\times0.56\mu\mathrm{m}=1.1\mu\mathrm{m}$$

当 $L=100\mathrm{mm}$ 时，取 $p=95\%$，查表得 $k_{95}=t_{95}(22)=2.06$，则

$$U_{95}=k_{95}u_c=2.06\times0.80\mu\mathrm{m}=1.6\mu\mathrm{m}$$

## 附录 C

# 校准证书内容

a）标题“校准证书”；

b）实验室名称和地址；

c）进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；

d）证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页的标识；

e）送校单位的名称和地址；

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，应对抽样程序进行说明；

i）对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）校准结果及其测量不确定度的说明；

m）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；

n）校准结果仅对被校对象有效的声明；

o）未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。