



# 江苏省地方计量校准规范

JJF (苏) 276—2024

## 接触（触针）式表面轮廓测量仪校准规范

Calibration Specification for Contact ( Stylus ) Surface Contour Tester

2024-09-26 发布

2024-12-01 实施

江苏省市场监督管理局 发布

# 接触（触针）式表面 轮廓测量仪校准规范

JJF(苏)276—2024

本规范经江苏省市场监督管理局于2024年09月26日批准，并自2024年12月01日起施行。

归口单位：江苏省市场监督管理局

主要起草单位：江阴市计量测试检定所

本规范由江苏省几何量计量专业技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

董盈钧（江阴市计量测试检定所）

张 斌（江阴市计量测试检定所）

**参加起草人：**

孙维强（昆山市计量测试所）

庄剑峰（苏州赛宝校准技术服务有限公司）

# 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 导轨直线度	(2)
4.2 轮廓水平分量(X轴)示值误差	(2)
4.3 轮廓垂直分量(Z轴)示值误差	(2)
4.4 角度测量示值误差	(2)
4.5 圆弧半径测量示值误差	(2)
4.6 重复性	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准及其他设备	(2)
6 校准项目和校准方法	(3)
6.1 导轨直线度	(3)
6.2 轮廓水平分量(X轴)示值误差	(3)
6.3 轮廓垂直分量(Z轴)示值误差	(3)
6.4 角度测量示值误差	(4)
6.5 圆弧半径测量示值误差	(4)
6.6 重复性	(5)
7 校准结果表达	(5)
8 复校时间间隔	(5)
附录 A: 轮廓标准器示例	(6)
附录 B: 轮廓水平分量(X轴)示值误差的测量不确定度评定示例	(7)
附录 C: 轮廓垂直分量(Z轴)示值误差的测量不确定度评定示例	(11)
附录 D: 圆弧半径示值误差的测量不确定度评定示例	(14)
附录 E: 角度示值误差的测量不确定度评定示例	(17)
附录 F: 校准证书内页信息及格式	(19)

# 引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同编制。

本规范的计量特性主要参照了 GB/T 19600-2004/ISO 12179:2000《产品几何技术规范（GPS）表面结构 轮廓法 接触（触针）式仪器的校准》以及 GB/T 6062-2009/ISO 3274:1996《产品几何技术规范（GPS）表面结构 轮廓法 接触（触针）式仪器的标称特性》、JB/T 11271-2012《接触（触针）式表面轮廓测量仪》的要求。

本规范为首次发布。

# 接触（触针）式表面轮廓测量仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于接触（触针）式表面轮廓测量仪的校准。

## 2 引用文件

本规程引用下列文件

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

GB/T 19600-2004 产品几何量技术规范（GPS）表面结构 轮廓法 接触（触针）式仪器的校准

GB/T 6062-2009 产品几何技术规范（GPS）表面结构 轮廓法 接触（触针）式仪器的标称特性

JB/T 11271-2012 接触（触针）式表面轮廓测量仪

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

## 3 概述

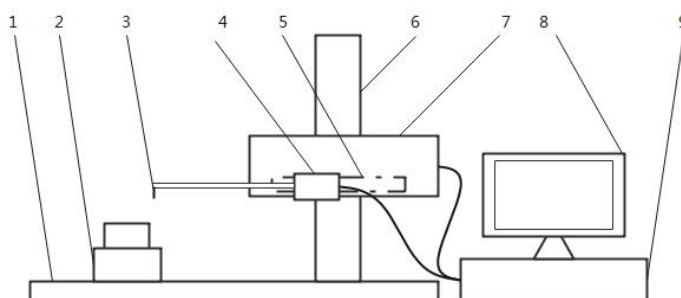


图1 接触（触针）式表面轮廓测量仪

1-底座；2-工作台；3-触针；4-传感器；5-基准导轨；

6-立柱；7-驱动箱；8-计算机；9-信号处理器

接触（触针）式表面轮廓测量仪（以下简称轮廓仪）是测量各种机械零件形状和截面轮廓形状的精密设备。

轮廓仪工作原理：以导轨为基准，触针沿着工件表面运动，记录测量仪的表面轮廓曲线，计算并评定轮廓的尺寸、角度、圆弧半径等二维形状位置参数的测量仪器。

轮廓仪的型式如图 1 所示

#### 4 计量特性

##### 4.1 X 轴导轨直线度

##### 4.2 轮廓水平分量 (X 轴) 示值误差。

##### 4.3 轮廓垂直分量 (Z 轴) 示值误差。

##### 4.4 角度测量示值误差。

##### 4.5 圆弧半径测量示值误差。

##### 4.6 重复性

#### 5 校准条件

##### 5.1 环境条件

校准室内应无影响测量的灰尘、振动、气流、腐蚀性气体和较强磁场。其他环境条件见表 1。

表 1 校准环境条件

实验室温度/℃	室温变化/(℃/h)	平衡温度时间/h	实验室相对湿度/%RH
20±3	≤1	≥2	≤65

##### 5.2 测量标准及其他设备

轮廓仪的测量标准及其他设备见表 2。

表 2 测量标准及其他设备一览表

序号	校准项目	测量标准及其他设备
1	X 轴导轨直线度	平面平晶：1 级
2	轮廓水平分量 (X 轴) 示值误差	激光干涉仪：MPE: $\pm (0.03\mu\text{m} + 1.5 \times 10^{-6}L)$ ；轮廓标准器： $U \leq 1/4\text{MPE}_X$ (示例见附录 A)
3	轮廓垂直分量 (Z 轴) 示值误差	量块：3 等； 平面平晶：一级
4	角度测量示值误差	角度块：2 级或轮廓标准器： $U \leq 1/4\text{MPE}_\theta$
5	圆弧半径测量示值误差	标准球或标准半球或轮廓标准器：直径： $U \leq 1/3\text{MPE}_R$ ， 圆度： $\leq 1/10\text{MPE}_R$ ( $\Phi 5\text{mm} \sim \Phi 20\text{mm}$ 和 $\Phi 40\text{mm} \sim \Phi 80\text{mm}$ 各一个)

6	重复性	角度块：2 级
---	-----	---------

注：可采用满足测量不确定度要求的其他测量设备进行校准。

## 6 校准项目和校准方法

校准前应检查轮廓仪的外观和各部分相互作用，确认没有影响校准的缺陷后再行校准。

### 6.1 X 轴导轨直线度

将平面平晶水平放置在轮廓仪工作台面上，调整平晶工作面与轮廓仪 X 轴导轨平行。在平面平晶工作面上扫描滑行，从轮廓曲线图上确定校准范围内滑行运动的直线度。

### 6.2 轮廓水平分量 (X 轴) 示值误差

#### 6.2.1 轮廓标准器

用轮廓标准器对轮廓仪水平分量的示值误差进行校准（轮廓标准器示例见附录 A）。

将轮廓标准器放置在工作台上，调整轮廓标准器的方向与 X 轴导轨平行，从轮廓标准器基面处开始测量，在 X 轴测量范围内选择 3~5 个长度段进行校准，最大长度段不小于 X 轴行程的 66%。

在轮廓曲线中拟合各齿侧边延长线的交点，评价长度段交点间的距离  $l_i$ ，与轮廓标准器的实际值进行比较，通过式 (1) 得到示值误差  $\Delta_i$ 。

$$\Delta_i = l_i - L_i \quad (1)$$

式中： $\Delta_i$ —第  $i$  段间距的示值误差，mm；

$l_i$ —第  $i$  段间距的轮廓仪测量值，mm；

$L_i$ —第  $i$  段间距的样块标准值，mm。

#### 6.2.2 激光干涉仪

把激光干涉仪的靶镜固定在轮廓仪驱动箱与传感器连接件上，调整激光干涉仪的激光光束与轮廓仪基准导轨平行。在轮廓仪 X 轴测量范围内选取大致均匀分布的 5 个测量点，读取各点轮廓仪示值与激光干涉仪示值，轮廓仪示值与激光干涉仪示值之差为各点轮廓水平分量 (X 轴) 示值误差。取其最大值为轮廓水平分量 (X 轴) 示值误差。

可采用满足测量不确定度要求的其他测量设备进行校准

### 6.3 轮廓垂直分量 (Z 轴) 示值误差

在传感器测量范围的正行程内选择 3~5 个大致均匀的校准点，测量范围应覆盖正行程量程范围的 4/5，分别选取对应尺寸的三等量块作为各校准点的标准器。

将平晶放置在工作台上，调整平晶平面方向与 X 轴导轨平行，将量块依次研合在平



面平晶上, 调整驱动箱高度, 使触针接触量块中间位置且轮廓仪 Z 轴读数值约为零, 不移动驱动箱高度和 X 轴的情况下, 测量三次, 得到零位平均读数值  $\bar{h}_0$ 。根据需要校准的尺寸, 移动平晶, 使触针以向下自动接触的方式接触其余量块, 读取 Z 轴读数值  $h_i$ , 不移动驱动箱高度和 X 轴的情况下, 测量三次, 得到校准点的平均读数值  $\bar{h}_i$ 。依次在轮廓仪正值范围内测量其他量块。通过式 (2) 得到各点的示值误差  $\delta_i$ 。

$$\delta_i = \bar{h}_i - \bar{h}_0 - H_i \quad (2)$$

式中:  $\delta_i$ —第  $i$  校准点的示值误差, mm;

$\bar{h}_i$ —第  $i$  校准点的轮廓仪平均读数值, mm;

$\bar{h}_0$ —轮廓仪零位平均读数值, mm;

$H_i$ —第  $i$  校准点的实际值, mm。

调整驱动箱高度, 将尺寸最大的量块调整为零位基准。用同样的方法依次在轮廓仪的负行程范围内测量其他量块, 得到各点示值误差。

#### 6.4 角度测量示值误差

选择 2~3 个不同的角度值进行校准。将角度块固定在平口钳中, 调整角度块侧边平行于触针滑行方向。测量角度块两工作面间的角度值, 连续测量三次, 取平均值, 计算平均值与角度块实际值之差作为该角度的示值误差  $\Delta\alpha$ , 如式 (3) 所示。

$$\Delta\alpha = \bar{\alpha} - \alpha \quad (3)$$

式中:  $\Delta\alpha$ —角度测量示值误差;

$\bar{\alpha}$ —轮廓仪测量结果平均值;

$\alpha$ —角度实际值。

选用轮廓标准器作为测量标准时, 将轮廓标准器放置在工作台上, 调整轮廓标准器的方向与 X 轴导轨平行。选择 2~3 个不同的角度值进行校准。测量角度轮廓两工作面间的角度值, 连续测量三次, 取平均值, 计算平均值与角度轮廓实际值之差作为该角度的示值误差  $\Delta\alpha$ , 如式 (3) 所示。

#### 6.5 圆弧半径测量示值误差

将标准球 (半球) 放置于轮廓仪工作台上, 先调整标准球 (半球) 的位置, 使触针滑行轨迹通过标准球 (半球) 的最高点, 测量球表面轮廓半径。选取左右对称的圆弧段 (对应的圆弧角大于  $120^\circ$ ) 计算测得轮廓图形的圆弧半径, 连续测量三次取其平均值与标准球 (半球) 半径实际值之差, 作为该标准球 (半球) 下测得的示值误差  $\Delta R_1$ , 如式 (4) 所示。

$$\Delta R = \bar{R} - R \quad (4)$$

式中： $\Delta R$ —圆弧半径测量示值误差；

$\bar{R}$ —轮廓仪测量结果平均值；

$R$ —半径实际值。

用另一个标准球（半球）用以上步骤，得到该标准球或半球下测得的示值误差 $\Delta R_2$ 。

选用轮廓标准器作为测量标准时，将轮廓标准器放置在工作台上，调整轮廓标准器的方向与 X 轴导轨平行。测量圆弧轮廓，选取左右对称的圆弧段（对应的圆弧角大于  $120^\circ$ ）计算测得轮廓图形的圆弧半径，连续测量三次取其平均值与圆弧轮廓实际半径值之差，作为该圆弧轮廓下测得的示值误差 $\Delta R$ ，如式（4）所示。

#### 6.6 重复性

根据 6.4 的方式，连续测量  $60^\circ 40'$  角度块九次，分别记录角度值，计算其最大值与最小值之差的三分之一作为测量结果。

#### 7 校准结果的表达

经校准的接触（触针）式表面轮廓测量仪出具校准报告，校准证书信息见附录 F

#### 8 复校时间间隔

复校时间间隔根据实际使用的具体情况确定，一般不超过 1 年。

## 附录 A

## 轮廓标准器示例

## A.1 技术要求

轮廓标准器各齿侧边延长线的交点距离 $l$ 校准结果的扩展不确定度，应不大于 $1/4\text{MPE}_x$ ；角度轮廓校准结果的扩展不确定度，应不大于 $1/4\text{MPE}_\theta$ ；圆弧轮廓圆度应不大于 $1/10\text{MPE}_R$ ，直径校准结果扩展不确定度，应不大于 $1/3\text{MPE}_R$ 。

## A.2 其他要求

- 1) 轮廓标准器的长度 $L$ 应大于等于轮廓仪 X 轴测量行程的 66%；
- 2) 轮廓标准器的齿高 $h$ 应小于等于测针的高度；
- 3) 齿顶角度 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 为三个不同的角度值；
- 4) 圆弧轮廓圆弧角大于等于 $120^\circ$ ，且 $R_1$ 、 $R_2$ 为两个直径不同的圆弧轮廓；
- 5) 基面直线度应小于等于 $5\text{ }\mu\text{m}$ ；
- 6) 轮廓标准器宽度小于等于 $10\text{mm}$ ；
- 7) 轮廓标准器工作面粗糙度为 $\text{Ra}0.8\text{ }\mu\text{m}$ 。

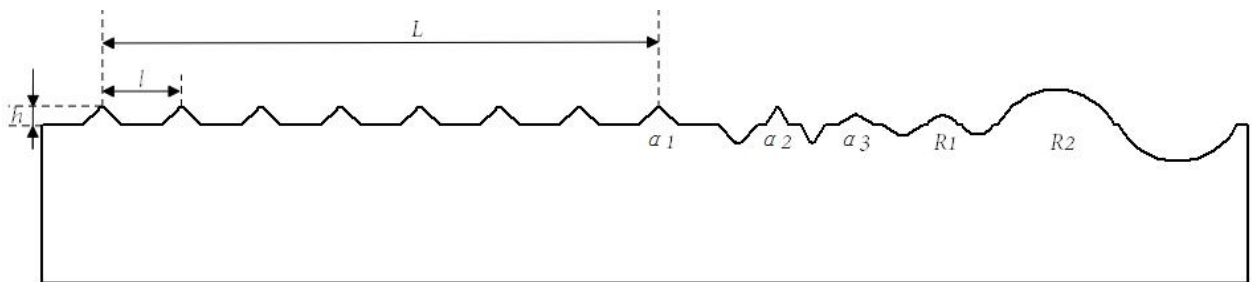


图 2

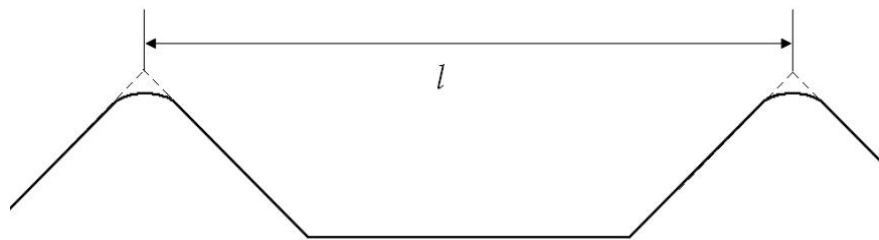


图 3

## 附录 B

## 轮廓水平分量（X 轴）示值误差的测量不确定度评定示例

## B.1 概述

在环境温度（20±3）℃，采用经校准后的轮廓标准器测量轮廓仪水平分量（X 轴）20mm（ $U=0.5\mu\text{m}$ ， $k=2$ ）及 200mm（ $U=1.5\mu\text{m}$ ， $k=2$ ）处示值，轮廓仪示值与轮廓标准器实际间隔值之差为测量结果。

## B.2 测量模型

$$\Delta_i = l_i - L_i + l_i * \alpha_{l_i} * \Delta t_{l_i} - L_i * \alpha_{L_i} * \Delta t_{L_i} \quad (\text{B.1})$$

式中： $\Delta_i$ —第  $i$  段间距的示值误差，mm；

$l_i$ —第  $i$  段间距的轮廓仪测量值，mm；

$L_i$ —第  $i$  段间距的样块实际值，mm；

$\alpha_{l_i}$ 、 $\alpha_{L_i}$ —分别为轮廓仪、专用样块的线膨胀系数， $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{°C}^{-1}$ ；

$\Delta t_{l_i}$ 、 $\Delta t_{L_i}$ —分别为轮廓仪、专用样块偏离标准温度 20℃ 的值，℃。

令  $\delta\alpha = \alpha_{l_i} - \alpha_{L_i}$ ， $\delta t = \Delta t_{l_i} - \Delta t_{L_i}$ ，取  $L \approx l_i \approx L_i$ 、 $\alpha \approx \alpha_{l_i} \approx \alpha_{L_i}$ ， $\Delta t \approx \Delta t_{l_i} \approx \Delta t_{L_i}$ ，

则式(B.1)整理得

$$\Delta_i = l_i - L_i + L * \delta\alpha * \Delta t - L * \alpha * \delta t \quad (\text{B.2})$$

## B.3 方差和灵敏系数

考虑各分量彼此独立，由式(B.2)有：

$$c_1 = \partial\Delta_i / (\partial l_i) = 1, \quad c_2 = \partial\Delta_i / (\partial L_i) = -1,$$

$$c_3 = (\partial\Delta_i) / (\partial\delta\alpha) = L * \Delta t, \quad c_4 = (\partial\Delta_i) / (\partial\delta t) = -L * \alpha$$

## B.4 标准不确定度分量的来源与评定

B.4.1 轮廓水平分量（X 轴）示值  $l_i$  引入的标准不确定度分量  $u(l_i)$ 

用轮廓仪校准轮廓标准器其中一个间隔，重复测量 10 次，测量结果见表 B.1

表 B.1

(mm)

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测得值 (20)	20.0015	20.0013	20.0014	20.0016	20.0018	20.0018	20.0016	20.0017	20.0014	20.0016
(200)	199.9935	199.9934	199.9936	199.9944	199.9947	199.9941	199.9941	199.9944	199.9934	199.9939

测得数据经处理得单次测量实验标准偏差为：

$$20\text{mm}: s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.17\mu\text{m}$$

$$200\text{mm}: s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.47\mu\text{m}$$

所以

$$20\text{mm}: u(l_i) = 0.17\mu\text{m}$$

$$200\text{mm}: u(l_i) = 0.47\mu\text{m}$$

#### B.4.2 轮廓标准器校准结果引入的不确定度分量 $u(L_i)$

轮廓标准器校准结果的扩展不确定度为  $U=0.5\mu\text{m}$ ,  $k=2$ , 则标准器产生的标准不确定度分量为：

$$20\text{mm}: u(L_i) = \frac{0.5\mu\text{m}}{2} = 0.25\mu\text{m}$$

$$200\text{mm}: u(L_i) = \frac{1.5\mu\text{m}}{2} = 0.75\mu\text{m}$$

#### B.4.3 轮廓仪与轮廓标准器线膨胀系数差产生的标准不确定度分量 $u(\delta\alpha)$

轮廓仪与轮廓标准器材质均为钢制, 其线膨胀系数界限在  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内假定服从均匀分布, 则  $\delta\alpha$  区间半宽为  $2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , 服从三角分布, 线膨胀系数差产生的标准不确定度分量为：

$$u(\delta\alpha) = \frac{2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}{\sqrt{6}} = 8.2 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

#### B.4.4 轮廓仪与轮廓标准器的温度差产生的标准不确定度分量 $u(\delta t)$

轮廓仪与轮廓标准器温度不平衡产生温度差, 经验表明其半区间为  $0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ , 服从均匀分布, 温度差产生的标准不确定度分量为

$$u(\delta t) = \frac{0.2^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.12^{\circ}\text{C}$$

## B.5 合成标准不确定度的计算

### B.5.1 灵敏系数的计算

轮廓仪与轮廓标准器材质均为钢制，其线膨胀系数应为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。被测轮廓仪温度与标准温度  $20^{\circ}\text{C}$  偏差不超过  $3^{\circ}\text{C}$ 。

$L = 20\text{mm}$ ，其灵敏系数分别计算为：

$$c_1 = 1, c_2 = -1,$$

$$c_3 = L * \Delta t = 20\text{mm} * 3^{\circ}\text{C} = 60\text{mm} * ^{\circ}\text{C},$$

$$c_4 = -L * \alpha = -20\text{mm} * 11.5 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1} = -23 \times 10^{-5}\text{mm} * ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$L = 200\text{mm}$ ，其灵敏系数分别计算为：

$$c_1 = 1, c_2 = -1,$$

$$c_3 = L * \Delta t = 200\text{mm} * 3^{\circ}\text{C} = 600\text{mm} * ^{\circ}\text{C},$$

$$c_4 = -L * \alpha = -200\text{mm} * 11.5 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1} = -23 \times 10^{-4}\text{mm} * ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

### B.5.2 标准不确定度分量一览表

表 B.2 标准不确定度分量一览表 ( $L = 20\text{mm}$ )

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 $ c $	$ c  * u(x_i)$
$u(l_i)$	测量重复性	$0.17\mu\text{m}$	1	$0.17\mu\text{m}$
$u(L_i)$	轮廓标准器校准结果	$0.25\mu\text{m}$	1	$0.25\mu\text{m}$
$u(\delta\alpha)$	轮廓仪与专用样块线膨胀系数差	$8.2 \times 10^{-7}^{\circ}\text{C}^{-1}$	$60\text{mm} * ^{\circ}\text{C}$	$0.05\mu\text{m}$
$u(\delta t)$	轮廓仪与专用样块的温度差	$0.12^{\circ}\text{C}$	$23 \times 10^{-5}\text{mm} * ^{\circ}\text{C}^{-1}$	$0.03\mu\text{m}$

表 B.3 标准不确定度分量一览表 ( $L = 200\text{mm}$ )

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 $ c $	$ c  * u(x_i)$
$u(l_i)$	测量重复性	$0.47\mu\text{m}$	1	$0.47\mu\text{m}$
$u(L_i)$	轮廓标准器校准结果	$0.75\mu\text{m}$	1	$0.75\mu\text{m}$
$u(\delta\alpha)$	轮廓仪与专用样块线膨胀系数差	$8.2 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$600\text{mm} * ^\circ\text{C}$	$0.49\mu\text{m}$
$u(\delta t)$	轮廓仪与专用样块的温度差	$0.12^\circ\text{C}$	$23 \times 10^{-4} \text{mm} * ^\circ\text{C}^{-1}$	$0.27\mu\text{m}$

## B.5.3 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(l_i) + c_2^2 u^2(L_i) + c_3^2 u^2(\delta\alpha) + c_4^2 u^2(\delta t)}$$

$$L = 20\text{mm} : u_c = 0.31\mu\text{m}$$

$$L = 200\text{mm}: u_c = 1.04\mu\text{m}$$

## B.6 扩展不确定度的确定

$$\text{取 } k = 2, \text{ 则有 } L = 20\text{mm}: U = k * u_c = 2 * 0.31\mu\text{m} \approx 0.6\mu\text{m}$$

$$L = 200\text{mm}: U = k * u_c = 2 * 1.04\mu\text{m} \approx 2.0\mu\text{m}$$

## 附录 C

## 轮廓垂直分量 (Z 轴) 示值误差的测量不确定度评定示例

## C.1 概述

在环境温度 (20±3) °C, 采用 3 等量块校准轮廓垂直分量 (Z 轴) 9mm 处示值, 测得值与量块实际值高度差之差为测量结果。

## C.2 测量模型

$$\Delta_i = l_i - (L_i - L_0) + l_i * \alpha_{l_i} * \Delta t_{l_i} - (L_i - L_0) * \alpha_{L_i} * \Delta t_{L_i} \quad (C.1)$$

式中:  $\Delta_i$ —轮廓垂直分量各校准点示值误差, mm;

$l_i$ —轮廓仪垂直分量示值, mm;

$L_i$ —第  $i$  块量块实际值, mm;

$L_0$ —置零用量块的实际值, mm;

$\alpha_{l_i}$ 、 $\alpha_{L_i}$ —分别为轮廓仪、量块的线膨胀系数,  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$\Delta t_{l_i}$ 、 $\Delta t_{L_i}$ —分别为轮廓仪、量块偏离标准温度 20°C 的值, °C。

令  $\delta\alpha = \alpha_{l_i} - \alpha_{L_i}$ ,  $\delta t = \Delta t_{l_i} - \Delta t_{L_i}$ , 取  $L \approx l_i \approx L_i - L_0$ ,  $\alpha \approx \alpha_{l_i} \approx \alpha_{L_i}$ ,  $\Delta t \approx \Delta t_{l_i} \approx \Delta t_{L_i}$ ,

则式(C.1)整理得

$$\Delta_i = l_i - (L_i - L_0) + L * \delta\alpha * \Delta t - L * \alpha * \delta t \quad (C.2)$$

## C.3 方差和灵敏系数

考虑各分量彼此独立, 由式(C.2)有:

$$c_1 = \partial\Delta_i / (\partial l_i) = 1, \quad c_2 = \partial\Delta_i / (\partial L_i) = -1, \quad c_3 = \partial\Delta_i / (\partial L_0) = 1$$

$$c_4 = (\partial\Delta_i) / (\partial\delta\alpha) = L * \Delta t, \quad c_5 = (\partial\Delta_i) / (\partial\delta t) = -L * \alpha$$

## C.4 标准不确定度分量的来源与评定

C.4.1 轮廓仪测量重复性引入的标准不确定度分量  $u(l_i)$ 

以 1mm 量块作为零位量块, 10mm 量块作为校准点的量块, 校准 9mm 校准点的示值误差, 重复测量 10 次, 测量结果见表 C.1



表 C.1

(mm)

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测得值	9.0019	9.0022	9.0021	9.0011	9.0012	9.0014	9.0016	9.0017	9.0018	9.0015

测得数据经处理得单次测量实验标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.36 \mu\text{m}$$

所以

$$u(l_i) = 0.36 \mu\text{m}$$

#### C.4.2 校准用量块引入的不确定度分量 $u(L_i)$

三等量块长度测量的不确定度为 $U = 0.10 \mu\text{m} + 1 \times 10^{-6} \times l_n$ ，置信概率 $P=0.99$ ，包含因子 $k = 2.7$ ，10mm 时为 $U = 0.11 \mu\text{m}$ ， $k = 2.7$ ，因此

$$u(L_i) = \frac{0.11 \mu\text{m}}{2.7} = 0.04 \mu\text{m}$$

#### C.4.3 置零用量块引入的不确定度分量 $u(L_i)$

三等量块长度测量的不确定度为 $U = 0.10 \mu\text{m} + 1 \times 10^{-6} \times l_n$ ，置信概率 $P=0.99$ ，包含因子 $k = 2.7$ ，1mm 时为 $U = 0.10 \mu\text{m}$ ， $k = 2.7$ ，因此

$$u(L_i) = \frac{0.10 \mu\text{m}}{2.7} = 0.04 \mu\text{m}$$

#### C.4.4 轮廓仪与量块线膨胀系数差产生的标准不确定度分量 $u(\delta\alpha)$

轮廓仪与量块材质均为钢制，其线膨胀系数界限在 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内假定服从均匀分布，则 $\delta\alpha$ 区间半宽为 $2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，服从三角分布，线膨胀系数差产生的标准不确定度分量为：

$$u(\delta\alpha) = \frac{2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}{\sqrt{6}} = 8.2 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

#### C.4.5 轮廓仪与量块的温度差产生的标准不确定度分量 $u(\delta t)$

轮廓仪与量块温度不平衡产生温度差，经验表明其半区间为 $0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，服从均匀分布，温度差产生的标准不确定度分量为

$$u(\delta t) = \frac{0.2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### C.5 合成标准不确定度的计算

## C.5.1 灵敏系数的计算

轮廓仪与量块材质均为钢制，其线膨胀系数应为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。被测轮廓仪温度与标准温度  $20^\circ\text{C}$  偏差不超过  $3^\circ\text{C}$ 。 $L = 9\text{mm}$ ，其灵敏系数分别计算为：

$$c_1 = 1, c_2 = -1, c_3 = 1$$

$$c_4 = L * \Delta t = 9\text{mm} * 0.3^\circ\text{C} = 27\text{mm} * ^\circ\text{C},$$

$$c_5 = -L * \alpha = -9\text{mm} * 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = -10.4 \times 10^{-5} \text{mm} * ^\circ\text{C}^{-1}$$

## C.5.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 $ c $	$ c  * u(x_i)$
$u(l_i)$	测量重复性	$0.36\mu\text{m}$	1	$0.36\mu\text{m}$
$u(L_i)$	校准用量块尺寸	$0.04\mu\text{m}$	1	$0.04\mu\text{m}$
$L_0$	置零用量块	$0.04\mu\text{m}$	1	$0.04\mu\text{m}$
$u(\delta\alpha)$	轮廓仪与量块线膨胀系数差	$8.2 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$27\text{mm} * ^\circ\text{C}$	$0.03\mu\text{m}$
$u(\delta t)$	轮廓仪与量块的温度差	$0.12^\circ\text{C}$	$10.4 \times 10^{-5} \text{mm} * ^\circ\text{C}^{-1}$	$0.02\mu\text{m}$

## C.5.3 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(l_i) + c_2^2 u^2(L_i) + c_3^2 u^2(L_0) + c_4^2 u^2(\delta\alpha) + c_5^2 u^2(\delta t)}$$

$$= 0.37\mu\text{m}$$

## C.6 扩展不确定度的确定

$$\text{取 } k = 2, \text{ 则有 } U = k * u_c = 2 * 0.37 \mu\text{m} \approx 0.8\mu\text{m}$$

## 附录 D

## 圆弧半径示值误差的测量不确定度评定示例

## D.1 概述

在环境温度  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，采用 R22.5mm 标准半球，校准轮廓仪圆弧半径示值误差，测得值与标准半球实际值之差为测量结果。

## D.2 测量模型

$$\Delta_i = r_i - R_i + r_i * \alpha_{r_i} * \Delta t_{r_i} - R_i * \alpha_{R_i} * \Delta t_{R_i} \quad (\text{D.1})$$

式中： $\Delta_i$ —轮廓仪半径各校准点示值误差，mm；

$r_i$ —轮廓仪半径测量示值，mm；

$R_i$ —标准半球实际值，mm；

$\alpha_{r_i}$ —轮廓仪的线膨胀系数；

$\alpha_{R_i}$ —标准半球的线膨胀系数；

$\Delta t_{r_i}$ 、 $\Delta t_{R_i}$ —分别为轮廓仪、量块偏离标准温度  $20^\circ\text{C}$  的值， $^\circ\text{C}$ 。

令  $\delta\alpha = \alpha_{r_i} - \alpha_{R_i}$ ， $\delta t = \Delta t_{r_i} - \Delta t_{R_i}$ ，取  $R \approx \alpha_{r_i} \approx \alpha_{R_i}$ ， $\Delta t \approx \Delta t_{r_i} \approx \Delta t_{R_i}$ ，则式(D.1)

整理得

$$\Delta_i = r_i - R_i + R * \delta\alpha * \Delta t - R * \alpha_{r_i} * \delta t \quad (\text{D.2})$$

## D.3 方差和灵敏系数

考虑各分量彼此独立，由式(D.2)有：

$$c_1 = \partial\Delta_i / (\partial r_i) = 1, \quad c_2 = \partial\Delta_i / (\partial R_i) = -1,$$

$$c_3 = (\partial\Delta_i) / (\partial\delta\alpha) = R * \Delta t, \quad c_4 = (\partial\Delta_i) / (\partial\delta t) = -R * \alpha_{r_i}$$

## D.4 标准不确定度分量的来源与评定

D.4.1 轮廓仪测量重复性引入的标准不确定度分量  $u(r_i)$ 

对 R22.5mm 半球在重复性条件下测量 10 次，测量结果见表 D.1

表 D.1

(mm)

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测得值	22.4966	22.4974	22.4976	22.4978	22.4977	22.4977	22.4982	22.4976	22.4976	22.4972

测得数据经处理得单次测量实验标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.42 \mu\text{m}$$

所以

$$u(l_i) = \mu\text{m}$$

#### D.4.2 标准半球的标准不确定度 $u(R_i)$

标准半球的不确定度为  $U=0.5\mu\text{m}$ ， $k=2$ ，因此

$$u(L_i) = \frac{0.5\mu\text{m}}{2} = 0.25\mu\text{m}$$

#### D.4.3 轮廓仪与标准半球线膨胀系数差估算产生的标准不确定度分量 $u(\delta\alpha)$

轮廓仪与标准半球线膨胀系数差估算产生的标准不确定度分量 $u(\delta\alpha)$ 较小，可忽略不计。

#### D.4.4 轮廓仪与标准半球的温度差产生的标准不确定度分量 $u(\delta t)$

轮廓仪与标准半球的温度差产生的标准不确定度分量 $u(\delta t)$ 较小，可忽略不计

### D.5 合成标准不确定度的计算

#### D.5.1 灵敏系数的计算

轮廓仪线膨胀系数应为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，标准半球线膨胀系数为  $(5.5 \pm 0.2) \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。被测轮廓仪温度与标准温度  $20^\circ\text{C}$  偏差不超过  $3^\circ\text{C}$ 。 $R = 22.5\text{mm}$ ，其灵敏系数分别计算为： $c_1 = 1$ ， $c_2 = -1$ ，

#### D.5.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 $ c $	$ c  * u(x_i)$
$u(r_i)$	测量重复性	$0.42\mu\text{m}$	1	$0.42\mu\text{m}$
$u(R_i)$	标准半球尺寸	$0.25\mu\text{m}$	1	$0.25\mu\text{m}$

## D.5.3 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(r_i) + c_2^2 u^2(R_i)} = 0.49 \mu\text{m}$$

## D.6 扩展不确定度的确定

取 $k = 2$ ，则有 $U = k * u_c = 2 * 0.49 \mu\text{m} \approx 1.0 \mu\text{m}$

## 附录 E

## 角度示值误差的测量不确定度评定示例

## E.1 概述

在环境温度  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，采用  $60^\circ 40' 2$  级角度块，校准轮廓仪角度示值误差，测得值与角度块实际值之差为测量结果。

## E.2 测量模型

$$\Delta_i = \theta_i - \varphi_i \quad (\text{E.1})$$

式中： $\Delta_i$ —轮廓仪角度各校准点示值误差， $'$ ；

$\theta_i$ —轮廓仪角度测量示值， $'$ ；

$\varphi_i$ —角度块实际值， $'$ ；

## E.3 方差和灵敏系数

考虑各分量彼此独立，得到：

$$c_1 = \partial \Delta_i / (\partial \theta_i) = 1, \quad c_2 = \partial \Delta_i / (\partial \varphi_i) = -1,$$

## E.4 标准不确定度分量的来源与评定

E.4.1 轮廓仪测量重复性引入的标准不确定度分量  $u(\theta_i)$ 

对  $60^\circ 40'$  角度块在重复性条件下测量 10 次，测量结果见表 E.1

表 E.1

单位： $^\circ$ 

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测得值	60.68	60.66	60.70	60.68	60.67	60.67	60.68	60.67	60.68	60.69

测得数据经处理得单次测量实验标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \approx 0.011^\circ \approx 0.68'$$

所以

$$u(l_i) = 0.68'$$

E.4.2 角度块角度值引入的标准不确定度  $u(\varphi_i)$ 

2 级角度块工作角角度值最大允许误差为  $\pm 0.5'$ ，服从均匀分布，因此角度块角度值引入的标准不确定度分量为

$$u(\varphi_i) = \frac{0.5'}{\sqrt{3}} = 0.29'$$

## E.5 合成标准不确定度的计算

### E.5.1 灵敏系数的计算

灵敏系数分别计算为：

$$c_1 = 1, c_2 = -1$$

### E.5.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 $ c $	$ c  * u(x_i)$
$u(\theta_i)$	测量重复性	$0.68'$	1	$0.68'$
$u(\varphi_i)$	角度块角度值	$0.29'$	1	$0.29'$

### E.5.3 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(\theta_i) + c_2^2 u^2(\varphi_i)}$$

$$= 0.74'$$

## E.6 扩展不确定度的确定

取 $k = 2$ ，则有 $U = k * u_c = 2 * 0.74' \approx 1.5'$

## 附录 F

## 校准证书内页信息及格式

校准证书至少包含以下信息

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点
- d) 证书或报告的唯一性标识（或编号），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) 进行校准日期，如果与校准结果的有效性应用有关时，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) 本次校准所用计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) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制证书的声明



江苏省地方计量校准规范  
接触（触针）式表面轮廓测量仪校准规范

JJF（苏）276—2024

江苏省市场监督管理局发布

\*

江苏省计量协会印刷

版权所有不得翻印

\*

开本 880 mm×1230 mm 16 开本

2024 年 12 月 印刷