

### 测量管理体系关键测量过程不确定度评定 指南 几何量测量

Guide to the evaluation of uncertainty for critical measurement processes in  
measurement management systems—Measurement for geometric

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

山东计量测试学会

发布



## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 顾客测量要求的确定 .....	2
5 计量要求导出 .....	2
6 不确定度的评定 .....	4
附录 A （资料性） 车轴外径测量结果的不确定度评定 .....	7
附录 B （资料性） 构架空簧孔距测量结果的不确定度评定 .....	9
附录 C （资料性） MTN 轴箱轴承外圈直径测量结果的不确定度评定 .....	12
附录 D （资料性） 表面粗糙度检测结果的不确定度评估示例 .....	15
附录 E （资料性） 齿轮几何精度检测结果的不确定度评估示例 .....	18
附录 F （资料性） 光滑工件尺寸测量结果的不确定度评估示例 .....	22
附录 G （资料性） 活塞销孔尺寸测量结果的不确定度评定示例 .....	27
附录 H （资料性） 活塞销外径尺寸测量结果的不确定度评估示例 .....	30
附录 I （资料性） 三坐标测量机测量距离尺寸的不确定度评估示例 .....	35
附录 J （资料性） 凸轮轴相位角度及升程误差测量结果的不确定度评定示例 .....	39
附录 K （资料性） 万能工具显微镜测量气门尺寸及角度的不确定度评定示例 .....	43
附录 L （资料性） 圆度检测结果的不确定度评估示例 .....	48
参 考 文 献 .....	52

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东计量测试学会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 测量管理体系关键测量过程不确定度评定指南 几何量测量

## 1 范围

本文件规定了测量管理体系关键测量过程的术语和定义、顾客测量要求的确定、计量要求导出、不确定度的评定。

本文件适用于测量管理体系关键测量过程几何量测量的不确定度评定。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示

## 3 术语和定义

JJF1001界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**测量管理体系 measurement management system**

为完成计量确认并持续控制测量过程所必需的一组相互关联或相互作用的要素。

[来源：GB/T 19022—2003，3.1]

### 3.2

**测量过程 measurement process**

确定量值的一组操作。

[来源：GB/T 19022—2003，3.2]

### 3.3

**要求 requirement**

明示的、通常隐含的或必须履行的需求或期望。

[来源：GB/T 19000—2016，3.6.4]

### 3.4

**容差 tolerance**

**公差 specified tolerance**

容许上限和容许下限之间的差值。

[来源：GB/T 27430—2022，3.3.6]

3.5

**测量能力指数 measurement capability index**

容差除以物品属性测得值的标准不确定度的倍数。

[来源：GB/T 27430—2022，3.3.17]

3.6

**关键测量过程 critical measurement process**

含有关键性的或复杂的测量系统，保证生产安全或由于测量结果不正确会引起后续的昂贵代价的测量过程。

3.7

**测量要求 measurement require**

顾客要求或产品要求中给出的指标或参数。

3.8

**计量要求 metrological requirement**

对测量过程和测量设备的特性或水平提出的要求。

## 4 顾客测量要求的确定

顾客的测量要求来源于：

- a) 合同、图纸、标准、工艺文件或技术规范规定的要求；
- b) 相关法律法规要求；
- c) 顾客的其他潜在要求。

## 5 计量要求导出

### 5.1 计量要求

应确定顾客的测量要求并转化为计量要求。计量要求包括测量范围、最大允许误差、分辨力、测量结果的允许不确定度、环境条件等。

### 5.2 计量要求导出

#### 5.2.1 测量范围

测量设备的测量范围应覆盖被测量的容差范围。

#### 5.2.2 最大允许误差

测量设备的最大允许误差应为被测量容差的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{3}$ 。

### 5.2.3 测量不确定度

#### 5.2.3.1 双侧容差情形

对于双侧容差情况，测量结果的不确定度与测量能力指数具有如下关系式：

$$C_p = \frac{T_U - T_L}{6u_c} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$C_p$ ——测量能力指数；

$u_c$ ——测量结果的标准不确定度；

$T_U$ ——容差上限；

$T_L$ ——容差下限；

通常取 $C_p > 1$ ，则：

$$u_c \leq \frac{T_U - T_L}{6} \dots\dots\dots (2)$$

#### 5.2.3.2 单侧容差情形

当只给出容差上限或下限时，测量能力指数为：

$$C_p = \frac{T_U - \bar{X}}{3u_c} \dots\dots\dots (3)$$

或

$$C_p = \frac{\bar{X} - T_L}{3u_c} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\bar{X}$ ——被测量的平均值。

取 $C_p > 1$ ，则 $u_c$ 应满足：

$$u_c \leq \frac{T_U - \bar{X}}{3} \dots\dots\dots (5)$$

或

$$u_c \leq \frac{\bar{X} - T_L}{3} \dots\dots\dots (6)$$

## 5.2.4 测量环境

测量环境条件应符合相关标准、规范、作业指导书的要求。

## 6 不确定度的评定

### 6.1 总则

测量不确定分析、评定与表示应符合JJF 1059.1要求。

### 6.2 测量模型

测量中，当被测量（即输出量） $Y$ 由 $N$ 个其他量 $X_1, X_2, \dots, X_N$ （即输入量），通过函数 $f$ 来确定时，则公式(1)称为测量模型：

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \dots\dots\dots (7)$$

被测量 $Y$ 的估计值用 $y$ 表示，是用 $N$ 个输入量 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 的估计值 $x_1, x_2, \dots, x_N$ 带入式(1)得到，输出量的估计值 $y$ ，即测量结果由(2)式得到：

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \dots\dots\dots (8)$$

在某些情况下，估计值 $y$ 可由下式得到：

$$y = \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Y_k = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(X_{1,k}, X_{2,k}, \dots, X_{N,k}) \dots\dots\dots (9)$$

### 6.3 标准不确定度的评定

#### 6.3.1 标准不确定度 A 类评定

被测量 $X$ 最佳估计值的计算公式为：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots (10)$$

式中：

单个测得值的试验标准偏差计算公式为：

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

被测量估计值 $\bar{x}$ 的A类标准不确定度 $u_A$ 计算公式为：

$$u_A = u(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \frac{s(\bar{x})}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (12)$$

对一个处于统计控制状态的过程进行 $m$ 次测量，每次测量的次数相同、试验标准偏差为 $s_j$ ，合并样本标准偏差计算公式为：

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n s_j^2}{m}} \dots\dots\dots (13)$$

### 6.3.2 标准不确定度的B类评定

B类标准不确定度 $u_B$ 由下式得到：

$$u_B = \frac{a}{k} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$a$  ——被测量可能值区间的板宽度；

$k$  ——包含因子。

### 6.4 合成标准不确定度的计算

对于式(2)测量模型，被测量估计值 $y$ 的合成标准不确定度 $u_c(y)$ 计算公式：

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$  ——灵敏系数；

$u(x_i)$  ——输入量 $x_i$ 的标准不确定度；

$r(x_i, x_j)$  ——输入量 $x_i$ 与 $x_j$ 的相关系数。

### 6.5 扩展不确定度的确定

扩展不确定度按下式计算：

$$U = k u_c \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$k$  ——包含因子，一般取 $k=2$ 。

测量结果用下式表示：

$$Y = y \pm U \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$Y$  ——被测量的估计值。

## 6.6 不确定度的报告与表示

测量不确定度报告的内容应符合JJF1059.1—2012 5的要求。基本格式见附录A至附录L。

## 附录 A

(资料性)

## 车轴外径测量结果的不确定度评定

## A.1 概述

A.1.1 测量依据：车轴检测作业指导书。

A.1.2 环境条件：温度  $(20 \pm 5)$  °C。

A.1.3 测量标准：车轴测量系统，最大允许误差为  $\pm 5 \mu\text{m}$ ；标准车轴，校准结果的扩展不确定度为  $U = 1.8 \mu\text{m}$ ,  $k=2$ 。

A.1.4 被测对象：车轴轴径直径  $\Phi 130^{+0.059}_{+0.037}$  mm。

A.1.5 测量过程：车轴测量系统测量标准车轴后，进行零位修正，修正完成后对车轴轴径直径进行测量。

## A.2 数学模型

$$D = L \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：D——被测车轴轴径直径；

L——车轴测量系统读数。

A.3 输入量的标准不确定度分量  $u_i$ A.3.1 测量重复性引入的标准不确定度  $u_1$  的评定

在重复性条件下对车轴轴径直径连续测量10次，测量结果如下：

(mm)				
130.051	130.050	130.051	130.050	130.050
130.050	130.050	130.050	130.051	130.051

得单次实验标准差  $s=0.52 \mu\text{m}$ ，则  $u_1 = s = 0.52 \mu\text{m}$ 。

A.3.2 车轴测量系统示值误差及校准结果不确定度引入的标准不确定度  $u_2$  的评定

车轴测量系统最大示值误差为  $\pm 5 \mu\text{m}$ ，认为其服从均匀分布，则

$$u_2 = 5 / \sqrt{3} \approx 2.89 \mu\text{m} \dots\dots\dots (A.2)$$

A.3.3 标准车轴校准结果不确定度引入的不确定度  $u_3$  的评定

标准车轴，校准结果的扩展不确定度为  $U = 1.8 \mu\text{m}$ ,  $k = 2$ ，则  $u_3 = 1.8 / 2 = 0.90 \mu\text{m}$ 。

A.3.4 车轴测量系统与车轴间的线膨胀系数差引入的不确定度  $u_4$  的评定

轴承测量系统与被测轴承线膨胀系数之差  $\Delta\alpha$  应在  $\pm 1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内, 服从三角分布, 标准不确定度  $u_4$  为:

$$u_4 = L_s (t_x - 20) \cdot \Delta\alpha / \sqrt{6} \dots\dots\dots (A. 3)$$

现场环境要求温度  $(20 \pm 5) \text{ } ^\circ\text{C}$ , 最大偏离温度为  $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ , 则  $u_4 = \frac{130 \times 10^3 \times 5 \times 1 \times 10^{-6}}{\sqrt{6}} \approx 0.27 \text{ } \mu\text{m}$ 。

A. 3.5 车轴测量系统与被测车轴间的温度差引入的不确定度  $u_5$  的评定

原则上要求轴承测量系统和被测轴承温度达到平衡后进行测量。但实际测量时, 两者仍有一定的温度差  $\Delta t$ ,  $\Delta t$  在  $\pm 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$  范围内等概率分布, 包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 由  $\Delta t$  引起的标准不确定度为:

$$u_5 = L_s \cdot \alpha_s \cdot \Delta t / \sqrt{3} \dots\dots\dots (A. 4)$$

$\alpha_s = 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $L = 130 \text{ mm}$ , 则  $u_5 = 130 \times 10^3 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 0.2 / \sqrt{3} \approx 0.18 \text{ } \mu\text{m}$ 。

A. 4 合成不确定度

A. 4.1 主要标准不确定度汇总表:

不确定度来源 ( $e_i$ )	$a_i$	$k_i$	$u_i$
测量重复性	0.52 $\mu\text{m}$	1	0.52 $\mu\text{m}$
车轴测量系统示值误差及不确定度	2.89 $\mu\text{m}$	1	2.89 $\mu\text{m}$
标准车轴不确定度	1.8 $\mu\text{m}$	2	0.90 $\mu\text{m}$
车轴测量系统与被检车轴线膨胀系数差	0.65 $\mu\text{m}$	$\sqrt{6}$	0.27 $\mu\text{m}$
车轴测量系统与被检车轴温度差	0.299 $\mu\text{m}$	$\sqrt{3}$	0.18 $\mu\text{m}$

A. 4.2 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量相互独立不相关, 则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 3.09 \mu\text{m} \dots\dots\dots (A. 5)$$

A. 5 扩展不确定度  $U$

设  $k=2$ , 则  $U = k u_c$ .  $L=130 \text{ mm}$  时,  $U = 2 \times 3.09 \approx 6.2 \mu\text{m}$ 。

## 附录 B

(资料性)

## 构架空簧孔距测量结果的不确定度评定

## B.1 概述。

B.1.1 测量方法：标准动车组构架检测工艺卡片。

B.1.2 环境条件：温度  $(20 \pm 2)$  °C。B.1.3 测量标准：坐标测量机，最大示值误差为  $\pm(5.9 + L/350)\mu\text{m}$ ，校准结果的扩展不确定度为  $U = (0.4 + 2.4L/1000)\mu\text{m}, k = 2$ B.1.4 被测对象：350公里标准动车组两空簧孔距离  $2360_{-0.5}^0$  mm。

B.1.5 测量过程：坐标测量机分别测量空簧孔A和B，然后计算空簧孔A和空簧孔B的圆心距。

## B.2 数学模型。

$$D = L \dots\dots\dots \text{(B.1)}$$

式中：

D —— 被测空簧孔距离；

L —— 坐标测量机的计算结果。

输入量的标准不确定度分量  $u_i$ B.2.1 测量重复性引入的标准不确定度  $u_1$  的评定

在重复性条件下对空簧孔A和B连续测量10次，测量完成后计算距离，计算结果如下：(mm)

2359.996	2359.992	2359.993	2359.989	2359.998
2359.996	2359.992	2359.993	2359.989	2359.998

得单次实验标准差  $s = 3.9\mu\text{m}$ ，则  $u_1 = s = 3.9\mu\text{m}$ B.2.2 坐标测量机示值误差及校准结果不确定度引入的标准不确定度  $u_2$  的评定坐标测量机最大示值误差为  $\pm(5.9 + L/350)\mu\text{m}$ ，认为其服从均匀分布，则

$$u_{21} = (5.9 + 2360/350) / \sqrt{3} \approx 7.3\mu\text{m}$$

坐标测量机校准结果不确定度  $(0.4 + 2.4L/1000)\mu\text{m}$  ,  $k=2$  , 则

$$u_{22} = (0.4 + \frac{2.4 \times 2360}{1000}) / 2 = 3.1 \mu\text{m}$$

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} \approx 7.9 \mu\text{m}$$

### B.2.3 坐标测量机与转向架间的线膨胀系数差引入的不确定度 $u_3$ 的评定

坐标测量机与被测转向架线膨胀系数之差  $\Delta\alpha$  应在  $\pm 1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内, 服从三角分布, 标准不确定度  $u_3$  为:  $u_3 = L_s(t_x - 20) \cdot \Delta\alpha / \sqrt{6}$ 。现场环境要求温度  $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$ , 最大偏离温度为  $2 \text{ } ^\circ\text{C}$ , 则

$$u_3 = \frac{2360 \times 10^3 \times 2 \times 1 \times 10^{-6}}{\sqrt{6}} = 2.0 \mu\text{m}$$

### B.2.4 坐标测量机与被测转向架间的温度差引入的不确定度 $u_4$ 的评定

原则上要求坐标测量机与被测转向架温度达到平衡后进行测量。但实际测量时, 两者仍有一定的温度差  $\Delta t$ ,  $\Delta t$  在  $\pm 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$  范围内等概率分布, 包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 由  $\Delta t$  引起的标准不确定度为:

$$u_4 = L_s \cdot \alpha_s \cdot \frac{\Delta t}{\sqrt{3}} \quad \text{由于 } \alpha_s = 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ 故}$$

对于  $L=2360\text{mm}$  时

$$u_4 = 2360 \times 10^3 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 0.5 / \sqrt{3} = 7.9 \mu\text{m}$$

## B.3 合成不确定度

### B.3.1 主要标准不确定度汇总表:

不确定度来源 ( $e_i$ )	$a_i$	$k_i$	$u_i$
测量重复性	$3.9 \mu\text{m}$	1	$3.9 \mu\text{m}$
坐标测量机示值误差及不确定度	$7.9 \mu\text{m}$	1	$7.9 \mu\text{m}$
坐标测量机与被检转向架线膨胀系数差	$4.7 \mu\text{m}$	$\sqrt{6}$	$2.0 \mu\text{m}$
坐标测量机与被检转向架温度差	$13.6 \mu\text{m}$	$\sqrt{3}$	$7.9 \mu\text{m}$

### B.3.2 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量相互独立不相关, 则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 12.0 \mu\text{m}$$

## B.4 扩展不确定度 $U$

设 $k=2$ ，则 $U=ku$ 。当 $L=2360\text{mm}$ 时， $U=2 \times 12.0=24\mu\text{m}$

## 附录 C

(资料性)

## MTN 轴箱轴承外圈直径测量结果的不确定度评定

## C.1 概述。

C.1.1 测量方法：动车组轴箱轴承检测作业指导书。

C.1.2 环境条件：温度  $(20 \pm 2.5) ^\circ\text{C}$ 。C.1.3 测量标准：轴承测量系统，最大示值误差为  $\pm 3\mu\text{m}$ ，校准结果的扩展不确定度为 $U = 1\mu\text{m}, k = 2$ ；标准量规，校准结果的扩展不确定度为  $U = 1.3\mu\text{m}, k = 2$ C.1.4 被测对象：标准动车组 MTN 轴箱轴承外圈外径  $\Phi 240_{-0.070}^0 \text{ mm}$ 。

C.1.5 测量过程：轴承测量系统测量标准量规后，进行零位修正，修正完成后对 MTN 轴箱轴承外圈直径进行测量。

## C.2 数学模型。

$$D = L \dots\dots\dots \text{(C.1)}$$

式中：

 $D$  —— 被测轴承外圈直径； $L$  —— 轴承测量系统读数。C.3 输入量的标准不确定度分量  $u_i$ C.3.1 测量重复性引入的标准不确定度  $u_1$  的评定

在重复性条件下对 MTN 轴箱轴承外圈直径连续测量 10 次，测量结果如下：

(mm)

239.9740	239.9740	239.9739	239.9738	239.9739
239.9738	239.9737	239.9737	239.9737	239.9738

得单次实验标准差  $s = 0.12\mu\text{m}$ ，则  $u_1 = s = 0.12\mu\text{m}$ C.3.2 轴承测量系统示值误差及校准结果不确定度引入的标准不确定度  $u_2$  的评定轴承测量系统最大示值误差为  $\pm 3\mu\text{m}$ ，认为其服从均匀分布，则  $u_{21} = 3/\sqrt{3} \approx 1.73\mu\text{m}$ 轴承测量系统校准结果不确定度  $U = 1\mu\text{m}, k = 2$ ，则  $u_{22} = 1/2 = 0.50\mu\text{m}$ 

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} \approx 1.8\mu\text{m}$$

### C.3.3 标准量规校准结果不确定度引入的不确定度 $u_3$ 的评定

标准量规，校准结果的扩展不确定度为  $U = 1.3 \mu m, k = 2$ ，则  $u_3 = 1.3/2 = 0.65 \mu m$

### C.3.4 轴承测量系统与被检轴承间的线膨胀系数差引入的不确定度 $u_4$ 的评定

轴承测量系统与被测轴承线膨胀系数之差  $\Delta\alpha$  应在  $\pm 1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内，服从三角分布，标准不确定度  $u_4$  为： $u_4 = L_s(t_x - 20) \cdot \Delta\alpha / \sqrt{6}$ 。现场环境要求温度  $(20 \pm 2.5) \text{ } ^\circ\text{C}$ ，最大偏离温度为  $2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，则

$$u_4 = \frac{240 \times 10^3 \times 2.5 \times 1 \times 10^{-6}}{\sqrt{6}} \approx 0.25 \mu m$$

### C.3.5 轴承测量系统与被测轴承间的温度差引入的不确定度 $u_5$ 的评定

原则上要求轴承测量系统和被测轴承温度达到平衡后进行测量。但实际测量时，两者仍有一定的温度差  $\Delta t$ ， $\Delta t$  在  $\pm 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$  范围内等概率分布，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，由  $\Delta t$  引起的标准不确定度为：

$$u_5 = L_s \cdot \alpha_s \cdot \frac{\Delta t}{\sqrt{3}} \quad \text{由于 } \alpha_s = 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad \text{故}$$

对于  $L = 2360 \text{ mm}$  时

$$u_5 = 240 \times 10^3 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 0.2 / \sqrt{3} = 0.32 \mu m$$

## C.4 合成不确定度

### C.4.1 主要标准不确定度汇总表：

不确定度来源 ( $e_i$ )	$a_i$	$k_i$	$u_i$
测量重复性	$0.12 \mu m$	1	$0.12 \mu m$
轴承测量系统示值误差及不确定度	$1.8 \mu m$	1	$1.8 \mu m$
标准量规不确定度	$1.3 \mu m$	2	$0.65 \mu m$
轴承测量系统与被检轴承线膨胀系数差	$0.6 \mu m$	$\sqrt{6}$	$0.25 \mu m$
轴承测量系统与被检轴承温度差	$0.552 \mu m$	$\sqrt{3}$	$0.32 \mu m$

### C.4.2 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量相互独立不相关，则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 1.96 \mu m$$

T/SSM XXXXX—XXXX

C.5 扩展不确定度  $U$

设  $k=2$ ，则  $U=ku_c$ 。  $L=240\text{mm}$ 时，  $U = 2 \times 1.96 \approx 4.0\mu\text{m}$

## 附录 D

(资料性)

## 表面粗糙度检测结果的不确定度评估示例

## 1 概述

1.1 测量方法：依据 GB/T 10610-2009《产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法》。

1.2 环境条件：温度（20±5）℃。

1.3 测量标准：FTSIND120 表面粗糙度轮廓仪，相对不确定度为  $U_{rel} = 3\%$ ， $k = 2$ 。

1.4 被测对象：活塞销外圆粗糙度  $R_{amax}0.1$ 。

## 1.5 测量过程

用 FTSIND120 表面粗糙度轮廓仪直接测量。将活塞销安放在 V 型工作台上，使测量方向与被测表面加工纹理方向垂直，调整仪器至正常工作状态，根据其参数特性设置测量条件，对活塞销外圆表面进行测量，将测得的  $Ra$  值作为测量结果。

## 1.6 评定结果的使用

在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

## 2 数学模型

$$\delta = d$$

式中： $\delta$ —被测件的测量结果；

$d$ —表面粗糙度轮廓仪显示的  $Ra$  测量结果。

3 输入量  $d$  的标准不确定度  $u_{rel}(d)$  的评定

输入量  $d$  的不确定度来源主要是：测量重复性引起的相对标准不确定度  $u_{rel}(d_1)$ ；触针式表面粗糙度轮廓仪不确定度引起的相对标准不确定度  $u_{rel}(d_2)$  及被测件表面不均匀引入的不确定度分量  $u_{rel}(d_3)$ 。

3.1 测量重复性引起的相对标准不确定度  $u_{rel}(d_1)$  的评定

根据山东省计量科学研究院出具的校准证书，粗糙度轮廓仪的测量重复性为 0.9%，按均匀分布处理，则其引入的相对标准不确定度为：

$$u_{rel}(d_1) = \frac{0.9\%}{\sqrt{3}} \approx 0.52\%$$

3.2 触针式表面粗糙度轮廓仪的不确定度引起的相对标准不确定度  $u_{rel}(d_2)$  的评定

$u_{rel}(d_2)$  可根据触针式表面粗糙度轮廓仪的不确定度采用 B 类方法来评定。

根据山东省计量科学研究院出具的校准证书，粗糙度轮廓仪的相对不确定度为  $U_{rel} = 3\%$ ， $k = 2$ ，

则其引入的相对标准不确定度为：

$$u_{rel}(d_2) = \frac{a}{k} = \frac{3\%}{2} = 1.5\%$$

### 3.3 被测件表面不均匀引入的不确定度分量 $u_{rel}(d_3)$ 的评定

对被测件的不同截面的六个位置进行测量，取其平均值作为测量结果。根据经验，被测件表面不均匀性引入的实验标准偏差通常不超过 3%。因此其 6 次测量平均值的标准差为

$$u_{rel}(d_3) = \frac{3\%}{\sqrt{6}} \approx 1.22\%$$

### 3.4 输入量 $d$ 的相对标准不确定度 $u_{rel}(d)$ 的计算

$$u_{rel}(d) = \sqrt{u_{rel}^2(d_1) + u_{rel}^2(d_2) + u_{rel}^2(d_3)} = \sqrt{0.52^2 + 1.5^2 + 1.22^2} \% \approx 2.0\%$$

## 4 合成标准不确定度的评定

### 4.1 灵敏系数

数学模型  $\delta = d$

$d$  的指数  $c = 1$

### 4.2 相对标准不确定度汇总表

输入量的相对标准不确定度汇总于表 2。

表 2 相对标准不确定度汇总表

相对标准不确定度 $u_i$	不确定度来源	相对标准不确定度 值	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u_{rel}$
$u_{rel}(d_1)$	测量重复性	0.52%	1	0.52%
$u_{rel}(d_2)$	触针式粗糙度测量仪 示值误差	1.5%	1	1.5%
$u_{rel}(d_3)$	被测件表面不均匀	1.22%	1	1.22%
$u_{crel}(d) = 2.0\%$				

### 4.3 合成相对标准不确定度的计算

$$u_{rel}(d) = 2.0\%$$

## 5 相对扩展不确定度的评定

取包含因子  $k = 2$ ，则扩展不确定度  $U_{rel}$  为：

$$U_{rel} = k u_{rel} = 2 \times 2.0\% = 4.0\%$$

## 6 测量不确定度的报告与表示

表面粗糙度检测结果的相对扩展不确定度为

$$U_{rel} = 4.0\%$$

$$k = 2$$

## 附录 E

(资料性)

## 齿轮几何精度检测结果的不确定度评估示例

## 1 概述

1.1 测量方法：依据 GB/T 13924-2008《渐开线圆柱齿轮精度 检验细则》；

1.2 环境条件：温度：(20±2)℃；相对湿度：≤70%；

1.3 检测设备：3006B 万能齿轮测量机；

1.4 被测对象：170Z.08.10.01C 油泵齿轮；

1.5 测量过程：将被测齿轮装夹在万能齿轮测量机两顶针之间，选用合适直径的测头，按标准及作业指导书要求进行齿廓偏差、螺旋线偏差等项目的综合测量。

## 1.6 评定结果的使用

符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

## 2 数学模型

$$\delta = d$$

式中： $\delta$ ——被测齿轮的测量结果；

$d$ ——3006B 万能齿轮测量机给出的测量结果的平均值；

3 输入量  $d$  的不确定度  $u(d)$  的评定

输入量  $d$  的不确定度来源主要是：被测齿轮安装误差（偏心或倾斜）引入的影响量，测量与校准时测头在被测齿轮轴相等的距离引入的影响量，温度误差引入的影响量，被测齿面粗糙度引入的影响量等等，因这些因素引起的不确定度很难用数学方法分析，相互间关系也很复杂，只能用 A 类评定，让各影响值同时起作用，通过重复性试验来评定它们的综合影响，此测量重复性引起的标准不确定度为  $u(d_1)$ ；3006B 万能齿轮测量机设备本身引起的标准不确定度用 B 类评定，记作  $u(d_2)$ 。

3.1 测量重复性引起的标准不确定度  $u(d_1)$  的评定

测量重复性引起的标准不确定度  $u(d_1)$  可以通过连续测量得到的测量列，利用 A 类方法进行评定。

将被测齿轮装夹在万能齿轮测量机的顶针上，选其中一个齿，重复测量其齿廓（齿形）偏差 10 次，得到一组测量列，数据及计算结果见表 1——齿廓偏差实验标准差计算表；重复测量其螺旋线（齿向）偏差 10 次，得到一组测量列，数据及计算结果见表 2——螺旋线偏差实验标准差计算表。

表 1——齿廓偏差实验标准差计算表

次数	数据 ( $\mu\text{m}$ )	均值差	残差的平方和	计算结果
1	2.6	-0.28	0.0784	均值： $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} = 2.88 \mu\text{m}$
2	3.0	0.12	0.0144	
3	2.8	-0.08	0.0064	
4	3.1	0.22	0.0484	
5	2.4	-0.48	0.2304	实验标准偏差： $s(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \approx 0.297 \mu\text{m}$
6	2.7	-0.18	0.0324	
7	3.3	0.42	0.1764	
8	2.9	0.02	0.0004	
9	3.3	0.42	0.1764	
10	2.7	-0.18	0.0324	

常规检测中通常做对向四分齿检测，取其最大值作为测量结果，则其标准偏差：

$$u(d_{11}) = s_n(X) = 0.297 \mu\text{m}$$

表 2——螺旋线偏差实验标准差计算表

次数	数据 ( $\mu\text{m}$ )	均值差	残差的平方和	计算结果
1	5.4	0.4	0.16	均值： $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} = 5.0 \mu\text{m}$
2	4.7	-0.3	0.09	
3	5.2	0.2	0.04	
4	4.8	-0.2	0.04	
5	5.4	0.4	0.16	实验标准偏差： $s(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \approx 0.330 \mu\text{m}$
6	4.6	-0.4	0.16	
7	5.3	0.3	0.09	
8	4.6	-0.4	0.16	
9	5.2	0.2	0.04	
10	4.8	-0.2	0.04	

常规检测中通常做对向四分齿检测，取其最大值作为测量结果，则其标准偏差：

$$u(d_{12}) = s_n(X) = 0.330 \mu\text{m}$$

2. 3006B 万能齿轮测量机本身测量不确定度的影响量  $u(d_2)$ :

根据山东省计量科学研院校准证书，其齿廓总偏差为  $1.6\mu\text{m}$ ，取其为均匀分布，则其标准不确定分量为：

$$u(d_{21}) = 1.6 / \sqrt{3} \approx 0.924 \mu\text{m}$$

根据山东省计量科学研院校准证书，其螺旋线总偏差为  $3.7\mu\text{m}$ ，取其为均匀分布，则其标准不确定分量为：

$$u(d_{22}) = 3.7 / \sqrt{3} \approx 2.136 \mu\text{m}$$

## 4 合成标准不确定度的评定

## 4.1 灵敏系数

数学模型  $\delta = d$

灵敏系数  $c = 1$

## 4.2 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度分别汇总于表 3——齿形偏差和标准不确定度汇总表及表 4——齿向偏差标准不确定度汇总表中。

表 3——齿廓偏差标准不确定度

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 值 $u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )
$u(d_{11})$	齿廓偏差测量重复性	0.297	1	0.297
$u(d_{21})$	测量系统本身的不确定度	0.924	1	0.924

表 4——螺旋线偏差标准不确定度

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 值 $u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )
$u(d_{12})$	螺旋线偏差测量重复性	0.330	1	0.330
$u(d_{22})$	测量系统本身的不确定度	2.136	1	2.136

## 4.3 合成标准不确定度的计算

齿廓偏差合成标准不确定度为：

$$u_{c1} = \sqrt{\sum_{k=1}^2 u(d_{k1})^2} \approx 0.0010 \text{ mm}$$

螺旋线偏差合成标准不确定度为：

$$u_{c2} = \sqrt{\sum_{k=1}^2 u(d_{k2})^2} \approx 0.0022 \text{ mm}$$

## 5 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k = 2$ ，则齿廓偏差的扩展不确定度  $U$  为

$$U = ku_c = 2 \times 0.0010 = 0.002 \text{ mm}; \quad k = 2$$

根据 7 级齿轮的公差要求,则其相对扩展不确定度  $U_{rel}$  为:

$$U_{rel} = \frac{0.002}{0.018} \times 100\% \approx 11\%$$

螺旋线偏差的扩展不确定度  $U$  为

$$U = ku_c = 2 \times 0.0022 \approx 0.005 \text{ mm}; \quad k = 2$$

根据 7 级齿轮的公差要求,则其相对扩展不确定度  $U_{rel}$  为:

$$U_{rel} = \frac{0.005}{0.018} \times 100\% \approx 28\%$$

## 附录 F

(资料性)

## 光滑工件尺寸测量结果的不确定度评估示例

## 1 概述

1.1 测量方法：依据 WDJL-C-06 尺寸公差检测作业指导书及相关技术图纸。

1.2 环境条件：温度  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 。

1.3 测量标准：四等量块，扩展不确定度  $U=0.11\mu\text{m} + 1.1 \times 10^{-6}L_n$ ； $k = 2$ ；测长仪的示值误差为  $1\mu\text{m}$ 。

1.4 被测对象：活塞销（外径尺寸要求： $\Phi 52-0.002 -0.008$ ）。

1.5 测量过程：将活塞销在测长仪上与标称尺寸为 52 mm 的四等量块组作比较测量。

1.6 评定结果的使用：符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

## 2 数学模型

$$\delta = L - L_S$$

式中：

$\delta$ ——活塞销与组合量块的差值；

$L$ ——测长仪的读数；

$L_S$ ——四等量块的组合尺寸；

## 3 输入量的标准不确定度评定

3.1 输入量  $L$  的标准不确定度  $u(L)$  的评定：

输入量  $L$  的不确定度来源主要是测长仪测量重复性引起的不确定度  $u(L_1)$ ，测长仪本身示值误差的影响量  $u(L_2)$ ，检测温度偏离标准温度的影响量  $u(L_3)$ ，被测件与量块不等温的影响量  $u(L_4)$ ，读数时由分辨力引入的影响量  $u(L_5)$ 。

3.1.1 测长仪测量重复性引起的不确定度  $u(L_1)$  的评定

根据 WDJL-080645 活塞销检测作业指导书，在测长仪上将被检活塞销与同尺寸的量块组重复比较测量 10 次，得到的测量数据及计算结果如表 1——实验标准偏差计算表所示：

表 1——实验标准偏差计算表

次数	数据 (mm)	均值差	残差的 平方和	计算结果
1	-0.0032	0.0001	0.00000001	均值： $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} = -0.0035 \text{ mm}$
2	-0.0037	-0.0001	0.00000001	
3	-0.0034	0.0001	0.00000001	
4	-0.0038	-0.0001	0.00000001	
5	-0.0036	0.0000	0.00000000	实验标准偏差： $s(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \approx 0.19 \mu\text{m}$
6	-0.0035	0.0000	0.00000000	
7	-0.0034	0.0001	0.00000001	
8	-0.0035	0.0000	0.00000000	
9	-0.0037	-0.0002	0.00000004	
10	-0.0033	0.0001	0.00000001	

则其测量重复性引起的不确定度  $u(L_1)$  为：

$$u(L_1) = s(\bar{X}) = 0.19 \mu\text{m}$$

### 3.1.2 测长仪示值误差引起的不确定度 $u(L_2)$ 的评定

根据校准结果，测长仪最大示值误差为  $1 \mu\text{m}$ ，取均匀分布。但因是比较测量，则其引入的不确定分量为：

$$u(L_2) \approx 0 \mu\text{m}$$

### 3.1.3 检测温度偏离标准温度的影响量 $u(L_3)$ ：

钢质量块的线膨胀系数应为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。假定活塞销与标准量块的线膨胀系数均在  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内等概率分布，则标准量块和被测量块的线膨胀系数之差  $\Delta a$  应在  $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内服从三角分布。该三角分布的半宽为  $a = 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，标准不确定度  $u(L_3)$  为：

$$u(L_3) = L(t_x - 20) \cdot a / \sqrt{6}$$

假定实际检测温度在  $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$  的范围内服从均匀分布，该均匀分布的半宽为  $2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，则对于  $52 \text{ mm}$  的量块和被测件，其标准不确定度  $u(L_3)$  为：

$$u(L_3) = \frac{52 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-6} \times 2}{\sqrt{6}} \approx 0.088 \mu\text{m}$$

### 3.1.4 被测件与量块不等温的影响量 $u(L_4)$ ：

原则上要求标准量块与被测件温度达到平衡后进行测量。但在实际测量中，二者有一定的温度差  $\Delta t$ 。假定  $\Delta t$  在  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  范围内均匀分布，该分布半宽为  $0.1^\circ\text{C}$ ，则由  $\Delta t$  引起的标准不确定度  $u(L_4)$  为：

$$u(L_4) = \frac{L\alpha a}{\sqrt{3}} \approx 0.034\mu\text{m}$$

### 3.1.5 测长仪读数时由分辨力引入的影响量 $u(L_5)$ ：

测长仪读数时由分辨力引入的影响量  $u(L_5)$  在测量重复性分析时已包含在内，不再重复评定。

### 3.2 输入量 $L_S$ 的标准不确定度 $u(L_S)$ 的评定：

输入量  $L_S$  的不确定度来源主要是由四等量块的不确定度引进的。根据量块检定规程，四等量块（标称尺寸为  $52\text{ mm}$ ）的扩展不确定度  $U_{99}=0.35\mu\text{m}$ ， $k=3$  可得：

$$u(L_S) = \frac{0.35}{3} \approx 0.12\mu\text{m}$$

## 4 合成标准不确定度的评定

### 4.1 灵敏系数

$$\text{数学模型 } \delta = L - L_S$$

$$\text{灵敏系数 } c_1 = \partial\delta / \partial L = 1$$

$$c_2 = \partial\delta / \partial L_S = -1$$

### 4.2 标准不确定度汇总于表 2。

表 2——标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )
$u(L)$	输入量 $L$ 总的示值误差	0.21	1	0.21
$u(\Delta L_1)$	测量重复性	0.19		
$u(\Delta L_2)$	测长仪本身的示值误差	0		
$u(\Delta L_3)$	检测温度偏离标准温度的影响量	0.088		
$u(\Delta L_4)$	被测件与量块不等温的影响量	0.034		
$u(L_S)$	四等标准量块的不确定度	0.12	-1	0.12
$u_c = 0.24\mu\text{m}$				

## 5 合成标准不确定度

以上两项互不相关，则其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u(L)^2 + u(L_s)^2} \approx 0.24 \mu\text{m}$$

## 6 扩展不确定度

取包含因子  $k = 2$ ，于是扩展不确定度  $U$  为

$$U = ku_c = 2 \times 0.24 \approx 0.5 \mu\text{m}$$

## 7 测量不确定度的报告与表示

Φ52H7 活塞销的测量结果的扩展不确定度为：

$$U = 0.5 \mu\text{m}, \quad k = 2$$

该 Φ52H7 活塞销的轴径尺寸测量结果可表示为：

$$D = (51.9965 \pm 0.0005) \text{mm}; \quad k = 2$$

T/SSM XXXX—XXXX

## 附录 G

(资料性)

## 活塞销孔尺寸测量结果的不确定度评定示例

## 1 概述

1.1 测量方法：依据技术图纸及《两米测长机操作规范》。

1.2 环境条件：温度  $(20 \pm 2)$  °C。

1.3 测量标准：测长机，其不确定度为  $U = (0.3 + L/220)$  μm， $k = 2$ ； $L$  为测量尺寸。标准环规，扩展不确定度  $U = 0.6$  μm； $k = 2$ 。

1.4 被测对象：活塞销孔（孔径尺寸要求： $\Phi 52 + 0.015 + 0.009$ ）。

1.5 测量过程：将活塞销孔在测长机上与标准环规做比较测量。

1.6 评定结果的使用：符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

## 2 数学模型

$$D = L_D - (L_d - d)$$

式中：

$L_D$ ——由测长机上读出的活塞销孔的直径读数值；

$L_d$ ——由测长机上读出的标准环规的直径读数值；

$d$ ——标准环规的直径；

## 3 输入量的标准不确定度评定

3.1 输入量  $L_d$  的标准不确定度  $u(L_d)$  的来源说明：

输入量的不确定度来源主要是测量重复性引起的不确定度  $u(L_{d1})$ ，测长机本身不确定度的影响量  $u(L_{d2})$ ，检测温度偏离标准温度的影响量  $u(L_{d3})$ ，活塞与标准环规不等温的影响量  $u(L_{d4})$ ，活塞销孔几何形状的影响量  $u(L_{d5})$ ，寻找转折点的影响量  $u(L_{d6})$  及测头接触表面形状的影响量  $u(L_{d7})$ 。

输入量  $L_d$  的标准不确定度  $u(L_d)$  的评定：

3.1.1 测量重复性引起的不确定度  $u(L_{d1})$  的评定

依据以前做过的重复性试验得： $s(X_i) = 0.10$  μm

日常检测中通常测量两次取平均值作为测量结果，所以：

$$u(L_{d1}) = s(\bar{X}_i) = 0.10 / \sqrt{2} \approx 0.071 \mu\text{m}$$

3.1.2 测长机本身的不确定度引入的影响量  $u(L_{d2})$ :

测长机的不确定度为  $U = (0.3 + L/220) \mu\text{m}$ ,  $k = 2$

因是比较测量, 取  $U = 0.3 \mu\text{m}$ , 则有

$$u(L_{d2}) = 0.3/2 = 0.15 \mu\text{m}$$

3.1.3 检测温度偏离标准温度的影响量  $u(L_{d3})$ :

活塞与测长机毫米刻度尺线胀系数分别为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$  和  $(10.0 \pm 1) \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ , 两者之差为  $(1.5 \pm 2) \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ , 在  $4 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$  范围内, 近似取均匀分布, 则:

$$u(L_{d3}) = d(t_x - 20)a / \sqrt{6}$$

若活塞温度  $t_x$  与标准温度  $20^\circ\text{C}$  的偏差不超过  $1^\circ\text{C}$ , 则对于  $50\text{mm}$  环规,

$$u(L_{d3}) = (0.05 \times 10^6) \mu\text{m} \times 1 \times (4 \times 10^{-6}) \text{C}^{-1} / \sqrt{6} \approx 0.082 \mu\text{m}$$

由于微米刻度尺测量范围小, 所以影响忽略不计。

3.1.4 标准环规与活塞不等温的影响量  $u(L_{d4})$ :

在测量时, 原则上要求被测件与测量标准的温度完全达到平衡后进行测量。但在实际测量中, 二者有一定的温度差  $\Delta t$ 。假定  $\Delta t$  在  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  范围内均匀分布, 该分布半宽为  $0.2^\circ\text{C}$ , 则由  $\Delta t$  引起的标准不确定度  $u(L_{d4})$ :

$$u(L_{d4}) = d \cdot \alpha \cdot \frac{0.2}{\sqrt{3}} = \frac{0.05 \times 10^6 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 0.2}{\sqrt{3}} \approx 0.058 \mu\text{m}$$

3.1.5 活塞销孔几何形状的影响量  $u(L_{d5})$ :

根据日常测量经验, 取:

$$u(L_{d5}) = 0.20 \mu\text{m}$$

3.1.6: 寻找转折点的影响量  $u(L_{d6})$ :

根据日常测量经验, 取:

$$u(L_{d6}) = 0.10 \mu\text{m}$$

3.1.7 测头接触表面形状的影响  $u(L_{d7})$ :

活塞销孔的内表面粗糙度通常能够满足  $Ra0.05$  的要求, 所以测头接触表面形状的影响  $u(d_8)$  为:

$$u(L_{d7}) = 0.05 / \sqrt{2} \approx 0.035 \mu\text{m}$$

以上七项互不相关，则其合成标准不确定度为：

$$u_c(L_d) = \sqrt{\sum_{k=1}^7 u(Ld_k)^2} \approx 0.3 \mu\text{m}$$

3.2 输入量  $L_D$  的标准不确定度  $u(L_D)$  与  $u(L_d)$  评定相同：

$$u(L_D) = 0.3 \mu\text{m}$$

3.3 输入量  $d$  的标准不确定度  $u(d)$ ：

标准环规的不确定度为  $U = 0.6 \mu\text{m}$ ； $k = 2$

$$u(d) = 0.6/2 = 0.3 \mu\text{m}$$

#### 4 标准不确定度一览表

输入量的标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $u(d_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(d_i)$ ( $\mu\text{m}$ )	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u(d_i)$ ( $\mu\text{m}$ )
$u(L_d)$	输入量 $L_d$ 的 测量不确定度	0.3	-1	0.3
$u(L_D)$	输入量 $L_D$ 的 测量不确定度	0.3	1	0.3
$u(d)$	标准环规的不确定度	0.3	1	0.3

#### 4 合成标准不确定度的评定

##### 4.1 灵敏系数

$$L_d \text{ 的灵敏系数} \quad c_1 = -1$$

$$L_D \text{ 的灵敏系数} \quad c_2 = 1$$

$$d \text{ 的灵敏系数} \quad c_3 = 1$$

#### 5 合成标准不确定度

以上三项互不相关，则其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{0.3^2 + 0.3^2 + 0.3^2} \approx 0.5 \mu\text{m}$$

#### 6 扩展不确定度

取包含因子  $k = 2$ ，于是扩展不确定度  $U$  为

$$U = ku_c = 2 \times 0.5 \approx 1.0 \mu\text{m}; \quad k = 2$$

## 附录 H

(资料性)

## 活塞销外径尺寸测量结果的不确定度评估示例

## 1 概述

- 1.1 测量方法：依据尺寸公差检测作业指导书及相关技术图纸。
- 1.2 环境条件：温度  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 。
- 1.3 测量标准：四等量块，扩展不确定度  $U=0.11\mu\text{m} + 1.1 \times 10^{-6}L_n$ ； $k=2$ ；测微计的位移示值误差  $\pm 0.2\mu\text{m}$ 。
- 1.4 被测对象：活塞销（外径尺寸要求： $\Phi 52-0.002 -0.008$ ）。
- 1.5 测量过程：将活塞销在测微计上与标称尺寸为 52 mm 的四等量块组作比较测量。
- 1.6 评定结果的使用：符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

## 2 数学模型

$$\delta = L - L_S$$

式中：

$\delta$ ——活塞销与组合量块的差值；

$L$ ——测微计的读数；

$L_S$ ——四等量块的组合尺寸；

## 3 输入量的标准不确定度评定

3.1 输入量  $L$  的标准不确定度  $u(L)$  的评定：

输入量  $L$  的不确定度来源主要是测微计测量重复性引起的不确定度  $u(L_1)$ ，测微计本身示值误差的影响量  $u(L_2)$ ，检测温度偏离标准温度的影响量  $u(L_3)$ ，被测件与量块不等温的影响量  $u(L_4)$ ，读数时由分辨力引入的影响量  $u(L_5)$ 。

3.1.1 测微计测量重复性引起的不确定度  $u(L_1)$  的评定

根据 WDJL-080645 活塞销检测作业指导书，在测微计上将被检活塞销与同尺寸的量块组重复比较测量 10 次，得到的测量数据及计算结果如表 1——实验标准偏差计算表所示：

表 1——实验标准偏差计算表

次数	数据 (mm)	均值差	残差的 平方和	计算结果
1	-0.0034	0.0001	0.00000001	均值: $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} = -0.0035 \text{ mm}$
2	-0.0036	-0.0001	0.00000001	
3	-0.0034	0.0001	0.00000001	
4	-0.0036	-0.0001	0.00000001	
5	-0.0035	0.0000	0.00000000	实验标准偏差: $s(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \approx 0.11 \mu\text{m}$
6	-0.0035	0.0000	0.00000000	
7	-0.0034	0.0001	0.00000001	
8	-0.0035	0.0000	0.00000000	
9	-0.0037	-0.0002	0.00000004	
10	-0.0034	0.0001	0.00000001	

则其测量重复性引起的不确定度  $u(L_1)$  为:

$$u(L_1) = s(\bar{X}) = 0.11 \mu\text{m}$$

### 3.1.2 测微计示值误差引起的不确定度 $u(L_2)$ 的评定

根据校准结果, 测微计的位移示值误差  $\pm 0.2 \mu\text{m}$ , 取均匀分布, 但因是比较测量, 则其引入的不确定分量为:

$$u(L_2) \approx 0 \mu\text{m}$$

### 3.1.3 检测温度偏离标准温度的影响量 $u(L_3)$ :

钢质量块的线膨胀系数应为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。假定活塞销与标准量块的线膨胀系数均在  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内等概率分布, 则标准量块和被测量块的线膨胀系数之差  $\Delta a$  应在  $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内服从三角分布。该三角分布的半宽为  $a = 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , 标准不确定度  $u(L_3)$  为:

$$u(L_3) = L(t_x - 20) \cdot a / \sqrt{6}$$

假定实际检测温度在  $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$  的范围内服从均匀分布, 该均匀分布的半宽为  $2 \text{ } ^\circ\text{C}$ , 则对于  $52 \text{ mm}$  的量块和被测件, 其标准不确定度  $u(L_3)$  为:

$$u(L_3) = \frac{52 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-6} \times 2}{\sqrt{6}} \approx 0.088 \mu\text{m}$$

### 3.1.4 被测件与量块不等温的影响量 $u(L_4)$ :

原则上要求标准量块与被测件温度达到平衡后进行测量。但在实际测量中，二者有一定的温度差  $\Delta t$ 。假定  $\Delta t$  在  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  范围内均匀分布，该分布半宽为  $0.1^\circ\text{C}$ ，则由  $\Delta t$  引起的标准不确定度  $u(L_4)$  为：

$$u(L_4) = \frac{L\alpha a}{\sqrt{3}} \approx 0.034\mu\text{m}$$

3.1.5 测微计读数时由分辨力引入的影响量  $u(L_5)$ ：

测微计读数时由分辨力引入的影响量  $u(L_5)$  在测量重复性分析时已包含在内，不再重复评定。

3.2 输入量  $L_S$  的标准不确定度  $u(L_S)$  的评定：

输入量  $L_S$  的不确定度来源主要是由四等量块的不确定度引进的。根据量块检定规程，四等量块（标称尺寸为  $52\text{ mm}$ ）的扩展不确定度  $U_{99}=0.35\mu\text{m}$ ， $k=3$  可得：

$$u(L_S) = \frac{0.35}{3} \approx 0.12\mu\text{m}$$

#### 4 合成标准不确定度的评定

##### 4.1 灵敏系数

$$\text{数学模型 } \delta = L - L_S$$

$$\text{灵敏系数 } c_1 = \partial\delta / \partial L = 1$$

$$c_2 = \partial\delta / \partial L_S = -1$$

4.2 标准不确定度汇总于表 2。

表 2——标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )
$u(L)$	输入量 $L$ 总的示值误差	0.14	1	0.14
$u(\Delta L_1)$	测量重复性	0.11		
$u(\Delta L_2)$	测微计本身的示值误差	0		
$u(\Delta L_3)$	检测温度偏离标准温度的影响量	0.088		
$u(\Delta L_4)$	被测件与量块不等温的影响量	0.034		
$u(L_S)$	四等标准量块的不确定度	0.12	-1	0.12
$u_c = 0.18\mu\text{m}$				

## 5 合成标准不确定度

以上两项互不相关，则其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u(L)^2 + u(L_s)^2} \approx 0.18 \mu m$$

## 6 扩展不确定度

取包含因子  $k = 2$ ，于是扩展不确定度  $U$  为

$$U = ku_c = 2 \times 0.18 \approx 0.4 \mu m$$

T/SSM XXXX—XXXX

## 附录 I (资料性)

### 三坐标测量机测量距离尺寸的不确定度评估示例

#### 1 概述

1.1 测量方法：依据技术图纸及《三坐标测量机操作规范》；

1.2 环境条件：温度：(20±2)℃；相对湿度：≤65%；

1.3 检测设备：LH-187 三坐标测量机；其示值误差为： $\delta = (2.5 + 2L/450) \mu\text{m}$

1.4 被测对象：615 连杆大小头孔的中心距；

1.5 测量过程：分析图纸要求，615 连杆大小头孔的中心距要求为：(219±0.04)mm，LH87 坐标测量机的示值误差为(2.5+2L/450)μm，符合该项目检测要求；进行工件装夹，检测图纸要求的基准面 A，将检测后的大小头孔在基准 A 上的投影点连线作为基准 B，坐标原点定为大头孔在 A 的投影点；采用自动测量方式再依次测量大小头孔，求出大小头孔之间的中心距。

1.6 评定结果的使用：在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

#### 2 数学模型

$$L = d$$

式中： $L$ ——被测连杆大小头孔的中心距的测量结果；

$d$ ——三坐标测量机给出的测量结果的平均值；

#### 3 输入量 $d$ 的不确定度 $u(d)$ 的评定

输入量  $d$  的不确定度来源主要是：测量重复性引起的标准不确定度  $u(d_1)$ ；LH87 三坐标测量机设备本身引起的标准不确定度  $u(d_2)$ ；检测温度偏离标准温度的影响量  $u(d_3)$ 。

##### 3.1 测量重复性引起的标准不确定度 $u(d_1)$ 的评定

测量重复性引起的标准不确定度  $u(d_1)$  可以通过连续测量得到的测量列，利用 A 类方法进行评定。坐标测量机的正常状态下，对连杆大小头孔的中心距进行独立测量 10 次，得到一组测量列，数据及计算结果见表 1——实验标准差计算表；

表 1——实验标准差计算表

次数	数据 (mm)	均值差	残差的 平方和	计算结果

T/SSM XXXXX—XXXX

1	218.9851	0.00019	0.0000000361	均值： $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} = 218.9849 \text{ mm}$
2	218.9848	-0.00011	0.0000000121	
3	218.9845	-0.00041	0.0000001681	
4	218.9846	-0.00031	0.0000000961	
5	218.9849	-0.00001	0.0000000001	实验标准偏差： $s(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \approx 0.0003 \text{ mm}$
6	218.9850	0.00009	0.0000000081	
7	218.9849	-0.00001	0.0000000001	
8	218.9848	-0.00011	0.0000000121	
9	218.9853	0.00039	0.0000001521	
10	218.9852	0.00029	0.0000000841	

则测量重复性引起的标准不确定度  $u(d_1)$  为：

$$u(d_1) = s_n(X) = 0.0003 \text{ mm}$$

3.2 LH87 三坐标测量机设备本身引起的标准不确定度  $u(d_2)$  的评定：

由三坐标测量机的校准证书上可知，三坐标测量机的空间示值误差为  $\delta = (2.5 + 2L/450) \mu\text{m}$ 。

取均匀分布，已知测量连杆的工作长度为 218.985mm，所以由此可得示值误差引起的不确定度分量  $u(d_2)$  为：

$$u(d_2) = \frac{2.5 + 2 \times 218.945 / 450}{\sqrt{3}} \approx 2.1 \mu\text{m} = 0.0021 \text{ mm}$$

3.3 检测温度偏离标准温度的影响量  $u(d_3)$  的评定：

钢的线膨胀系数应为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。假定被测连杆与标准金属光栅尺的线膨胀系数均在  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内等概率分布，则被测连杆与标准金属光栅尺的线膨胀系数之差  $\Delta a$  应在  $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内服从三角分布。该三角分布的半宽为  $\Delta a = 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，标准不确定度  $u(d_3)$  为：

$$u(d_3) = L(t_x - 20) \cdot a / \sqrt{6}$$

假定实际检测温度在  $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$  的范围内服从均匀分布，该均匀分布的半宽为  $2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，则对于  $L=220\text{mm}$  的工作长度，其标准不确定度  $u(d_3)$  为：

$$u(d_3) = \frac{220 \times 2 \times 10^{-6} \times 2}{\sqrt{6}} \approx 0.0004 \text{ mm}$$

3.4 被测连杆与三坐标测量机不等温的影响量  $u(d_4)$ ：

原则上要求测量设备与被测件温度达到平衡后进行测量。但在实际测量中，二者有一定的温度差  $\Delta t$ 。假定  $\Delta t$  在  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  范围内均匀分布，该分布半宽为  $0.1^\circ\text{C}$ ，则由  $\Delta t$  引起的标准不确定度  $u(d_4)$  为：

$$u(d_4) = \frac{L\alpha\alpha}{\sqrt{3}} \approx 0.0002 \text{ mm}$$

#### 4 合成标准不确定度的评定

##### 4.1 灵敏系数

数学模型  $L = d$

灵敏系数  $c = \partial d / \partial L = 1$

##### 4.2 标准不确定度汇总于表 2。

表 2——标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u(x_i)$
$u(d_1)$	测量重复性	0.0003	1	0.0003
$u(d_2)$	三坐标测量机本身的示值误差	0.0021	1	0.0021
$u(d_3)$	检测温度偏离标准温度的影响量	0.0004	1	0.0004
$u(d_4)$	被测件与测量设备不等温的影响量	0.0002	1	0.0002
$u_c = 0.00217 \text{ mm}$				

以上四项互不相关，则其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^4 c_i u(d_i)^2} \approx 0.00217 \text{ mm}$$

#### 5 扩展不确定度

取包含因子  $k = 2$ ，于是扩展不确定度  $U$  为

$$U = k u_c = 2 \times 0.00217 = 0.0044 \text{ mm}$$

#### 6 不确定度报告

(1) 用合成不确定度评定中心距长度的测量不确定度，则测量结果为

$$L = 218.9849 \text{ mm} \quad U = 0.0044 \text{ mm} \quad k = 2$$

T/SSM XXXXX—XXXX

(2) 用扩展不确定度评定中心距长度的测量不确定度，则测量结果为

$$L = (218.9849 \pm 0.0044) \text{ mm}; \quad k = 2$$

## 附录 J (资料性)

### 凸轮轴相位角度及升程误差测量结果的不确定度评定示例

#### 1 概述

- 1.1 测量方法：依据技术图纸及《凸轮轴检查仪操作规范》。
- 1.2 环境条件：温度  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 。
- 1.3 测量标准：凸轮轴检查仪，其光学分度头的示值误差为  $12''$ ，阿贝头示值误差的测量不确定度为  $U = 0.3 \mu\text{m}$ ， $k = 2$ 。
- 1.4 被测对象：凸轮轴（升程误差  $\pm 0.08 \text{ mm}$ 、相位角度误差  $\pm 30'$ ）。
- 1.5 测量过程：依据技术图纸及凸轮轴检查仪操作规范在凸轮轴检查仪上对凸轮轴的升程误差及相位角度误差进行自动测量。
- 1.6 评定结果的使用：符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

#### 2 数学模型

$$\delta = d$$

式中： $\delta$ ——凸轮轴的测量结果；

$d$ ——凸轮轴检查仪给出的最大升程误差（或相位角度）读数值。

#### 3 输入量的标准不确定度评定

输入量  $d$  的标准不确定度  $u(d)$  的来源说明：测头安装误差（偏心或倾斜）引入的影响量，温度误差引入的影响量，凸轮表面粗糙度引入的影响量等等，因这些因素引起的不确定度很难用数学方法分析，相互间关系也很复杂，只能用 A 类评定，让各影响值同时起作用，通过重复性试验来评定它们的综合影响，此测量重复性引起的标准不确定度为  $u(d_1)$ ；测量设备本身引入的标准不确定度  $u(d_2)$  及凸轮轴定位销（或定位键槽）零位误差引入的影响量  $u(d_3)$ ，测量环境的影响  $u(d_4)$  等。

##### 3.1 测量重复性引起的不确定度 $u(d_1)$ 的评定

用凸轮轴检查仪对测量参数做十次等精度测量，分别计算测量结果的标准偏差则为其重复性标准不确定度。

表 1——实验标准差计算表（相位角度）

次数	测量数据 ( ' )	均值差	残差的平方和	计算结果 ( ' )

1	14	-1.6	2.56	实验标准偏差：  $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1.4$
2	17	1.4	1.96	
3	16	0.4	0.16	
4	18	2.4	5.76	
5	15	-0.6	0.36	
6	17	1.4	1.96	
7	15	-0.6	0.36	
8	14	-1.6	2.56	
9	14	-1.6	2.56	
10	16	0.4	0.16	

相位角度的重复性标准测量不确定度  $u(d_1) = s = 1.4'$ 。

表 2——实验标准差计算表（最大升程误差）

次数	测量数据(mm)	均值差	残差的平方和	计算结果 (mm)
1	0.032	-0.0019	0.00000361	实验标准偏差：  $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0015$
2	0.033	-0.0009	0.00000081	
3	0.035	0.0011	0.00000121	
4	0.034	0.0001	0.00000001	
5	0.036	0.0021	0.00000441	
6	0.035	0.0011	0.00000121	
7	0.035	0.0011	0.00000121	
8	0.032	-0.0019	0.00000361	
9	0.035	0.0011	0.00000121	
10	0.032	-0.0019	0.00000361	

最大升程误差的重复性标准测量不确定度  $u(d_1) = s = 0.0015\text{mm}$ 。

### 3.2 凸轮轴检查仪本身的不确定度引入的影响量 $u(d_2)$ ：

凸轮轴检查仪光学分度头的示值误差为  $12''$ ，近似取均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则有：

$$u(d_2) = \frac{12}{\sqrt{3}} \approx 6.9'' \approx 0.12'$$

阿贝头示值误差的测量不确定度为  $U = 0.3 \mu\text{m}$ ， $k = 2$ ，则有：

$$u(d_2) = \frac{0.3}{2} = 0.15 \mu\text{m}$$

### 3.3 凸轮轴定位销（或定位键槽）零位误差引入的影响量 $u(d_3)$ ：

根据日常的检测经验，由于凸轮轴定位销（或定位键槽）零位误差对相位角度的测量引入的偏

差通常为 $\pm 3'$ ，取均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则有：

$$u(d_2) = \frac{3}{\sqrt{3}} = 1.7'$$

由于升程测量不受凸轮轴定位销（或定位键槽）零位误差的影响，所以此项对凸轮轴最大升程误差测量引入的不确定度可以忽略不计。

$$\text{即 } u(d_2) = 0 \text{ mm}$$

### 3.4 测量环境的影响 $u(d_4)$ ：

根据实际测量，测量环境对凸轮轴相位角度及最大升程误差测量的影响可以忽略不计。

$$\text{即： } u(d_4) = 0$$

## 4 标准不确定度一览表

输入量的标准不确定度一览表（相位角度）

标准不确定度分量 $u(d_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(d_i)$ ( ' )	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u(d_i)$ ( ' )
$u(d_1)$	测量重复性引入的不 确定度分量	1.4	1	1.4
$u(d_2)$	凸轮轴检查仪本身的 引入的分量	0.12	1	0.12
$u(d_3)$	凸轮轴定位销（或定位 键槽）零位误差引入的 影响分量	1.7	1	1.7

输入量的标准不确定度一览表（最大升程误差）

标准不确定度分量 $u(d_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(d_i)$ (mm)	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u(d_i)$ (mm)
$u(d_1)$	测量重复性引入的不 确定度分量	0.0015	1	0.0015
$u(d_2)$	凸轮轴检查仪本身的 引入的分量	0.00015	1	0.00015
$u(d_3)$	凸轮轴定位销（或定位 键槽）零位误差引入的 影响分量	0	1	0

## 4 合成标准不确定度的评定

### 4.1 灵敏系数

$$u(d_1) \text{ 的灵敏系数 } c_1 = 1$$

$u(d_2)$  的灵敏系数  $c_2 = 1$

$u(d_3)$  的灵敏系数  $c_3 = 1$

## 5 合成标准不确定度

以上三项互不相关，则其合成标准不确定度分别为：

相位角度测量：

$$u_c = \sqrt{1.4^2 + 0.12^2 + 1.7^2} \approx 2.2'$$

最大升程误差测量：

$$u_c = \sqrt{1.5^2 + 0.15^2 + 0^2} \approx 1.5 \mu\text{m}$$

## 6 扩展不确定度

取包含因子  $k = 2$ ，于是扩展不确定度  $U$  为

相位角度测量：

$$U = ku_c = 2 \times 2.2 \approx 5' ; k = 2$$

最大升程误差测量：

$$U = ku_c = 2 \times 1.5 \approx 3 \mu\text{m}; k = 2$$

## 附录 K

(资料性)

## 万能工具显微镜测量气门尺寸及角度的不确定度评定示例

## 1 概述

1.1 测量方法：依据技术图纸及《万能工具显微镜操作规范》；

1.2 环境条件：温度：(20±2)℃；相对湿度：≤65%；

1.3 检测设备：OPTON 万能工具显微镜；其示值最大允许误差为： $(1 + L/100)\mu\text{m}$ ；测角显微镜示值误差不大于 1'。

1.4 被测对象：气门(612600050025)；

1.5 测量过程：分析专用气门图纸技术要求，气门的作用尺寸(2.72±0.1)；锥面角度 44°50'±10'；万能工具显微镜的示值误差为 $(1 + L/100)\mu\text{m}$ ，符合该项目检测要求；将气门放在万能工具显微镜的工作台上，首先根据图纸要求确定基准并进行找正，分别对工作面进行瞄准读数，利用万能工具显微镜测量程序完成全部测量。

1.6 评定结果的使用：在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

## 2 数学模型

$$L = d$$

式中： $L$ ——气门尺寸（或角度）的测量结果；

$d$ ——万能工具显微镜给出的测量结果的平均值；

3 输入量  $d$  的不确定度  $u(d)$  的评定

输入量  $d$  的不确定度来源主要是：测量重复性引起的标准不确定度  $u(d_1)$ ；万能工具显微镜设备本身引起的标准不确定度  $u(d_2)$ ；检测温度偏离标准温度的影响量  $u(d_3)$ 。

3.1 测量重复性引起的标准不确定度  $u(d_1)$  的评定

测量重复性引起的标准不确定度  $u(d_1)$  可以通过连续测量得到的测量列，利用 A 类方法进行评定。在万能工具显微镜的正常状态下，对气门的作用尺寸和工作角度分别进行独立测量 10 次，得到两组测量列，数据及计算结果见表 1 和表 2——实验标准差计算表；

表 1——作用尺寸实验标准差计算表 (单位：mm)

次数	测量数据	均值差	残差的平方和	计算结果
1	2.754	0.004	0.000016	实验标准偏差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0034$
2	2.748	-0.002	0.000004	
3	2.749	-0.001	0.000001	
4	2.748	-0.002	0.000004	
5	2.746	-0.004	0.000016	
6	2.753	0.003	0.000009	
7	2.746	-0.004	0.000016	
8	2.748	-0.002	0.000004	
9	2.754	0.004	0.000016	
10	2.754	0.004	0.000016	

则测量重复性引起的尺寸测量标准不确定度  $u(d_1)$  为：

$$u(d_1) = s_n(X) = 0.0034 \text{ mm}$$

表 2——角度测量实验标准差计算表（单位：'）

次数	数据	均值差	残差的平方和	计算结果
1	2	-0.1	0.01	均值： $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} = 2.1'$
2	2	-0.1	0.01	
3	3	0.9	0.81	
4	2	-0.1	0.01	
5	2	-0.1	0.01	实验标准偏差： $s(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \approx 0.57'$
6	3	0.9	0.81	
7	2	-0.1	0.01	
8	2	-0.1	0.01	
9	2	-0.1	0.01	
10	1	-1.1	1.21	

则测量重复性引起的角度测量标准不确定度  $u(d_1')$  为：

$$u(d_1') = s_n(X) = 0.57'$$

3.2 万能工具显微镜设备本身引起的标准不确定度  $u(d_2)$  的评定：

由万能工具显微镜的检定规程可知，万能工具显微镜尺寸测量的示值误差为  $(1 + L/100)\mu\text{m}$ ，角度测量的示值误差不大于  $1'$ ，取均匀分布，已知测量气门的作用尺寸为  $2.75\text{mm}$ ，所以由此可得示值误差引起的不确定度分量  $u(d_2)$  及  $u(d_2')$  为：

$$u(d_2) = \frac{1 + 2.75/100}{\sqrt{3}} \approx 0.0006 \text{ mm}$$

$$u(d_2') = \frac{1'}{\sqrt{3}} \approx 0.577'$$

3.3 检测温度偏离标准温度的影响量  $u(d_3)$  的评定:

钢的线膨胀系数应为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。假定被测气门与标准金属光栅尺的线膨胀系数均在  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内等概率分布, 则被测气门与标准金属光栅尺的线膨胀系数之差  $\Delta a$  应在  $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  范围内服从三角分布。该三角分布的半宽为  $\Delta a = 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , 标准不确定度  $u(d_3)$  为:

$$u(d_3) = L(t_x - 20) \cdot a / \sqrt{6}$$

假定实际检测温度在  $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$  的范围内服从均匀分布, 该均匀分布的半宽为  $2 \text{ } ^\circ\text{C}$ , 则对于  $L = 2.75 \text{ mm}$  的工作长度, 其标准不确定度  $u(d_3)$  为:

$$u(d_3) = \frac{2.75 \times 2 \times 10^{-6} \times 2}{\sqrt{6}} \approx 0.000005 \text{ mm}$$

角度测量受检测温度偏离标准温度的影响可以忽略不计, 所以  $u(d_3') \approx 0$

3.4 被测气门与万能工具显微镜不等温的影响量  $u(d_4)$  :

原则上要求测量设备与被测件温度达到平衡后进行测量。但在实际测量中, 二者有一定的温度差  $\Delta t$ 。假定  $\Delta t$  在  $\pm 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$  范围内均匀分布, 该分布半宽为  $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ , 则由  $\Delta t$  引起的标准不确定度  $u(d_4)$  为:

$$u(d_4) = \frac{Laa}{\sqrt{3}} \approx 0.000002 \text{ mm}$$

角度测量受检测温度偏离标准温度的影响量可以忽略不计, 所以  $u(d_4') \approx 0$ 。

## 4 合成标准不确定度的评定

### 4.1 灵敏系数

$$\text{数学模型 } L = d$$

$$\text{灵敏系数 } c = \partial d / \partial L = 1$$

4.2 标准不确定度汇总于表 3 和表 4。

表 3——尺寸测量的标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u(x_i)$
$u(d_1)$	测量重复性	0.0034	1	0.0034
$u(d_2)$	万能工具显微镜本身的示值误差	0.0006	1	0.0006
$u(d_3)$	检测温度偏离标准温度的影响量	0.000005	1	0.000005
$u(d_4)$	被测件与测量设备不等温的影响量	0.000002	1	0.000002
$u_c = 0.0035 \text{ mm}$				

以上四项互不相关，则其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^4 c_i u(d_i)^2} \approx 0.0035 \text{ mm}$$

表 4——角度测量的标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u(x_i)$
$u(d_1')$	测量重复性	0.57'	1	0.57'
$u(d_2')$	万能工具显微镜本身的示值误差	0.58'	1	0.58'
$u(d_3')$	检测温度偏离标准温度的影响量	0	1	0
$u(d_4')$	被测件与测量设备不等温的影响量	0	1	0
$u_c = 0.8'$				

## 5 扩展不确定度

取包含因子  $k = 2$ ，于是尺寸测量的扩展不确定度  $U$  为：

$$U = k u_c = 2 \times 0.0035 = 0.007 \text{ mm}$$

取包含因子  $k = 2$ ，于是角度测量的扩展不确定度  $U$  为：

$$U' = k u_c = 2 \times 0.8' \approx 2'$$

T/SSM XXXX—XXXX

附 录 L  
(资料性)  
圆度检测结果的不确定度评估示例

## 1 概述

1.1 测量方法：依据 GB/T7235-2004《产品几何量技术规范（GPS）评定圆度误差的方法 半径变化量测量》；

1.2 环境条件：温度：（20±2）℃；相对湿度：≤65%；

1.3 检测设备：Talyrond 365 圆柱度仪；

1.4 被测对象：活塞销,圆度要求:2.5μm；

1.5 测量过程：将活塞销放在圆柱度仪的旋转工作台的中心位置，打开测量程序，自动调心调水平，根据程序及标准要求完成圆度的自动测量及分析评定。

1.6 评定结果的使用

在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

## 2 数学模型

$$Z=R$$

式中，Z 为活塞销的圆度值(μm)；

R 为用最小区域法评价轨迹圆获得的圆度。

## 3 方差和灵敏系数

$$\text{依： } u_c^2(y) = \sum \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 \cdot u^2(x_i)$$

$$u_c^2 = u^2(Z) = c^2(R)u^2(R)$$

$$c(R)=1$$

$$\text{得： } u_c^2 = u^2(Z) = u^2(R)$$

## 4 计算标准不确定度分量

输入量 R 标准不确定度  $u(R)$  的来源主要由 6 个不确定度分项构成：

- a 测量重复性引入的不确定度分量  $u(R_1)$ ；
- b 闭合误差引入的不确定度分量  $u(R_2)$ ；
- c 测量仪器径向误差引入的不确定度分量  $u(R_3)$ ；

d 测量仪器轴向误差引入的不确定度分量  $u(R_4)$ ;

e 测量系统示值误差引入的不确定度分量  $u(R_5)$ ;

f 环境温度变化引入的不确定度分量  $u(R_6)$ ;

上述 6 个不确定度分项中，a 项是通过连续测量得到一组测量列，采用 A 类方法进行评定，评定结果用  $u(R_1)$  表示。b 项是根据日常大量的检测经验及相关资料采用 B 类方法进行评定，评定结果用  $u(R_2)$  表示。c~e 项根据测量设备检定部门出具的检定/校准证书采用 B 类方法进行评定，评定结果分别用  $u(R_3)$ 、 $u(R_4)$ 、 $u(R_5)$  表示。由测量经验得知第 f 项引起的标准不确定度很小，可忽略不计。

#### 4.1 测量重复性引入的不确定度分量 $u(R_1)$ :

选一个活塞销，在重复性条件下连续测量其圆度 10 次，得到的检测数据及计算结果如表 1——实验标准差计算表所示。

表 1——实验标准差计算表

次数	数据 ( $\mu\text{m}$ )	均值差	残差的 平方和	计算结果
1	0.48	-0.023	0.000529	均值: $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} \approx 0.5 \mu\text{m}$
2	0.49	-0.013	0.000169	
3	0.51	0.007	0.000049	
4	0.50	-0.003	0.000009	
5	0.50	-0.003	0.000009	实验标准偏差: $s(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \approx 0.016 \mu\text{m}$
6	0.52	0.017	0.000289	
7	0.52	0.017	0.000289	
8	0.52	0.017	0.000289	
9	0.51	0.007	0.000049	
10	0.48	-0.023	0.000529	

$$u(R_1) = s_n(X) = 0.016 \mu\text{m}$$

#### 4.2 闭合误差引入的不确定度分量 $u(R_2)$ 。

用该仪器测量圆度时，有时记录的图象首尾有错位，即不能完全闭合，存在闭合误差，此误差的半宽为  $0.02\mu\text{m}$ ，由于它在边缘出现的机会大，故作反正弦分布处理：

$$u(R_2) = 0.02 / \sqrt{2} \approx 0.017 \mu\text{m}$$

#### 4.3 测量仪器径向误差引入的不确定度分量 $u(R_3)$

依据山东省计量科学研究院发给的检定证书, 仪器径向误差为  $0.03\mu\text{m}$ , 按均匀分布处理, 故由此引入的不确定度分量估算为:

$$u(R_3) = \frac{0.03}{\sqrt{3}} \approx 0.018 \mu\text{m}$$

#### 4.4 测量仪器轴向误差引入的不确定度分量 $u(R_4)$

因为圆度测量通常在一个轴向位置上进行检测, 所以仪器的轴向误差对检测过程引入的不确定度分量可以忽略。即

$$u(R_4) \approx 0 \mu\text{m}$$

#### 4.5 测量系统示值误差引入的不确定度分量 $u(R_5)$ 。

依据山东省计量科学研究院发给的检定证书, 其示值误差为  $5.0\%$ , 所测量的活塞销的平均圆度值为  $0.5\mu\text{m}$ , 按均匀分布处理, 故由此引入的不确定度分量估算为:

$$\frac{0.5 \times 5\%}{\sqrt{3}} \approx 0.015 \mu\text{m}$$

### 5 标准不确定度汇总表

表 2——输入量的标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i  \times u(x_i)$ ( $\mu\text{m}$ )
$u(R_1)$	测量重复性	0.016	1	0.016
$u(R_2)$	闭合误差	0.017	1	0.017
$u(R_3)$	仪器径向误差	0.018	1	0.018
$u(R_4)$	仪器轴向误差	0	1	0
$u(R_5)$	仪器的示值误差	0.015	1	0.015

### 6 合成标准不确定度

以上五项互不相关, 则其合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{\sum_{k=1}^5 u(R_k)^2} \approx 0.033 \mu\text{m}$$

### 7 扩展不确定度

取包含因子  $k = 2$ , 于是扩展不确定度  $U$  为

$$U = ku_c = 2 \times 0.033 \approx 0.1 \mu\text{m}$$

### 参 考 文 献

- [1] 现代企业计量工作指导手册 [M]. 北京: 中国质检出版社
  - [2] GB/T 19000 质量管理体系 基础和术语
  - [3] GB/T 19022 测量管理体系 测量过程和测量设备的要求
  - [4] GB/T 27430 测量不确定度在合格评定中的作用
  - [5] GB/T 40681.4-2021 生产过程能力和性能监测统计方法 第4部分: 过程能力估计和性能测量
-

# 团体标准《测量管理体系关键测量过程不确定度评定指南 几何量测量》(征求意见稿)编制说明

## 一、工作情况

### 1、制定背景

测量管理体系认证是由第三方机构按照 GB/T19022-2003《测量管理体系—测量过程和测量设备的要求》，对企业的测量管理体系开展的认证。生产企业，包括制造、修理计量器具的企事业单位，按照国家标准 GB/T 19022《测量管理体系-对测量过程和测量设备的要求》建立测量管理体系并通过认证，可以规范和提升计量管理工作，完善量值传递和溯源，为提升产品质量、开展节能降耗、提高竞争力提供保障。据不完全统计，我省目前有测量管理体系认证企业 400 余家。

GB/T19022-2003 要求，测量管理体系覆盖的每个测量过程都应评价测量不确定度，在测量过程设计时，也要分析不确定度。大部分企业对该项工作不熟悉，开展起来有困难。因此，制定本指南标准是非常有必要的。

2、本标准有山东计量测试学会组织编制。起草过程如下：

2023 年 4 月至 5 月：查阅文献，调研；

2023 年 6 月至 7 月：搜集资料；

2023 年 7 月至 8 月：编制完成小组讨论稿；

2023 年 9 月底，完成征求意见稿。

## 二、编制原则、主要内容及其确定依据

（一）本标准在编制过程中遵循开放、公平、透明、协商一致的原则。

（二）主要内容：

标准第 3 章术语和定义，第 4 章顾客测量要求的确定，第 5 章计量要求导出，第 6 章不确定度的评定。资料性附录为不确定度评定示例。

### 1、术语和定义说明

JJF1001 界定的术语适用于本标准。

部分术语引用自 GB/T 19000、GB/T 19022、GB/T 27430。

为准确界定标准的内容，给出了“关键测量过程”、“测量要求”、“计量要求”的定义。

## 2、测量要求来源与计量要求的导出

本标准界定了顾客测量要求的来源，给出了测量范围、最大允许误差、测量结果的允许不确定度等计量要求的导出方法。

2.1 测量范围应覆盖被测量的容差范围。

2.2 根据测量管理体系的运行实践，测量设备的最大允许误差应为被测量容差的  $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{3}$ 。

2.3 关键测量过程测量结果的标准不确定度  $u_c$

参考 GB/T 40681.4-2021《生产过程能力和性能监测统计方法 第4部分：过程能力估计和性能测量》、GB/T 27430-2022《测量不确定度在合格评定中的作用》关于测量能力指数的定义，定

义双侧容差  $C_p = \frac{T_U - T_L}{6u_c}$ ，单侧容差  $C_p = \frac{T_U - \bar{X}}{3u_c}$  或  $C_p = \frac{\bar{X} - T_L}{3u_c}$ 。

$C_p$  与测量能力对于关系如下：

表 1  $C_p$  值及测量能力对应

$C_p$ 值	过程能力评价参考	建 议
$C_p > 1.67$	过程能力过高	可考虑降低成本，放宽管理
$1.33 < C_p \leq 1.67$	过程能力充分	对重要测量过程适用
$1 < C_p \leq 1.33$	过程能力充足	对一般测量过程适用
$0.67 < C_p \leq 1$	过程能力不足	可考虑增加投入，提高测量能力
$C_p \leq 0.67$	过程能力严重不足	立即查找原因，采取措施

取  $C_p > 1$ ，得出：

双侧容差情况下  $u_c \leq \frac{T_U - T_L}{6}$ ，单侧容差情形  $u_c \leq \frac{T_U - \bar{X}}{3}$  或  $u_c \leq \frac{\bar{X} - T_L}{3}$ 。

3、关键测量过程不确定度的评定、计算、报告与表示应符合 JJF1059.1—2012 要求。

4、附录部分给出不确定度评定参考案例。

(三) 拟解决的问题

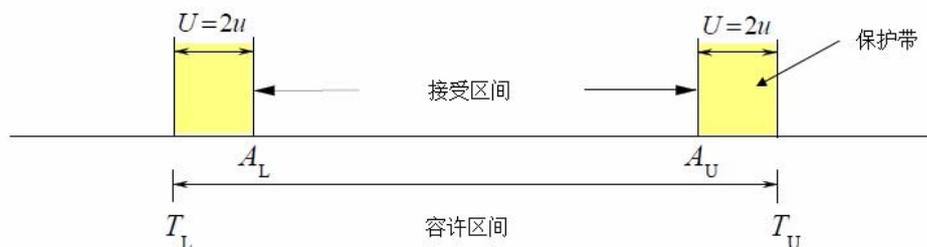
测量不确定度对测量过程的特性分析具有重要意义。本标准拟选择生产过程常见的需要高度控制的测量过程，如关键零部件尺寸的检测，对这类测量过程提供不确定度评定提供指南，得出正确的评定结果，实现以下目的：

### 1、确定和量化测量过程性能特性

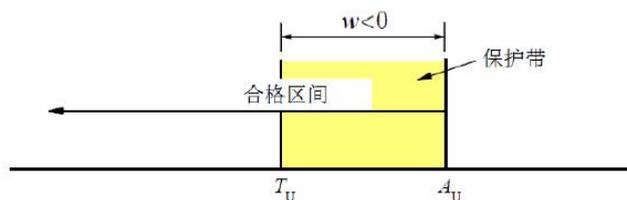
对于一个处于统计控制状态下的稳定生产过程，测量数据服从正态分布。通过正确的测量不确定度评定结果，得出过程测量能力指数。

### 2、为符合性判定提供依据

由于测量结果存在不确定度，因此存在误判率，一种是将不合格判定为合格，即消费者风险 ( $R_C$ )，第二种是将合格判定为不合格，即生产商风险 ( $R_P$ )，这两种风险都需要控制，都和不确定度密切相关。通过设置保护带，可以控制 2 类风险。如图所示：



(1) 降低消费者风险



(2) 降低生产商风险

保护带宽度  $w=ru$ ， $r$  为系数， $u=u_m$ 。通过评定  $u_m$  设定不同的保护带，可得到  $R_C$ 、 $R_P$ ，对产品的制造过程进行评估，将生产商风险、消费者风险控制在可承受的范围。

### 3、为测量过程配备合适的计量器具

通过测量过程不确定度分析，如果计量器具的不确定度占  $u_m$  的大部分，可以选择配备精度高的计量器具减小  $u_m$ ，提高  $C_p$ 。

## 三、与国内同类标准技术内容的对比情况

对于测量不确定度评定，国家发布了 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1059.2-2012《用蒙特卡洛法评定测量不确定度》 GB/T 27419-2018《测量不确定度评定和表

示 补充文件 1: 基于蒙特卡洛方法的分布传播》、GB/T 27418-2017《测量不确定度评定和表示》等指南文件,但这些标准规范侧重于评定方法,参考案例较少。本标准采用 JJF 1059.1-2012 规定的不确定度评定和表示方法,并给出几何量测量结果不确定评定资料性附录。

#### 四、预期达到的经济社会效益、对产业发展的作用等情况

企业建立测量管理体系的目的是为了确保测量设备和测量过程能够满足预期用途。测量管理体系是通过对测量设备和测量过程的管理,管理由于不正确测量结果给组织带来风险,把可能产生的不正确的测量结果降低到最小程度;把不准确测量造成的产品质量风险降低到最小程度,以便使测量管理体系在组织实现产品质量目标和其他目标时起着重要的保证作用,同时避免测量过程失控或计量数据不准确造成管理决策失误或出现重大的质量、安全事故。本标准可以为测量过程设计提供指南,进一步完善和健全测量管理体系,提供组织的计量管理和技术水平。

#### 五、与有关的现行相关法律、法规和强制性标准的关系

本标准符合国家有关法律、法规和相关强制性标准的要求,与现行的国家标准、行业标准相协调。

#### 六、重大分歧意见的处理经过和依据

无

#### 七、标准中涉及专利的情况

无

#### 八、实施标准的要求,以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

本标准 of 山东计量测试学会团体标准,供学会会员采用,其他单位自愿采用。由相应专委会组织实施。

#### 九、其他应予说明的问题

无

起草组

2023.9