



中华人民共和国工业和信息化部 军工民品计量技术规范

JJF(军工民品)0044—2024

长度设定仪校准规范

Calibration Specification for Length Setting Instruments

(报批稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

长度设定仪校准规范

Calibration Specification for Length
Setting Instruments

JJF（兵工民品）0044—2024

归口单位：中国兵器工业标准化研究所

主要起草单位：武汉重型机床集团有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

胡崴麒(武汉重型机床集团有限公司)

曾 斌(武汉重型机床集团有限公司)

曹 峰(武汉重型机床集团有限公司)

参加起草人：

周荣田(武汉重型机床集团有限公司)

邓明慧(武汉重型机床集团有限公司)

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)
5 校准条件	(2)
6 校准方法	(3)
7 校准结果表达	(6)
8 复校时间间隔	(7)
附录 A 测量数据历史记录	(8)
附录 B 校准证书内页信息及格式	(9)
附录 C 设定仪起始参考位置的最大允许误差测量不确定度评定	(10)
附录 D 设定仪示值最大允许误差测量不确定度评定	(16)

引 言

本规范依据JJF 1059-2012《测量不确定度评定与表示》和JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编写。

本规范为首次发布

长度设定仪校准规范

1 范围

本规范适用于（0~1000）mm长度设定仪（以下简称设定仪）的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文献

JJF 1059-2012 测量不确定度评定与表示

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

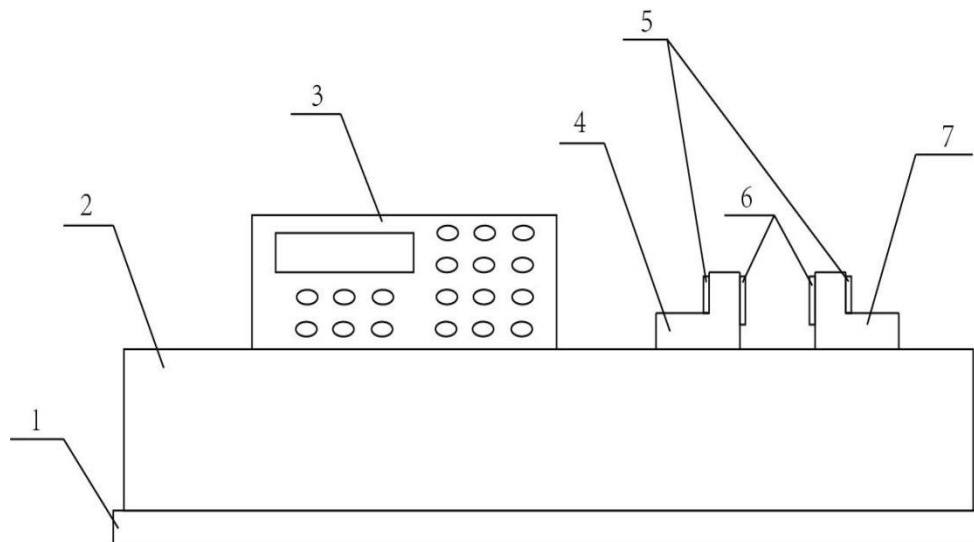
3 概述

3.1 原理

设定仪是以光栅副（光栅尺和光栅头）作为测量元件，将线位移转换为光电信号，经过电路处理后以数字形式显示位移量，并且可以简单编程的一种自动化设定仪器。

3.2 结构

设定仪结构为卧式结构，由基座、移动座、固定座、外壳和输入键盘等基本构件组成，结构示意图见图1。



1—基座；2—外壳；3—操作面板；4—移动座；5—外工作面；6—内工作面；7—固定座

图1 设定仪结构示意图

3.3 用途

设定仪主要用于校对手持内外径长度量具。

4 计量特性

- 4.1 工作面对移动座移动轴线的垂直度不大于 $3'$ 。
- 4.2 设定仪工作面的平面度不大于 $0.3\ \mu\text{m}$ 。
- 4.3 固定座两工作面平行度和移动座两工作面平行度不大于 $1\ \mu\text{m}$ 。
- 4.4 设定仪在起始参考位置时两外工作面的平行度不大于 $1\ \mu\text{m}$ 。
- 4.5 移动座沿导轨移动的角偏摆（俯仰不大于 $10''$ ，偏摆不大于 $20''$ ）。
- 4.6 设定仪起始参考位置的最大允许误差 $\pm 1.5\ \mu\text{m}$ 。
- 4.7 设定仪移动座定位的重复性不大于 $0.4\ \mu\text{m}$ 。
- 4.8 设定仪示值最大允许误差 $\pm (1.5+L/300)\ \mu\text{m}$ （L距离单位：mm）。

5 校准条件

5.1 环境条件

- 5.1.1 温度： $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ ，温度变化：不大于 0.5°C/h 。
- 5.1.2 湿度 $\leq 60\%\text{RH}$ 。
- 5.1.3 仪器室内周围应无影响测量的灰尘、噪音、气流、腐蚀性气体和较强磁场。
- 5.1.4 校准前应先将仪器调平。

5.2 测量标准及其他设备

校准用的标准器及配套设备（见表1）

表1 校准用的标准器及配套设备

序号	校准项目	主要校准设备
1	工作面对移动座移动轴线的垂直度	$(70\times 70)\text{mm}$ 四方体（角度偏差 $\pm 5''$ ）和分度值 $1''$ 自准直仪及杠杆千分表
2	设定仪工作面的平面度	2级平晶
3	固定座两工作面平行度和移动座两工作面平行度	重复性小于 $0.3\ \mu\text{m}$ 测量范围 $(0-25)\text{mm}$ 和 $(25-50)\text{mm}$ 的杠杆千分尺。
4	设定仪在起始参考位置时两外工作面的平行度	分度值 $1''$ 自准直仪或其它符合要求的角度测量器具
5	移动座沿导轨移动的角偏摆	
6	设定仪起始参考位置的最大允许误差	重复性小于 $0.3\ \mu\text{m}$ 测量范围 $(0-25)\text{mm}$ 和 $(25-50)\text{mm}$ 杠杆千分尺和3等（30mm, 20mm, 9mm, 1.1mm）量块
7	设定仪移动座定位的重复性	$0.5\times 10^{-6}\ \lambda$ 激光干涉仪
8	设定仪示值最大允许误差	$0.5\times 10^{-6}\ \lambda$ 激光干涉仪

6 校准项目和校准方法

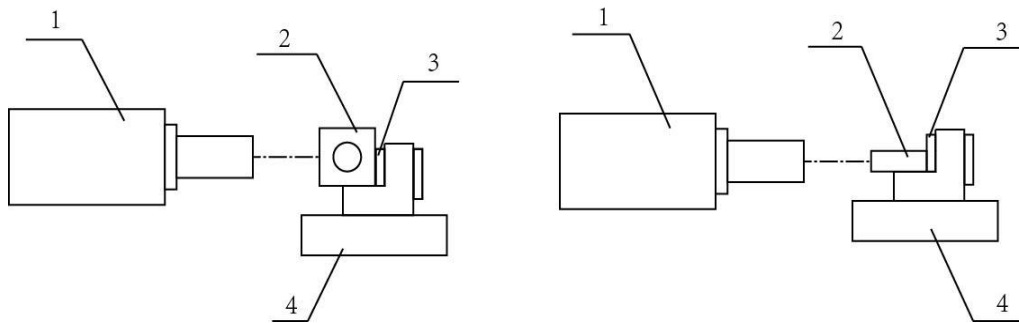
6.1 外观

目力观察设定仪的外观，确认仪器工作台表面没有毛刺和划痕，有制造厂名（或商标）和出厂编号等标识。对使用中和修理后的仪器，允许有不影响使用的外观缺陷。各部分功能正常。

6.2 工作面对移动座移动轴线的垂直度

6.2.1 在移动座外工作面上研合一块5mm的钢制三等量块，调整自准直仪照准量块工作面并对准垂直方向读数得读数值 a_1 ，设定仪移动座上放置四方体，调整其上工作面与移动轴线平行，且使其侧工作面对准自准直仪，如图2中a)所示。在准直仪上直接对准并读数得读数值 b_1 。两次读数之差（ $b_1 - a_1$ ）为垂直方向垂直度。

6.2.2 把四方体非工作面接触放置于移动座工作台上，然后调整四方体工作面与移动轴线平行，如图2中b)所示。自准直仪水平方向读数分别得到四方体读数值 b_2 和移动座工作面的读数值 a_2 。两次读数之差（ $b_2 - a_2$ ）为水平方向垂直度。



1—自准直仪；2—四方体；3—移动座外工作面；4—基座

a) 垂直方向

b) 水平方向

图2 工作面对移动座移动轴线的垂直度

6.3 设定仪工作面的平面度

6.3.1 工作面的平面度用平面平晶以技术光波法进行测量，示意图见图3。平面度 f 按公式（1）计算

$$f = \frac{a}{b} \times \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

式中：

f ——平面度， μm ；

a ——干涉带弯曲量， mm ；

b ——相邻干涉条纹间隔， mm ；

λ ——所用单色光波长, μm 。

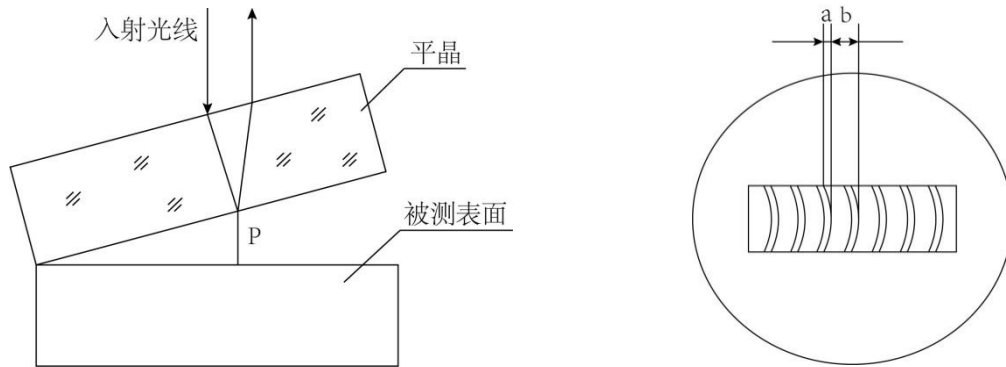


图3 技术光波法检测平面度

6.3.2 测量时应在长边和短边两个方向进行测量, 如果两个方向符号相同, 则取其中绝对值较大者作为该工作面的平面度, 若两个方向符号不同, 则取两者绝对值之和作为该工作面的平面度测得值。设定仪4个工作面都应进行该测量并给出数值。如果工作面平面度超过要求, 则所有超差工作面应注明特征。

6.4 固定座两工作面平行度和移动座两工作面平行度

6.4.1 移动座运行至便于测量的位置, 用杠杆千分尺测砧接触在移动座工作面中心位置, 拨动拨叉数次, 读数稳定后调零。

6.4.2 测量工作面的四个角位置, 5个读数值中最大值和最小值之差即为平行度。

6.4.3 同样方法测量固定座两工作面的平行度。固定座和移动座的两平行度数值中较大者作为结果。

6.5 设定仪在起始参考位置时两外工作面的平行度

以杠杆千分尺在仪器起始参考位置外尺寸 (40.1mm) 测量, 杠杆千分尺测砧接触在外工作面中心位置, 拨动拨叉数次, 读数稳定后调零, 然后测量工作面的四个角位置, 5个读数值中取最大值和最小值之差作为平行度结果

6.6 移动座沿导轨移动的角偏摆

6.6.1 在移动座的工作台上放上平面反射镜 (不方便放置反射镜时, 可在工作面上研合一块5mm的3等量块) 并使移动座返回起始参考位置。

6.6.2 在设定仪尾部方向的平台上架上自准直仪, 调整自准直仪照准工作面中间位置并对准读数得读数值 a , 移动仪器的移动座在行程内每间隔100mm检一个点, 得到 b_1 、 b_2 、 \dots 、 b_{10} 等10个读数值, 所有读数值分别减去 a , 并取绝对值 ($|b_1 - a|$ 、 $|b_2 - a|$ 、 \dots 、 $|b_{10} - a|$), 最后得到10个数值。

6.6.3 结果取10个数值里的最大值作为最终结果。测量应在垂直 (俯仰) 和水平 (偏摆) 两个方向进行。角偏摆的数据处理详见附录A中表A.1。

6.7 设定仪起始参考位置的最大允许误差

6.7.1 起始参考位置外尺寸 (40.1mm)

使设定仪移动座回到起始参考位置, 取30mm, 9mm, 1.1mm三块量块研合组成40.1mm, 并放置在设定仪上定温。用杠杆千分尺测砧接触在量块中心, 拨动拨叉数次, 读数稳定后调零, 再测量设定仪起始参考位置外尺寸, 读取长度差值 δ_i , 重复测量3次, 取三次测量值的平均值加上量块的偏差值作为结果, 如公式 (2)。

$$\Delta_{40.1} = \frac{\sum \delta_i}{3} + \Delta l \quad (2)$$

式中:

$\Delta_{40.1}$ ——起始参考位置外尺寸误差, μm ;

$\sum \delta_i$ ——3次测量读数值之和, μm ;

Δl ——组合量块偏差, μm 。

6.7.2 起始参考位置内尺寸 (0.1mm)

杠杆千分尺以20mm的三等量块对好零位, 分别在仪器移动座和固定座工作面的中心测量, 并各测量三次取平均值, 按公式 (2) 分别计算移动座和固定座中心长度误差。再取6.7.1起始参考位置外尺寸检测结果减去固定座工作面中心长度和移动座工作面中心长度偏差, 按公式 (3) 得出的数值为最终结果。

$$\Delta_{0.1} = \Delta_{40.1} - \Delta_{g20} - \Delta_{y20} \quad (3)$$

式中:

$\Delta_{0.1}$ ——起始参考位置内尺寸偏差, μm ;

$\Delta_{40.1}$ ——起始参考位置外尺寸偏差, μm ;

Δ_{g20} ——固定座工作面中心长度偏差, μm ;

Δ_{y20} ——移动座工作面中心长度偏差, μm 。

6.7.3 设定仪起始参考位置的最大允许误差数据处理详见附录A中表A.2。结论应该起始参考位置外尺寸和起始参考位置内尺寸两个结果。

6.8 设定仪移动座定位的重复性

6.8.1 在移动座工作平台上放置反射镜, 在全长上找正光路, 直至激光在靶心上没有明显移动, 示意图如图4所示。在设定仪上选取三个位置 (100.1mm, 500.5mm, 915.9mm), 每个位置正反方向分别定位5次, 得到各自 $a_1, a_2 \cdots a_5$ 五个数, 重复性按公式 (4) 计算。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \overline{a_{pi}})^2}{n-1}}, \quad i = 1, 2, \dots, 5 \quad (4)$$

式中:

S ——重复性, μm ;

n ——测量次数, $n=5$;

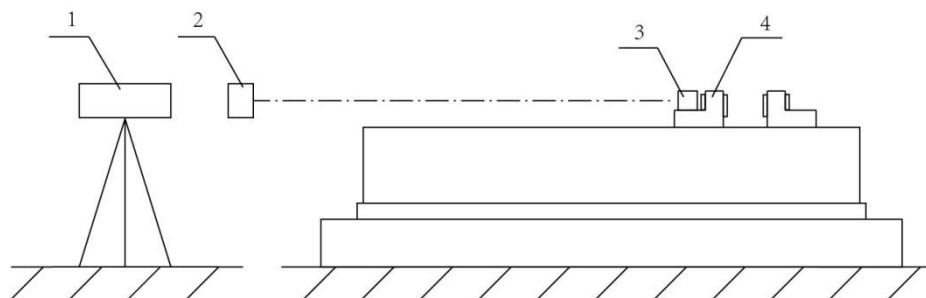
a_i ——各次读数, μm ;

$\overline{a_{pi}}$ ——5次读数的平均值, μm 。

6.8.2 测量得到该点的正反两个重复性的值, 这样三个位置点正反方向的重复性共得到六个数值。取这六个数值里的最大值作为最终结果。

6.9 设定仪示值最大允许误差

6.9.1 将激光干涉仪按图4的方式安置。



1—双频激光干涉仪；2—干涉镜；3—反射镜；4—移动座

图4 激光干涉仪校准装置

6.9.2 找正光路, 使激光在靶心上没有明显移动。设定仪移动座回到起始参考位置, 设置仪器为内测量方式, 并使激光干涉仪位置预置在0.1mm, 然后设置激光仪程序以设定仪起始参考位置 (0.1m) 为起始点, 1000.1mm为终点每间隔100mm采集一个点, 共计11个点, 正反循环程序一次。

6.9.3 开始测量, 这样得到22个相应点的误差值 X_n 。各点误差值按公式 (5) 计算。22个误差值的 X_n 为各点结果。

$$X_n = L_i - L_n + \Delta_{0.1} \quad (5)$$

式中:

X_n ——各点示值误差, mm;

L_n ——各点设定仪的显示值, mm;

L_i ——激光干涉仪对应目标值的读数, mm;

$\Delta_{0.1}$ ——内尺寸起始参考位置误差, mm。

6.9.4 在满足校准精度要求的条件下, 也可用其它测量方法进行校准, 如果是直接测量两工作面的距离偏差时, 则结果既为设定仪在该示值的最大允许误差。示值最大允许误差数据处理详见附录A中表A.3。

7 校准结果表达

校准结束后出具校准证书, 推荐校准证书内页格式见附录B。校准证书应准确、客观的报告校准结果。校准结果用校准数据的形式给出, 并根据JJF 1059.1-2012测量

不确定度评定与表示给出测量不确定度，不确定度评定实例见附录C。校准证书至少包含以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- 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) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- 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和应用有关时，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) 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，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，不得部分复制证书或报告的声明。

8 复校时间间隔

设定仪由于复校周期的长短影响测量数据的质量风险，送校单位应根据仪器的使用情况及几个周期的校准结果，决定复校时间间隔。复校时间间隔一般为1年。若使用中出現碰撞或异常情况，应立即校准。

附录 A

测量数据历史记录

A.1 俯仰和偏摆的数据处理如表A.1。

表 A.1 俯仰和偏摆处理

测量点	a	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆	b ₇	b ₈	b ₉	b ₁₀
俯仰读数值	1	-1.5	1.5	4	4	7	8	12.5	11	13	15
偏摆读数值	10	6	5	10	10	0	5	11	11	-3	-2
俯仰b _i -a	0	-2.5	0.5	3	3	6	7	11.5	10	12	14
偏摆b _i -a	0	-4	-5	0	0	-10	-5	1	1	-13	-12
俯仰结果	14″										
偏摆结果	13″										

A.2 设定仪起始参考位置的最大允许误差测量数据处理如表A.2。

表 A.2 起始参考位置最大允许误差处理

测量次数	1	2	3	平均	内尺寸零位误差
移动座尺寸误差	-0.2 μm	-0.1 μm	-0.3 μm	-0.2 μm	0.2-(-0.2)-(-0.5) =0.9 μm
固定座尺寸误差	-0.5 μm	-0.6 μm	-0.5 μm	-0.5 μm	
外尺寸零位误差	0.2 μm	0.3 μm	0.1 μm	0.2 μm	

A.3 示值最大允许误差数据处理（内尺寸为例）如表A.3。

表 A.3 设定仪示值最大允许误差（内尺寸）数据处理(μm)

测量点mm	0.1	100.1	200.1	300.1	400.1	500.1	600.1	700.1	800.1	900.1	1000.1
正向误差 $L_i - L_n$	0	1.1	0.9	-0.1	1.2	1.3	2.1	1.8	2.7	3.6	2.5
反向误差 $L_{i反} - L_{n反}$	-0.9	0.6	0.5	-0.2	1	0.4	1.5	1.9	2.5	3.4	2.5
内尺寸零位 误差	$\Delta_{0.1}$	$\Delta_{0.1}$	$\Delta_{0.1}$	$\Delta_{0.1}$	$\Delta_{0.1}$	$\Delta_{0.1}$	$\Delta_{0.1}$	$\Delta_{0.1}$	$\Delta_{0.1}$	$\Delta_{0.1}$	$\Delta_{0.1}$
各点最大允 许误差	1.5	1.8	2.2	2.5	2.8	3.2	3.5	3.8	4.2	4.5	4.8
$L_{i正} - L_n + \Delta_{0.1}$	0.9	2.0	1.8	0.8	2.1	2.2	3.0	2.7	3.6	4.5	3.4
$L_{i反} - L_n + \Delta_{0.1}$	0	1.5	1.4	0.7	1.9	1.3	2.4	2.8	3.4	4.3	3.4
100.1 mm位置正方向示值超过最大允许值注：本次测量 $\Delta_{0.1}=0.9\mu\text{m}$											

附录B

校准证书内页格式

证书编号：

环境条件	温 度： ℃ 相对湿度： %	地点： 其他：
序号	校准项目	测量结果
1	设定仪各工作面的平面度	
2	固定座和移动座外工作面的相互平行度	
3	移动座移动的俯仰和偏摆	
4	设定仪起始参考位置的最大允许误差	
5	设定仪移动座定位的重复性	
设定仪示值最大允许误差		
校准点序号	校准点的位置	各点位置示值误差
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
测量结果不确定度：		

校准员：

核验员：

注：校准证书的内容应符合JJF1071《国家计量校准规范编写规则》的要求。由于各实验室对校准证书有自己的设计，本附录仅建议与校准内结果相关部分的内页格式。其中的部分内容可以由实验室的证书格式不同而在其他部分表述。

附录C

设定仪起始参考位置误差校准结果不确定度评定

C.1 设定仪起始参考位置外尺寸(40.1mm)测量不确定度评定

C.1.1 测量方法

设定仪起始参考位置外尺寸是用3等(30mm, 9mm, 1.1mm)量块组合作为标准, 使用杠杆千分尺以比较法测量。

C.1.2 测量模型

$$\Delta_{40.1} = \delta_i + \Delta l \quad (\text{C.1})$$

式中:

$\Delta_{40.1}$ ——起始参考位置外尺寸误差, μm ;

$\sum \delta_i$ ——3次测量值的和, μm ;

Δl ——组合量块偏差, μm 。

C.1.3 各影响量的标准不确定度及对应的不确定度分量

测量不确定度主要来源于标准量块, 测量重复性, 温度, 材料膨胀系数, 温度差, 材料膨胀系数差, 中心的偏移量等影响量, 除测量重复性可通过实测按A类计算外, 其余不确定度分量均视为B类不确定度, 并且相互间独立。

C.1.3.1 标准量块的中心长度引入的标准不确定度 $u(l)$

30mm, 9mm, 1.1mm的3等量块组合40.1mm尺寸, 3块量块的测量不确定度分别为0.15 μm , 0.11 μm , 0.11 μm 包含因子按 $k=2.7$ 计算, 则3块量块的标准不确定度:

$$\frac{0.15}{2.7} = 0.056\mu\text{m}, \quad \frac{0.11}{2.7} = 0.041\mu\text{m}, \quad \frac{0.11}{2.7} = 0.041\mu\text{m}$$

则合成的标准不确定度为

$$u(l) = \sqrt{0.056^2 + 0.041^2 + 0.041^2} = 0.08\mu\text{m}$$

C.1.3.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(\delta)$

组合40.1mm量块, 用杠杆千分尺重复测量10次, 测量值为: 0, 0, 0.1, 0.1, -0.1, 0, 0.2, 0.2, 0.3, 0.1。以公式(5)计算其单次测量的实验标准差 $s=0.12\mu\text{m}$, 实际测量时, 是由标准量块和设定仪参考零位两次测量读数差构成, 并且测量3次取的平均值, 则测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u(\delta) = \frac{0.12 \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 0.1\mu\text{m}$$

C.1.3.3 量块与设定仪测量头线膨胀系数差引入的标准不确定度 $u(\alpha)$

标准量块和设定仪测量头是陶瓷材料, 线膨胀系数在 $(9.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内, 则标准量块和设定仪测量头的线膨胀系数差 $\Delta\alpha$ 应在 $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内, 并服从三角分布,

则引入的标准不确定度为:

$$u(\Delta\alpha) = \frac{2 \times 10^{-6}}{\sqrt{6}} = 0.816 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

另规定在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 条件下测量 40.1mm 尺寸, 则引入的标准不确定度为:

$$u(\alpha) = 1 \times 40.1 \times 0.816 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 0.03 \mu\text{m}$$

C.1.3.4 标准量块和设定仪测量头的温度差 Δt 引入的标准不确定度 $u(t)$

定温后, 量块与设定仪测量头温度差不超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$, 且服从矩形分布, 可得到:

$$u(\Delta t) = \frac{0.1^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.058^\circ\text{C}$$

该量块与设定仪测量头温差对校准结果影响与线膨胀系数有关, 取陶瓷量块线膨胀系数 $9.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 长度 40.1mm, 则温差引入的标准不确定度为:

$$u(t) = 40.1 \times 0.058 \times 9.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 0.02 \mu\text{m}$$

C.1.3.5 测量位置偏离设定仪测量面中心 ΔP 引入的标准不确定度 $u(p)$

估计测量位置偏离设定仪测量面中心附近 1mm 区域内等概率分布, 测量是 3 次结果取平均值, 则引入的标准不确定度为:

$$u(\Delta P) = \frac{1}{\sqrt{3} \times \sqrt{3}} = 0.33 \text{ mm}$$

设定仪外工作面平行度要求为 $1 \mu\text{m}$, 则引入的标准不确定度为:

$$u(p) = \frac{1 \mu\text{m}}{3.7 \text{ mm}} \times 0.33 \text{ mm} = 0.09 \mu\text{m}$$

C.1.3.6 测量位置偏离标准量块中心 ΔP_s 引入的标准不确定度 $u(p_s)$

估计测量位置偏离量块中心附近 1 mm 区域内等概率分布, 则标准不确定度为:

$$u(\Delta P) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577 \text{ mm}$$

设定仪外工作面平行度要求为 $1 \mu\text{m}$, 则引入的标准不确定度为:

$$u(p_s) = \frac{0.18 \mu\text{m}}{3.7 \text{ mm}} \times 0.577 \text{ mm} = 0.03 \mu\text{m}$$

C.1.4 合成标准不确定度 $u(A_{40.1})$

C.1.4.1 标准不确定度分量一览表见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度分量一览表

分量名称	评定类型	影响量(μm)	分布因子	不确定度分量 (μm)
量块中心长度测量不确定度 $u(l)$	B类	0.22	1/2.7	0.08
测量重复性引入的标准不确定度 $u(\delta)$	A类	0.17	$1/\sqrt{3}$	0.10
线膨胀系数差引入的标准不确定度 $u(\alpha)$	B类	0.08	$1/\sqrt{6}$	0.03
温度差 Δt 引入的标准不确定度 $u(t)$	B类	0.04	$1/\sqrt{3}$	0.02

表 C.1 (续)

分量名称	评定类型	影响量(μm)	分布因子	不确定度分量 (μm)
设定仪测量面中心测量偏离△P引入的标准不确定度 $u(p)$	B类	0.16	$1/\sqrt{3}$	0.09
标准量块中心△Ps引入的标准不确定度 $u(p_s)$	B类	0.05	$1/\sqrt{3}$	0.03

C.1.4.2 合成标准不确定度 u_c

$$\begin{aligned}
 u_c &= \sqrt{u^2(l) + u^2(\delta) + u^2(\alpha) + u^2(t) + u^2(p) + u^2(p_s)} \\
 &= \sqrt{0.08^2 + 0.1^2 + 0.03^2 + 0.02^2 + 0.09^2 + 0.03^2} \mu\text{m} \\
 &= 0.16 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

C.1.5 扩展不确定度U

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.16 = 0.32 \mu\text{m}$$

C.2 设定仪起始参考位置内尺寸（0.1mm）测量不确定度评定

C.2.1 测量方法

设定仪起始参考位置内尺寸是用3等（20mm）量块作为标准，使用杠杆千分尺以比较法测量。

C.2.2 测量模型

$$\Delta_{0.1} = \Delta_{40.1} - \Delta_{g20} - \Delta_{y20} \quad (\text{C.2})$$

式中：

$\Delta_{0.1}$ ——起始参考位置内尺寸偏差， μm ；

$\Delta_{40.1}$ ——起始参考位置外尺寸偏差， μm ；

Δ_{g20} ——固定座工作面中心长度偏差， μm ；

Δ_{y20} ——移动座工作面中心长度偏差， μm 。

C.2.3 各影响量的标准不确定度及对应的不确定度分量

测量不确定度主要来源于起始参考位置外尺寸（40.1mm）测量不确定度，移动座和固定座20mm测量头尺寸测量不确定度。其中40.1mm测量不确定度（附录A）已计算。

C.2.3.1 起始参考位置外尺寸（40.1mm）测量引入的标准不确定度 $u(\Delta_{40.1})$

依据（C.1.5）计算的测量不确定度 $U = k u_c = 0.32 \mu\text{m}$ （ $k=2$ ），所以其引入的标准不确定度： $u(\Delta_{40.1}) = 0.32 \mu\text{m} / 2 = 0.16 \mu\text{m}$

C.2.3.2 移动座两工作面中心长度测量不确定引入的标准不确定度 $u(\Delta_{y20})$

测量模型： $\Delta_{20} = \delta + \Delta l$

式中:

Δ_{20} ——移动座两工作面中心长度偏差, μm ;

δ ——3次测量的平均值, μm ;

Δl ——量块偏差, μm 。

移动座两工作面中心长度测量不确定来源于标准量块, 测量重复性, 温度, 材料膨胀系数, 温度差, 材料膨胀系数差, 中心的偏移量等影响量, 除测量重复性可通过实测按A类计算外, 其余不确定度分量均视为B类不确定度, 并且相互间独立无关。

C. 2. 3. 2. 1 标准量块的中心长度引入的标准不确定度 $u(l)$

20mm的3等量块的测量不确定度为0.12 μm , 包含因子按 $k=2.7$ 计算, 则量块引入的标准不确定度:

$$u(l) = \frac{0.12}{2.7} = 0.05 \mu\text{m}$$

C. 2. 3. 2. 2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(\delta)$

取20 mm量块, 用杠杆千分尺重复测量10次, 测量值为: 0, 0, 0.2, 0, -0.1, 0, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1。按公式(5)计算其单次测量的实验标准差 $s=0.1\mu\text{m}$, 实际测量时, 是由标准量块和设定仪起始参考位置两次测量读数差构成, 并且测量3次取的平均值, 则引入的标准不确定度为:

$$u(\delta) = \frac{0.10 \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 0.08 \mu\text{m}$$

C. 2. 3. 2. 3 量块与设定仪测量头线膨胀系数差引入的标准不确定度 $u(\alpha)$

标准量块和设定仪测量头是陶瓷材料, 线膨胀系数在 $(9.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内, 则标准量块和设定仪测量头的线膨胀系数差 $\Delta \alpha$ 应在 $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内, 并服从三角分布, 则引入的标准不确定度为:

$$u(\Delta \alpha) = \frac{2 \times 10^{-6}}{\sqrt{6}} = 0.816 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

另规定在 $(20 \pm 1) \text{ } ^\circ\text{C}$ 条件下测量20mm尺寸, 所以引入的标准不确定度为:

$$u(\alpha) = 1 \times 20 \times 0.816 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 0.02 \mu\text{m}$$

C. 2. 3. 2. 4 标准量块和设定仪测量头的温度差 Δt 引入的标准不确定度 $u(t)$

定温后, 量块与设定仪测量头温度差不超过 $\pm 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$, 且服从矩形分布, 可得到:

$$u(\Delta t) = \frac{0.1 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ } ^\circ\text{C}$$

该量块与设定仪移动座工作面处温差对校准结果影响与线膨胀系数有关, 取陶瓷量块线膨胀系数 $9.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 长度20mm, 则温差引入的标准不确定度为:

$$u(t) = 20 \times 0.058 \times 9.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 0.01 \mu\text{m}$$

C. 2. 3. 2. 5 测量位置偏离设定仪测量面中心 ΔP 引入的标准不确定度 $u(p)$

估计测量位置偏离设定仪测量面中心附近1mm区域内等概率分布, 测量是3次结果取平均值。因此其标准不确定度为:

$$u(\Delta P) = \frac{1}{\sqrt{3} \times \sqrt{3}} = 0.33 \text{ mm}$$

设定仪外工作面平行度要求为 $1 \mu\text{m}$ ，则引入的标准不确定度为：

$$u(p) = \frac{1 \mu\text{m}}{3.7 \text{ mm}} \times 0.33 \text{ mm} = 0.09 \mu\text{m}$$

C.2.3.2.6 测量位置偏离标准量块中心 ΔP_s 引入的标准不确定度 $u(p_s)$

估计测量位置偏离量块中心附近 1 mm 区域内等概率分布，则引入的标准不确定度为：

$$u(\Delta P) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577 \text{ mm}$$

3等量块长度变动量要求为 $0.16 \mu\text{m}$ ，则引入的标准不确定度为：

$$u(p_s) = \frac{0.16 \mu\text{m}}{3.7 \text{ mm}} \times 0.577 \text{ mm} = 0.02 \mu\text{m}$$

C.2.3.2.7 移动座两工作面中心长度测量标准不确定度分量一览表见表C.2。

表 C.2 标准不确定度分量一览表

分量名称	评定类型	影响量 (μm)	分布因子	不确定度分 量 (μm)
量块中心长度测量不确定度 $u(l)$	B类	0.12	1/2.7	0.05
测量重复性引入的标准不确定度 $u(\delta)$	A类	0.10	$1/\sqrt{3}$	0.08
线膨胀系数差引入的标准不确定度 $u(\alpha)$	B类	0.04	$1/\sqrt{6}$	0.02
温度差 Δt 引入的标准不确定度 $u(t)$	B类	0.02	$1/\sqrt{3}$	0.01
设定仪测量面中心测量偏离 ΔP 引入的标准不确定度 $u(p)$	B类	0.16	$1/\sqrt{3}$	0.09
标准量块中心 ΔP_s 引入的标准不确定度 $u(p_s)$	B类	0.04	$1/\sqrt{3}$	0.02

移动座两工作面中心长度测量不确定引入的标准不确定度

$$\begin{aligned}
 u(\Delta_{y20}) &= \sqrt{u^2(l) + u^2(\delta) + u^2(\alpha) + u^2(t) + u^2(p) + u^2(p_s)} \\
 &= \sqrt{0.05^2 + 0.08^2 + 0.02^2 + 0.01^2 + 0.09^2 + 0.02^2} \mu\text{m} \\
 &= 0.13 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

C.2.3.3 固定座两工作面中心长度测量不确定引入的标准不确定度 $u(\Delta_{g20})$

固定座两工作面中心长度测量和移动座两工作面中心长度测量方法一样，环境条件和计量器具及人员也是一样，所以引入的标准不确定度直接取C.2.3.2的结果，则：

$$u(\Delta_{g20}) = 0.13 \mu\text{m}$$

C.2.4 合成标准不确定度 u_c

$$\begin{aligned}
 u_c &= \sqrt{u^2(\Delta_{40.1}) + u^2(\Delta_{y20}) + u^2(\Delta_{g20})} \\
 &= \sqrt{0.16^2 + 0.13^2 + 0.13^2} \approx 0.25 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

C.2.5 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U=k \times u_c=2 \times 0.25=0.5\mu\text{m}$$

附录D

设定仪示值误差校准结果不确定度评定

D.1 测量方法

设定仪示值最大允许误差是用激光干涉仪测量移动座设定点的位置误差，然后加上起始参考位置的尺寸偏差，得到仪器示值最大允许误差。起始参考位置测量不确定度根据附录C.1和附录C.2看出起始参考位置内尺寸（0.1mm）测量不确定度要大于起始参考位置外尺寸（40.1mm）测量不确定度。故下面仅评定内尺寸示值最大允许误差测量不确定度。

D.2 测量模型

$$X_n = L_i - L_n + \Delta_{0.1} \quad (\text{D.1})$$

式中：

X_n ——各点示值误差，mm；

L_n ——各点设定仪的显示值，mm；

L_i ——激光干涉仪对应目标值的读数，mm；

$\Delta_{0.1}$ ——内尺寸起始参考位置误差，mm。

D.3 各影响量的标准不确定度及对应的不确定度分量

测量不确定度主要来源于起始参考位置内尺寸偏差测量不确定度，激光干涉仪不确定度，激光干涉仪在测量周期内的漂移，光路与移动轴不平行，温度，材料膨胀系数等影响量，并且相互间独立无关。

D.3.1 起始参考位置内尺寸（0.1mm）测量引入的标准不确定度 $u(\Delta_{0.1})$

依据（C.2）计算的测量不确定度 $U=k u_c=0.5 \mu\text{m}$ ，（ $k=2$ ），所以其引入的标准不确定度：

$$u(\Delta_{0.1}) = 0.5 \mu\text{m} / 2 = 0.25 \mu\text{m}$$

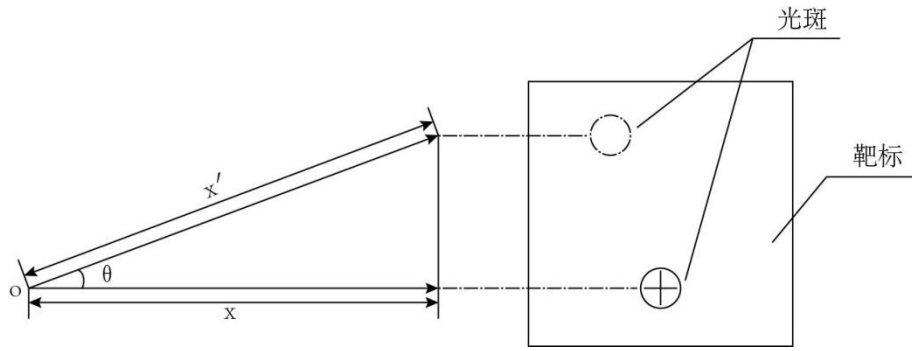
D.3.2 激光干涉仪测量设定点的位置误差不确定度引入的标准不确定度 $u(L_n)$ D.3.2.1 激光干涉仪测量不确定度引入的标准不确定度 $u(L)$

根据仪器说明书给出激光干涉仪线性测量精度： $\pm 5 \times 10^{-7} L_n$ 包含因子按 $k=2$ ，所以激光干涉仪引入的标准不确定度：

$$u(L) = \frac{5 \times 10^{-7} L_n}{2} = 2.5 \times 10^{-7} L_n$$

D.3.2.2 激光仪光路与移动轴不平行引入的标准不确定度 $u(\theta)$

经过精细找正后，1m的距离靶标上的光斑无目视可见移动，示意图如图D.1所示。



图D.1 激光仪光路与移动轴不平行

偏离起始位置0不超过0.5mm。则斜角根据反正弦函数计算：

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0.5}{1000} = 0.029^\circ$$

带来的误差： $X' - X = \Delta L_n = L_n \cdot (1 - \cos \theta) = 1.3 \times 10^{-7} L_n$ ，则光路与移动轴不平行引入的标准不确定度：

$$u(\theta) = \frac{1.3 \times 10^{-7} L_n}{2\sqrt{3}} = 3.8 \times 10^{-8} L_n$$

D. 3. 2. 3 测量设定仪温度误差不确定度引入的标准不确定度 $u(t)$

该测量由激光干涉仪材料传感器贴附在设定仪导轨端面进行。根据校准证书给出的温度偏差进行修正，证书给出测量不确定度 $U = 0.03^\circ\text{C}$ ($k=2$)。根据设定仪材料线膨胀系数 $11.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，则引入的标准不确定度：

$$u(\alpha) = \frac{0.03 \times 11.5 \times 10^{-6} L_n}{2} = 1.7 \times 10^{-7} L_n$$

D. 3. 2. 4 材料传感器温度与设定仪光栅尺的温度差 Δt 引入的标准不确定度 $u(t_\Delta)$

材料传感器贴附位置与设定仪光栅头处的温度差假设在 $\pm 0.04^\circ\text{C}$ ，且服从矩形分布，可得到：

$$u(\Delta t) = \frac{0.04^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.023^\circ\text{C}$$

该温差对校准结果影响与线膨胀系数有关，取线膨胀系数 $11.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，长度 L_n ，则温差引入的标准不确定度为：

$$u(t_\Delta) = 0.023 \times 11.5 \times 10^{-6} \times L_n = 2.7 \times 10^{-7} L_n$$

D. 3. 2. 5 设定仪热膨胀系数不确定度引入的标准不确定度 $u(\alpha)$

设定仪材料线膨胀系数在 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内，则线膨胀系数误差 $\Delta \alpha$ 应在 $\pm 1 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内，并服从矩形分布，因此其标准不确定度：

$$u(\Delta \alpha) = \frac{1 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}}{\sqrt{3}} = 5.8 \times 10^{-7}^\circ\text{C}^{-1}$$

另规定在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 条件下测量，所以引入的标准不确定度为：

$$u(\alpha) = 1^\circ\text{C} \times L_n \times 5.8 \times 10^{-7}^\circ\text{C}^{-1} = 5.8 \times 10^{-7} L_n$$

D. 3. 2. 6 环境变化误差引起的不确定度引入的标准不确定度 $u(EVE)$

在测量期间，环境、仪器和/或设定仪可能漂移或改变，从而影响测量系统的读数。这种环境变化误差可以通过漂移测试来检查：在进行位置误差测试所需的时间内查看极端位置的读数变化（本仪器在1m的位置），可以获得这种影响的大小EVE（EVE环境影响带来的误差缩写），本测量开始到结束在6分钟内。仪器开机预热稳定后进行位置误差测量，完成后移动座由参考零位运行到极限位置，观察示值变化，10分钟内示值变化最小值-0.16 μm 最大值0.17 μm ，则变化在0.17-（-0.16）=0.33 μm 。所以其引入的标准不确定度为：

$$u_{\text{EVE}} = \frac{0.33}{2\sqrt{3}} = 0.1\mu\text{m}$$

D.3.2.7 标准不确定度分量一览表见表D.1。

表 D.1 标准不确定度分量一览表

分量名称	评定类型	影响量 (μm)	分布因子	不确定度分量 (μm)
激光干涉仪测量不确定度引入的标准不确定度 $u(l)$	B类	$5 \times 10^{-7} L_n$	1/2	$2.5 \times 10^{-7} L_n$
激光仪光路与移动轴不平行引入的标准不确定度 $u(\theta)$	B类	$6.5 \times 10^{-8} L_n$	$1/\sqrt{3}$	$3.8 \times 10^{-8} L_n$
测量设定仪温度误差不确定度引入的标准不确定度 $u(t)$	B类	$3.4 \times 10^{-7} L_n$	1/2	$1.7 \times 10^{-7} L_n$
传感器温度与设定仪光栅头处的温度差 Δt 引入的标准不确定度 $u(t_\Delta)$	B类	$4.6 \times 10^{-7} L_n$	$1/\sqrt{3}$	$2.7 \times 10^{-7} L_n$
设定仪热膨胀系数不确定度引入的标准不确定度 $u(\alpha)$	B类	$1 \times 10^{-6} L_n$	$1/\sqrt{3}$	$5.8 \times 10^{-7} L_n$
环境变化误差引起的不确定度引入的标准不确定度 u_{EVE}	B类	0.165	$1/\sqrt{3}$	0.1

激光干涉仪测量设定点的位置误差不确定度引入的标准不确定度 $u(L)$

$$\begin{aligned}
 u(L) &= \sqrt{u^2(l) + u^2(\theta) + u^2(t) + u^2(t_\Delta) + u^2(\alpha) + u^2(e)} \\
 &= \sqrt{0.1^2 + (2.5^2 + 0.38^2 + 1.7^2 + 2.7^2 + 5.8^2) \times 10^{-14} \times L_n^2} \\
 &= \sqrt{0.1^2 + 50.2 \times 10^{-14} \times L_n^2} \\
 &= \sqrt{0.1^2 + (7.1 \times 10^{-7} L_n)^2}
 \end{aligned}$$

D.4 合成标准不确定度

$$\begin{aligned}
 u_c &= \sqrt{u^2(\Delta_{0.1}) + u^2(L)} \\
 &= \sqrt{0.25^2 + 0.1^2 + (7.1 \times 10^{-7} L_n)^2} \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

$$=\sqrt{0.27^2 + (7.1 \times 10^{-7} L_n)^2} \mu\text{m}$$

D.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$\begin{aligned} U &= k \times u_c = 2 \times \sqrt{0.27^2 + (7.1 \times 10^{-7} L_n)^2} \\ &= \sqrt{0.54^2 + (1.42 \times 10^{-6} L_n)^2} \end{aligned}$$

根据计算得近似公式：

$$U = 0.5 + 1.0 \times 10^{-6} L_n$$

中华人民共和国工业和信息化部

兵工民品计量技术规范

长度设定仪校准规范

JJF(兵工民品)0044—2024

版权所有 不得翻印