

天津市地方计量技术规范

JJF(津) 147—2025

冲击试样缺口投影仪校准规范

Calibration Specification for Projectors for Detecting the Notch of
Test Sample

2025-06-23 发布

2025-09-23 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

冲击试样缺口投影仪 校准规范

Calibration Specification for Projectors
for Detecting the Notch of Test Sample

JJF (津) 147—2025

归口单位：天津市市场监督管理委员会

起草单位：天津市静海区计量检定所

天津市计量监督检测科学研究院

山东海瑞试验仪器有限公司

天津博纳热缩管有限公司

本规范委托天津市静海区计量检定所负责解释

本规范主要起草人：

毛世英（天津市静海区计量检定所）

刘红光（天津市计量监督检测科学研究院）

唐国文（天津市静海区计量检定所）

郭艳艳（天津市静海区计量检定所）

参加起草人：

殷春颖（天津市静海区计量检定所）

刘海虎（山东海瑞试验仪器有限公司）

李培峒（天津博纳热缩管有限公司）

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 标准比对样板示值误差	(2)
4.2 物镜光轴与工作台面的垂直度	(2)
4.3 仪器放大倍数误差	(3)
5 校准条件.....	(3)
5.1 环境条件.....	(3)
5.2 测量标准及技术要求	(3)
6 校准方法.....	(3)
6.1 标准比对样板示值误差	(3)
6.2 物镜光轴与工作台面的垂直度	(5)
6.3 仪器放大倍数误差	(5)
7 复校时间间隔.....	(6)
8 校准结果的表达.....	(6)
9 校准证书内容.....	(6)
附录 A 校准原始记录格式.....	(7)
附录 B 校准证书内页格式.....	(9)
附录 C 冲击试样缺口投影仪 V 型缺口夹角测量结果的不确定度评定.....	(10)
附录 D 冲击试样缺口投影仪圆弧半径测量结果的不确定度评定.....	(12)
附录 E 冲击试样缺口投影仪放大倍数误差测量结果不确定度评定	(16)

引 言

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》共同构成本规范制订工作的基础性系列规范，本规范同时参照了 GB/T229-2020《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》。

本规范为首次发布。

冲击试样缺口投影仪校准规范

1 范围

本规范适用于冲击试样缺口投影仪的校准。

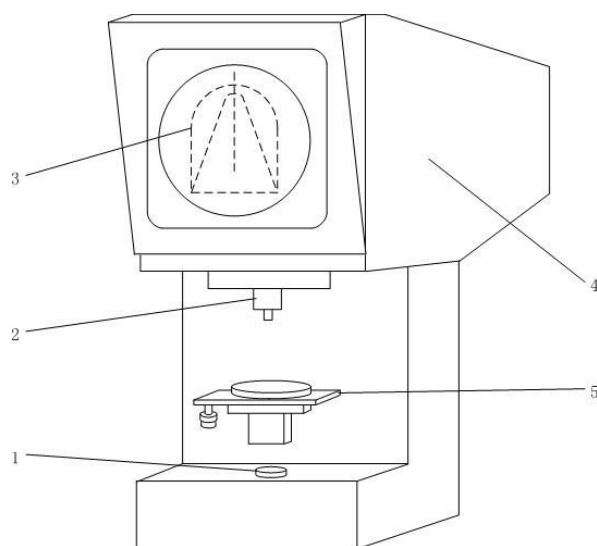
2 引用文件

GB/T 229-2020 《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》

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）适用本规范。

3 概述

冲击试样缺口投影仪是一种专用于夏比摆锤冲击试验试样缺口几何形状检测的光学投影仪器。光源发出的光线，经聚光镜汇聚后，照射到试样，再由物镜将试样缺口轮廓放大 50 倍后，投射到投影屏，与标准对比样板比较，确定被测试样轮廓是否合格。冲击试样缺口投影仪结构主要由光源、物镜、投影屏、外壳、移动工作台组成，其结构如图 1 所示。



1—光源；2—物镜；3—投影屏；4—外壳；5—移动工作台

图 1 冲击试样缺口投影仪结构图

4 计量特性

4.1 标准比对样板示值误差

标准比对样板如图 2 所示。

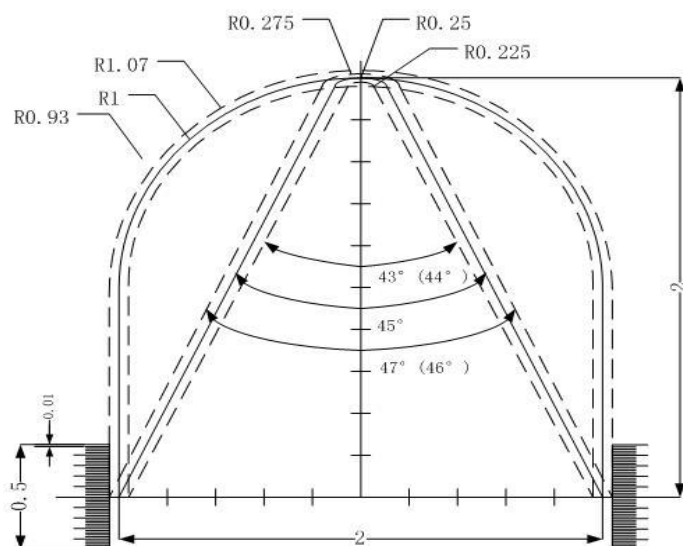


图 2 标准比对样板图

4.1.1 标准比对样板 V 型缺口夹角

标准比对样板 V 型缺口夹角标称值为 43° (44°)、 45° 、 47° (46°)，最大允许误差为 $\pm 12'$ 。

4.1.2 标准比对样板 V 型缺口圆弧半径

标准比对样板 V 型缺口圆弧半径标注值为 0.225mm、0.25mm、0.275mm，标称值为 11.25mm、12.50mm、13.75mm，最大允许误差为 ± 0.25 mm。

4.1.3 标准比对样板 U 型缺口圆弧半径

标准比对样板 U 型缺口圆弧半径标注值为 0.93mm、1mm、1.07mm，标称值为 46.5mm、50.0mm、53.5mm，最大允许误差为 ± 0.7 mm。

4.1.4 标准比对样板缺口高度

标准比对样板缺口高度标注值为 2mm，标称值为 100mm，最大允许误差为 ± 0.1 mm。

4.1.5 标准比对样板 0.01 mm 刻线示值误差

标准比对样板 0.01 mm 刻线的标注分度值为 0.01mm，实际分度值为 0.5，全长范围内，最大允许误差为 ± 0.1 mm。

4.2 物镜光轴与工作台面的垂直度

量块两工作棱边影像同样清晰，无可见的阴影。

4.3 仪器放大倍数误差

冲击试样缺口投影仪物镜放大倍数为 50 倍，最大允许误差为 $\pm 1\%$ 。

注：校准工作不判断合格与否，上述计量特性指标仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 80\%$ 。

5.2 测量标准及技术要求

冲击试样缺口投影仪校准项目及校准用计量器具见表 1。

表 1 校准项目及校准用计量器具

序号	校准项目	校准用计量器具
1	标准比对样板示值误差	万能工具显微镜，长度 MPE: $\pm(1\mu\text{m}+1\times 10^{-5}L)$ ，角度 MPE: $\pm 1'$ 。
2	物镜光轴与工作台面的垂直度	5 等量块
3	仪器放大倍数误差	标准玻璃线纹尺， $U=0.20\mu\text{m}+1.5\times 10^{-6}L$ ， $(k=3)$ ；工作玻璃刻线尺，MPE: $\pm 0.03\text{mm}$
允许使用满足测量不确定度要求的其他测量标准及设备进行校准。		

6 校准方法

校准前，检查仪器的外观、各部分相互作用及光学系统，确保各移动、转动部位灵活无松动，视场内应照明均匀、成像清晰，无影响校准正确实施及校准结果的缺陷。

6.1 标准比对样板示值误差

6.1.1 V 型缺口夹角

将标准比对样板置于万能工具显微镜的工作台上，调整工具显微镜至目镜视场中能够清晰地观察到 V 型缺口的轮廓，使得视场中标志线对准 V 型缺口的一条边，并从读数装置读取角度值 α_1 ，旋转该标志使之与 V 型缺口的另一条边对齐，再次读取角度值 α_2 ，两次读数值之差的绝对值作为校准结果。

6.1.2 圆弧半径

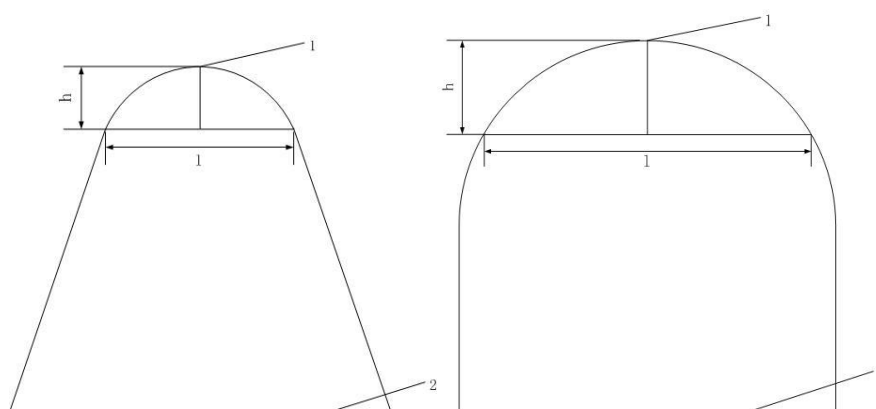
如图 3 所示, 利用弦高法测量圆弧半径。调整万能工具显微镜至视场中能够清晰地观察到试样缺口的轮廓, 使显微镜十字水平分度线与缺口底部水平线对齐, 分别对三段半径不同的圆弧进行测量, 每段圆弧分别测量弓高 h 和弦长 l , 将测量得到的数据带入公式 (1) 得到圆弧半径。

$$R = \frac{l^2}{8h} + \frac{h}{2} \quad (1)$$

式中: R —圆弧半径, mm;

l —圆弧弦长, mm;

h —圆弧高, mm。



V 型冲击试样缺口

U 型冲击试样缺口

1—顶部; 2—底部

图 3 冲击试样缺口

6.1.3 缺口高度

调整万能工具显微镜至视场中能够清晰地观察到缺口轮廓, 使万能工具显微镜的标志线对准缺口顶部, 在读数装置上读数, 然后沿缺口高度方向移动到缺口底部, 再次读数, 两次读数之差的绝对值即为缺口高度的校准结果。

6.1.4 0.01 mm 刻线示值误差

调整工具显微镜至目镜视场中能够清晰地观察到标准比对样板上的 0.01 mm 刻线, 使米字线对准 0.01mm 刻线的中间刻线 (刻线最长), 万能工具显微镜 X、Y 轴读数清零后以 5 个分度为间隔, 分别向上、向下测量至 0.01 mm 刻线的两端, 在工具显微镜上读出各校

准值, 按公式 (2) 计算各校准点示值误差, 取示值误差中最大值作为校准结果。

$$\delta_i = l_i - a_i \quad (2)$$

式中: δ_i — 0.01mm 刻线示值误差, mm;

l_i — 校准点的读数值, mm;

a_i — 校准点的标称值, mm。

6.2 物镜光轴与工作台面的垂直度

将尺寸为 (2~3) mm 的量块研合在尺寸为 (20~50) mm 量块上, 然后把研合量块放在仪器的工作台上, 调整工作台使量块两工作棱边影像清晰, 并使量块影像大致处于影屏的中心位置, 这时观察 (2~3) mm 的量块两工作棱边影像是否清晰。再将量块掉转 180°, 观察 (2~3) mm 的量块两工作棱边影像是否也同等清晰。

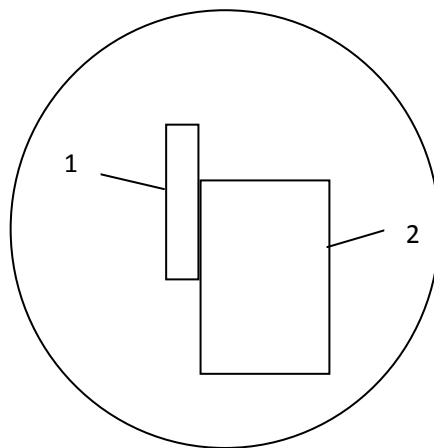


图 4 研合量块示意图

6.3 仪器放大倍数误差

将标准玻璃线纹尺置于冲击试样缺口投影仪的工作台上, 调整工作台位置使标准玻璃线纹尺的刻线清晰成像于投影屏上, 然后用工作玻璃尺进行比较, 利用放大镜观察工作玻璃尺的刻线与放大后的标准玻璃线纹尺的相应刻线是否重合, 不重合时, 估读出其差值, 投影仪放大倍数误差按公式 (3) 计算:

$$\beta = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% \quad (3)$$

式中: β — 仪器放大倍数误差;

ΔL — 工作玻璃尺与标准玻璃尺差值, mm;

L — 标准玻璃尺实际值, mm。

7 校准结果的表达

校准后的冲击试样缺口投影仪，出具校准证书。校准证书应给出校准结果及测量不确定度。

8 复校时间间隔

复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校时间不超过 12 个月。

9 校准证书内容

校准证书至少包括以下信息：

- a) 标题“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（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) 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受日期；
- 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) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

附录 A

校准原始记录格式

冲击试样缺口投影仪校准记录格式

客户名称: 证书编号: 记录编号:
 客户地址: 型号规格: 出厂编号:
 制造厂名: 校准依据: 建议复校时间:
 校准地点: 环境条件: 温度: 相对湿度:

主要校准设备

序号	标准器名称	型号规格	编号	不确定度或准确度等级 或最大允许误差	证书编号	有效期

1.V 型缺口夹角

标称值	标准器读数		校准结果	不确定度 ($k=2$)
	1	2		
43° (44°)				
45°				
47° (46°)				

2.V 型/U 型缺口圆弧半径

标称值/mm	实测值 l /mm	实测值 h /mm	$R = \frac{l^2}{8h} + \frac{h}{2}$ /mm	不确定度 ($k=2$)

3. 缺口高度

读数次数	实测值/mm	校准结果/mm	不确定度 ($k=2$)
第一次读数			
第二次读数			

4、0.01mm 刻线示值误差

读数方向	标称值 l_i /mm	实测值 a_i /mm	示值误差 $\delta_i/\mu\text{m}$	不确定度 ($k=2$)
向上读数	12.5			
	10.0			
	7.5			
	5.0			
	2.5			
向下读数	2.5			
	5.0			
	7.5			
	10.0			
	12.5			

5.仪器放大倍数误差

标准值 L/mm	实测值 L/mm	差值 ΔL /mm	放大倍数误差 β	不确定度 ($k=2$)

校准员:

核验员:

校准日期:

附录 B

校准证书内页格式

校 准 结 果

项目	标称值	校准结果	不确定度 ($k = 2$)	
V型缺口夹角/ ($^{\circ}$)	43 $^{\circ}$ (44 $^{\circ}$)			
	45 $^{\circ}$			
	47 $^{\circ}$ (46 $^{\circ}$)			
V型/U型缺口圆 弧半径/mm	标称值/mm	R /mm		不确定度 ($k = 2$)
缺口高度/mm	校准结果/mm	不确定度 ($k = 2$)		
0.01mm刻线示值 误差/mm	示值误差 δ_i /mm		不确定度 ($k = 2$)	
仪器放大倍数误 差	放大倍数误差 β		不确定度 ($k = 2$)	

附录 C

冲击试样缺口投影仪 V 型缺口夹角测量结果的不确定度评定

C.1 测量方法

以 45° 的 V 型缺口夹角为例。调整万能工具显微镜至目镜视场中能够清晰地观察到 V 型缺口的轮廓，令视场中米字线的一条线对准 V 型缺口的一边，从读数装置读取角度值，旋转该线使之与 V 型缺口的另一条边对齐，再从读数装置读数，两次读数值之差的绝对值作为校准结果。

C.2 测量模型

$$a = A \quad (C.1)$$

式中： a —V 型缺口夹角的测量值；

A —万能工具显微镜测得的夹角值；

C.3 输入量的标准不确定度评定

C.3.1 A 的测量不确定度 u_1 C.3.1.1 重复性引入的标准不确定度分量 u_{11}

在重复性测量条件下，对 V 型缺口夹角 45° 角独立测量 10 次，得到测量列： $45^\circ 26.3'$ 、 $45^\circ 26.5'$ 、 $45^\circ 28.3'$ 、 $45^\circ 27.2'$ 、 $45^\circ 26.9'$ 、 $45^\circ 26.7'$ 、 $45^\circ 27.1'$ 、 $45^\circ 26'$ 、 $45^\circ 27.2'$ 、 $45^\circ 27.5'$ ，利用贝塞尔公式计算得到单次测量的实验标准差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 0.66'$$

$$u_1 = 0.66'$$

C.3.1.2 测角分辨力引入的不确定度分量 u_{12}

万能工具显微镜测角分辨力为 $1'$ ，按均匀分布处理，由其引入的不确定度计算为

$$u_{12} = u_{12} = \frac{1'}{2\sqrt{3}} = 0.29'$$

测量重复性与分辨力引入的不确定度为同一效应引入的不确定度分量，所以取最大值，A 的不确定度分量为 $0.66'$ 。

C.3.2 万能工具显微镜示值误差引入的标准不确定度分量 u_2

万能工具显微镜角度最大允许误差不大于 $1'$ ，均匀分布，则

$$u_2 = 1 \div \sqrt{3} = 0.58'$$

C.4 合成标准不确定度

C.4.1 灵敏系数

$$c_1 = 1 \quad c_2 = 1$$

C.4.2 标准不确定度汇总表

表 C.1 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度值 u_i	c_i	$ c_i \cdot u_i$
u_1	测量重复性	$0.66'$	1	$0.87'$
u_2	万能工具显微镜 示值误差	$0.58'$	1	

C.4.3 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.65^2 + 0.58^2} = 0.86'$$

C.5 扩展不确定度

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.86 \approx 2' \quad k = 2$$

C.6 不确定度报告

冲击试样缺口投影仪 V 型缺口夹角测量结果的不确定度为：

$$U = 2' \quad k = 2$$

附录 D

标准比对样板圆弧半径的测量不确定度评定分析

D.1 测量方法

利用万能工具显微镜，直接测量标准比对样板上缺口圆弧的弓高和弦长，并计算出缺口圆弧的半径值。

D.2 测量模型

$$R = \frac{H}{2} + \frac{D^2}{8H} \quad (\text{D.1})$$

式中：\$R\$—被测缺口圆弧半径值，mm；

\$H\$—被测缺口圆弧弓高测得值，mm；

\$D\$—被测缺口圆弧弦长测得值，mm。

D.3 不确定度传播公式

$$u^2(R) = c^2(H)u^2(H) + c^2(D)u^2(D) \quad (\text{D.2})$$

式中：

$$c(H) = \frac{\partial R}{\partial H} = \frac{1}{2} - \frac{D^2}{8H^2}$$

$$c(D) = \frac{\partial R}{\partial D} = \frac{D}{4H}$$

D.4 标准不确定度评定

D.4.1 弦长测量不确定度分量 \$u(D)\$

D.4.1.1 弦长测量重复性引入的不确定度分量 \$u_1(D)\$

选取放大后半径为 12.5mm 的 V 形缺口圆弧，在重复性条件下分别连续测量 10 次，其弓高和弦长测得数据见表 D.1。

表 D.1 测量数据

测量次数	\$H\$ /mm	\$D\$ /mm	\$R\$ /mm
1	4.298	18.906	12.544
2	4.296	18.907	12.549

3	4.290	18.910	12.564
4	4.289	18.913	12.569
5	4.284	18.906	12.571
6	4.296	18.904	12.546
7	4.288	18.912	12.570
8	4.292	18.905	12.555
9	4.295	18.901	12.545
10	4.299	18.908	12.545
平均值	4.2927	18.9072	12.556
实验标准偏差 (μm)	4.9	3.7	-----

依据表 D.1, 弦长测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(D)$, 根据测量数据, 可得:

$$u_1(D) = 3.5 \mu\text{m}$$

D.4.1.2 弦长测量时, 标准器分辨力引入的不确定度分量 $u_2(D)$

万能工具显微镜分度值为 $0.2 \mu\text{m}$, 区间半宽为 $0.1 \mu\text{m}$, 按照均匀分布, 可得:

$$u_2(D) = 0.06 \mu\text{m}$$

重复性引入的标准不确定度分量和标准器分辨率引入的标准不确定分量, 取结果较大者, 则 $u_2(D)$ 舍去。

D.4.1.3 弦长测量时, 标准器误差引入的不确定度分量 $u_3(D)$

万能工具显微镜最大允许误差 MPE: $\pm (1 \mu\text{m} + 1 \times 10^{-5} L)$, L 为被测长度 (mm), 估计 L 最大取 25mm 时, 在半宽为 $1.25 \mu\text{m}$ 区间内按照均匀分布, 可得:

$$u_3(D) = \frac{1.25}{\sqrt{3}} = 0.72 \mu\text{m}$$

D.4.1.4 弦长测量时, 温度差引入的不确定度分量 $u_4(D)$

因等温不充分, 导致被测件与标准器温度差最大偏离 $t = 5^\circ\text{C}$, 被测件材料为玻璃, 其线膨胀系数 $\alpha = 10 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1}$, 被测行程 L 最大取 25mm, 按照均匀分布, 可得:

$$u_4(D) = 2.5 \times 10^4 \times 10 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1} \times 5^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 1.16 \mu\text{m}$$

则弦长测量不确定度分量

$$u(D) = \sqrt{u_1^2(D) + u_3^2(D) + u_4^2(D)} = 3.76 \mu\text{m}$$

D. 4. 2 弓高测量不确定度分量 $u(H)$

D. 4. 2. 1 弓高测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(H)$

依据表 D. 1, 弓高测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(H)$ 根据测量数据, 可得:

$$u_1(H) = 4.6 \mu\text{m}$$

D. 4. 2. 2 弓高测量时, 标准器分辨力引入的不确定度分量 $u_2(H)$

万能工具显微镜分度值为 $0.2 \mu\text{m}$, 区间半宽为 $0.1 \mu\text{m}$, 按照均匀分布, 可得:

$$u_2(H) = 0.06 \mu\text{m}$$

重复性引入的标准不确定度分量和标准器分辨率引入的标准不确定度分量, 取结果较大者, 则 $u_2(H)$ 舍去。

D. 4. 2. 3 弓高测量时, 标准器误差引入的不确定度分量 $u_3(H)$

万能工具显微镜示值 MPEV: $1 \mu\text{m} + 10 \times 10^{-6} L$; L 为被测长度 (mm), 估计 L 最大取 12.5mm 时, 在半宽为 $2.0 \mu\text{m}$ 区间内按照均匀分布, 可得:

$$u_3(H) = \frac{1.125}{\sqrt{3}} = 0.65 \mu\text{m}$$

D. 4. 2. 4 弓高测量时, 温度差引入的不确定度分量 $u_4(H)$

因等温不充分, 导致被测件与标准器温度差最大偏离 $t = 5^\circ\text{C}$, 被测件材料为玻璃, 其线膨胀系数 $\alpha = 10 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1}$, 被测行程 L 最大取 12.5mm , 按照均匀分布, 可得:

$$u_4(H) = 1.25 \times 10^{-4} \times 10 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1} \times 5 ^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.58 \mu\text{m}$$

则弓高测量不确定度分量

$$u(H) = \sqrt{u_1^2(H) + u_3^2(H) + u_4^2(H)} = 4.68 \mu\text{m}$$

D. 5 标准不确定度一览表

标准比对样板圆弧半径的测量不确定度来源与数值汇总于表 D. 2。

表 D.2 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $u(x)$	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i u(x)$
$u(D)$	弦长测量	$3.76\mu\text{m}$	1.10	$4.14\mu\text{m}$
$u_1(D)$	弦长测量重复性	$3.5\mu\text{m}$		
$u_3(D)$	弦长测量时, 标准器误差	$0.72\mu\text{m}$		
$u_4(D)$	弦长测量时, 温度差	$1.16\mu\text{m}$		
$u(H)$	弓高测量	$4.68\mu\text{m}$	-1.92	$8.99\mu\text{m}$
$u_1(H)$	弓高测量重复性	$4.6\mu\text{m}$		
$u_3(H)$	弓高测量时, 标准器误差	$0.65\mu\text{m}$		
$u_4(H)$	弓高测量时, 温度差	$0.58\mu\text{m}$		

D.6 合成标准不确定度

$$u_c(R) = \sqrt{c^2(H)u^2(H) + c^2(D)u^2(D)} = 9.9\mu\text{m}$$

D.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则

$$U = k \times u_c(R) = 19.8\mu\text{m} \approx 0.02\text{mm}$$

附录 E

冲击试样缺口投影仪放大倍数误差测量结果不确定度评定

E.1 测量方法

将标准玻璃线纹尺置于投影仪的工作台中间, 调整工作台位置使标准玻璃线纹尺的刻线清晰的投影于投影屏上, 然后用工作玻璃尺进行比较, 观察工作玻璃尺的刻线与放大后的标准玻璃线纹尺的相应刻线重合度, 不重合时, 读出其差值 ΔL , 差值 ΔL 与工作玻璃尺读得的数值 L 之比即投影仪放大倍数误差 β 。

E.2 测量模型

$$\beta = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% \quad (\text{E. 1})$$

式中: β —仪器物镜放大倍数误差;

ΔL —工作玻璃尺与标准玻璃尺差值, mm;

L —标准玻璃尺实际值, mm。

E.3 输入量的标准不确定度评定

E.3.1 标准玻璃线纹尺示值误差引入的不确定度分量 $u_{\text{rel}}(L)$

二等标准玻璃线纹尺 $U=0.3\mu\text{m}$, ($k=3$)所用刻线间距为 2mm , 则

$$u_{\text{rel}}(L) = \frac{0.3 \times 50}{2000 \times 3} = 0.0025 \text{ mm}$$

E.4 ΔL 读数误差引入的不确定度分量 $u_{\text{rel}}(\Delta L)$

ΔL 读数误差主要有工作用玻璃刻度尺误差和工作用玻璃刻度尺分辨力组成。

E.4.1 工作用玻璃刻度尺误差引入的不确定度分量 $u_{\text{rel}}(\Delta L_1)$

工作用玻璃刻度尺 MPE: $\pm 0.03\text{mm}$, 所用范围为 100mm , 服从均匀分布,

$$u_{\text{rel}}(\Delta L_1) = \frac{0.03}{100 \times \sqrt{3}} = 1.73 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

E.4.2 工作用玻璃刻度尺分辨力引入的不确定度分量 $u_{\text{rel}}(\Delta L_2)$

工作用玻璃刻度尺分辨力为 0.05mm , 对应刻度范围 100mm , 均匀分布, 则:

$$u_{rel}(\Delta L_2) = \frac{0.05}{100 \times \sqrt{3}} = 0.00029 \text{ mm}$$

E.4.3 两项合并

$$u_{rel}(\Delta L) = \sqrt{u_{rel}^2(\Delta L_1) + u_{rel}^2(\Delta L_2)} = 0.00034 \text{ mm}$$

E.5 合成标准不确定度

E.5.1 不确定度传播公式和灵敏系数

考虑各分量相互独立，依据不确定度传播律：由公式 (E.2) 得：

$$u_{crel}^2(\beta) = c_1^2 \cdot u_{rel}^2(\Delta L) + c_2^2 u_{rel}^2(L) \quad (\text{E.2})$$

$$\text{式中： } c_1 = \frac{\partial \delta_\beta}{\partial \Delta L} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta_\beta}{\partial L} = -1$$

E.5.2 标准不确定度汇总表

表 F.1 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度 u_i (mm)	c_i (mm ⁻¹)	$ c_i u_i$
$u_{rel}(L)$	标准玻璃刻度尺示值误差	0.0025	-1	2.5×10^{-3}
$u_{rel}(\Delta L)$	ΔL 读数误差	0.00034	1	3.4×10^{-4}
$u_{rel}(\Delta L_1)$	工作用玻璃刻度尺示值误差	0.000173	—	—
$u_{rel}(\Delta L_2)$	工作用玻璃刻度尺分辨率	0.00029		

E.5.3 合成标准不确定度计算

$u_{rel}(L)$ 、 $u_{rel}(\Delta L)$ 彼此独立，所以，合成标准不确定度可按下式得到：

$$u_{crel} = \sqrt{c^2(L) u_{rel}^2(L) + c^2(\Delta L) u_{rel}^2(\Delta L)} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

E.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则 $U_{rel} = k u_{crel} = 2 \times 2.5 \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-3} \approx 0.5\%$

E.7 不确定度报告

冲击试样缺口投影仪放大倍数误差测量结果的不确定度为:

$$U_{rel} = 0.5\% \quad k = 2$$
