



河北省地方计量技术规范

JJF(冀)194-2021

冲击试样缺口投影仪校准规范

Calibration Specification for Projectors for Detecting the Notch of Test Sample

2021-09-16 发布

2021-12-01 实施

河北省市场监督管理局 发布

冲击试样缺口投影仪 校准规范

JJF (冀) 194-2021

Calibration Specification for Projectors
for Detecting the Notch of Test Sample

归口单位：河北省市场监督管理局

起草单位：沧州市计量测试所

邯郸市计量测试所

本规范委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

王玲玲（沧州市计量测试所）

李振杰（邯郸市计量测试所）

赵国信（沧州市计量测试所）

温战龙（邯郸市计量测试所）

邢增胜（河北天恒计量检测有限公司）

目 录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 概述.....	1
4 计量特性.....	1
4.1 投影屏样板示值误差	1
4.2 仪器放大倍数误差	2
5 校准条件.....	2
5.1 环境条件.....	2
5.2 校准项目及所用标准器	2
6 校准方法.....	2
6.1 投影屏样板示值误差	2
6.2 仪器放大倍数误差	4
7 校准结果的表达.....	5
8 复校时间间隔.....	5
附录 A 标准样板结构示意图.....	6
附录 B 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.....	8
附录 C 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.....	11
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.....	14
附录 E 投影屏样板示值误差 (轮廓法) 测量结果的不确定度评定.....	17

引 言

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》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成本校准规范制定工作的基础性系列规范。

本校准规范的制定工作参考了 GB/T 18658-2018《摆锤式冲击试验机间接检验用夏比 V 型缺口标准试样》、GB/T 229-2020《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》的相关内容。

本校准规范为首次制定。

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

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》

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

冲击试样缺口投影仪是利用光学投影法将被测的冲击试样 V 型或 U 型缺口与投影屏样板进行比对，确定被检测的冲击试样缺口是否符合标准要求的专用光学仪器。广泛应用于冶金、石油、机械等领域。其结构主要由投影屏（投影屏样板）、光学系统和机械系统等组成，如图 1 所示。

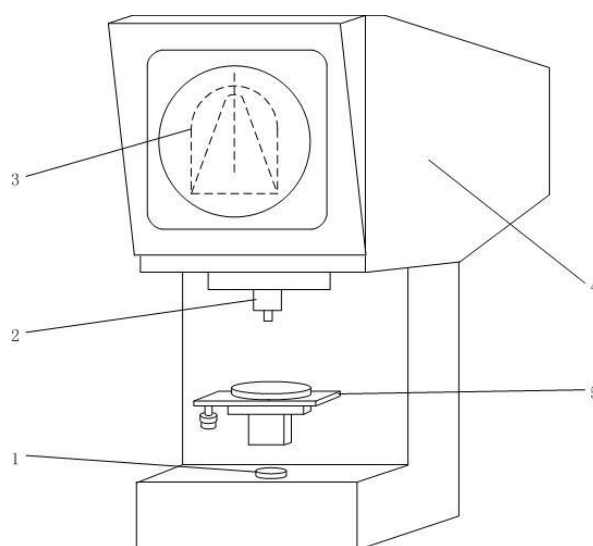


图 1 冲击试样缺口投影仪结构示意图

1—光源；2—物镜；3—投影屏；4—外壳；5—升降工作台

4 计量特性

4.1 投影屏样板示值误差

投影屏样板如图 2 所示

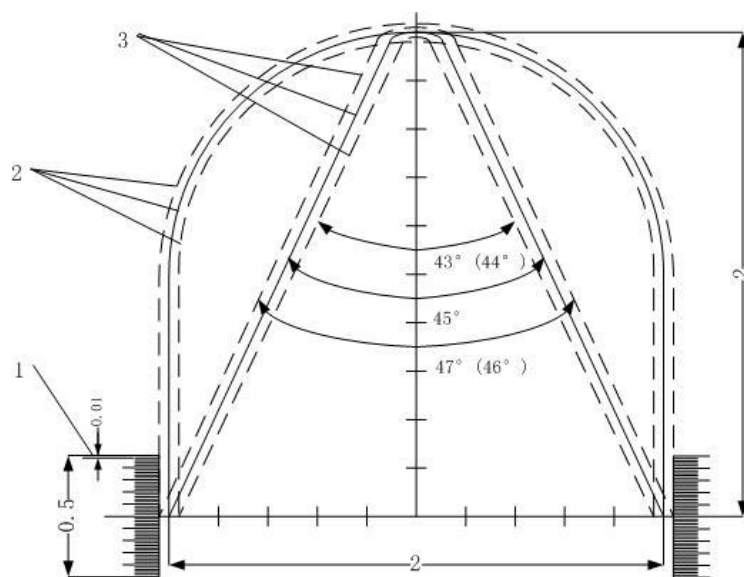


图2 投影屏样板示意图

1—刻线尺； 2—U型缺口； 3—V型缺口

4.1.1 V型缺口夹角

4.1.2 V型缺口圆弧半径

4.1.3 U型缺口圆弧半径

4.1.4 缺口高度

4.1.5 刻线尺示值误差

4.2 仪器放大倍数误差

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 校准项目及所用标准器

冲击试样缺口投影仪校准项目及校准用标准器见表1。

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，无影响测量准确度的缺陷。

6.1 投影屏样板示值误差

6.1.1 几何法

表 1 校准项目及校准用标准器

序号	校准项目	校准用标准器
1	投影屏样板示值误差	万能工具显微镜 MPE: $\pm (1+L/100) \mu\text{m}$, 角度 MPE: $1'$, 或标准样板: 夹角 MPE: $\pm 3'$, 圆弧半径 MPE: $\pm (0.002 \sim 0.004) \text{mm}$ 。
2	仪器放大倍数误差	标准玻璃线纹尺, MPE: $\pm 2 \mu\text{m}$, 工作玻璃刻线尺, MPE: $\pm 0.03 \text{mm}$
注: ①校准用标准器也可以采用满足不确定度要求的其它仪器。 ②标准样板见附录 A。		

6.1.1.1 V 型缺口夹角

将投影屏样板置于万能工具显微镜的工作台上, 在目镜视场中观察到清晰的 V 型缺口轮廓, 选定万能工具显微镜米字刻线的一边对齐 V 型缺口夹角的一边, 在读数装置中读出角度值 α_1 , 转动手轮使选定的米字刻线一边与夹角的另外一边对齐读出角度值 α_2 , α_1 与 α_2 的差值的绝对值即为 V 型缺口夹角的校准结果。

6.1.1.2 圆弧半径

如图 3 所示, 使用万能工具显微镜测量 V 型或 U 型圆弧半径时, 以弓高弦长法为例。调整至视场中能够清晰地观察到 V 型、U 型缺口的轮廓, 对弦长 l 、弓高 h (如图 3a、3b) 进行测量, 将测量得到的数据代入公式 (1) 得到 V 型、U 型缺口圆弧半径。

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

式中: R —圆弧半径, mm;

l —圆弧的弦长, mm;

h —圆弧的弓高, mm。

6.1.1.3 缺口高度

调整至视场中能够清晰地观察到缺口轮廓, 调整缺口高度方向与导轨移动方向平行, 用米字线竖线对准缺口顶部, 在读数装置上读数, 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。

5.1.1.4 刻线尺示值误差

调整至目镜视场中能够清晰地观察到投影屏样板上的刻线, 调整刻线尺与导轨移动方向平行, 米字线对准刻线尺的中间长刻线, 得读数 l_0 。以 5 个分度为间隔, 分别向上、向下测量至刻线尺的两端, 在工具显微镜上读出各校准点的值 l_i , 各校准点的

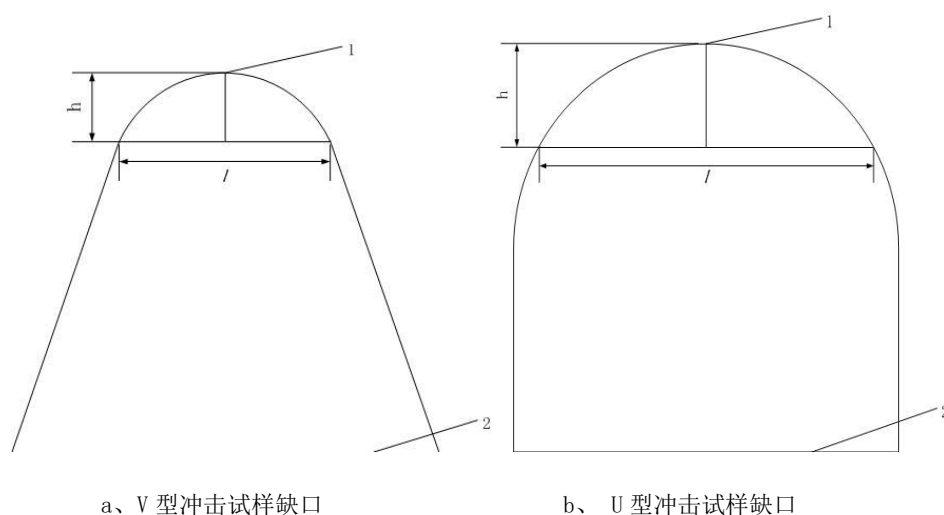


图3 冲击试样缺口

1—顶部；2—底部

示值误差 δ_i 按公式 (2) 计算:

$$\delta_i = a_i - (l_i - l_0) \quad (2)$$

式中: δ_i — 第 i 个刻线尺示值误差, mm;

l_i — 第 i 个校准点的读数值, mm;

a_i — 第 i 个校准点的标称值, mm;

l_0 — 初始读数值, mm。

用相同方法校准另一侧刻线尺示值。

6.1.2 轮廓法

将标准样板置于投影仪工作台上, 调整焦距, 使其成像清晰。通过调整使标准样板上的底边横线和中间竖线与投影屏面板上的底边横线和中间竖线重合, 即可进行读数。圆弧半径的测量在圆弧顶端处读数。V 型夹角的测量需要对其两条边分别读数, 以读数之和作为测量结果。V 型夹角测量结果按公式 (3) 计算:

$$\alpha = \alpha_0 + (\Delta\alpha_{\text{左}} + \Delta\alpha_{\text{右}}) \quad (3)$$

式中: α — V 型夹角的校准结果;

α_0 — 标准样板 V 型夹角的角数值;

$\Delta\alpha_{\text{左}}$ 、 $\Delta\alpha_{\text{右}}$ — V 型夹角左、右两边的读数偏差 (内侧取负值, 外侧取正值)。

6.2 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的投影于投影屏上，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重合度，不重合时，读出其差值，投影仪放大倍数误差按公式（4）计算：

$$\Delta\beta = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% \quad (4)$$

式中： $\Delta\beta$ —仪器放大倍数误差；

ΔL —工作玻璃尺读得的数值与标准玻璃尺所用刻线间隔投影的差值，mm；

L —标准玻璃尺所用刻线间隔在投影屏上的实际值，mm。

仪器放大倍数误差的校准分别在水平和垂直方向进行，取绝对值较大值做为校准结果。

7 校准结果的表达

校准后的冲击试样缺口投影仪，应出具校准证书。校准证书内容应符合 JJF 1071 《国家计量校准规范编写规则》中 5.12 的要求。

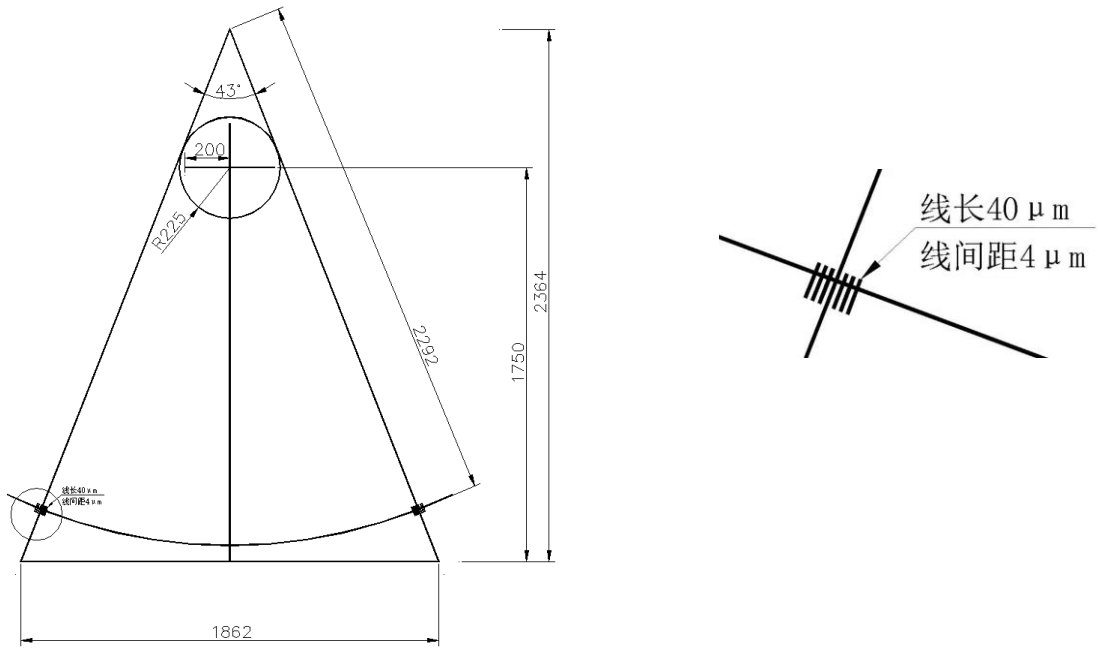
校准结果的不确定度评定示例见附录 B、附录 C、附录 D、附录 E。

8 复校时间间隔

复校时间间隔可根据仪器使用情况自主决定。建议不超过 12 个月。

附录 A

标准样板结构示意图



注：半径 2292 μm 的圆弧上，弧长 4 μm 对应角度为 0.1°，即 6'。

图 A.1 V型夹角 43° 样板

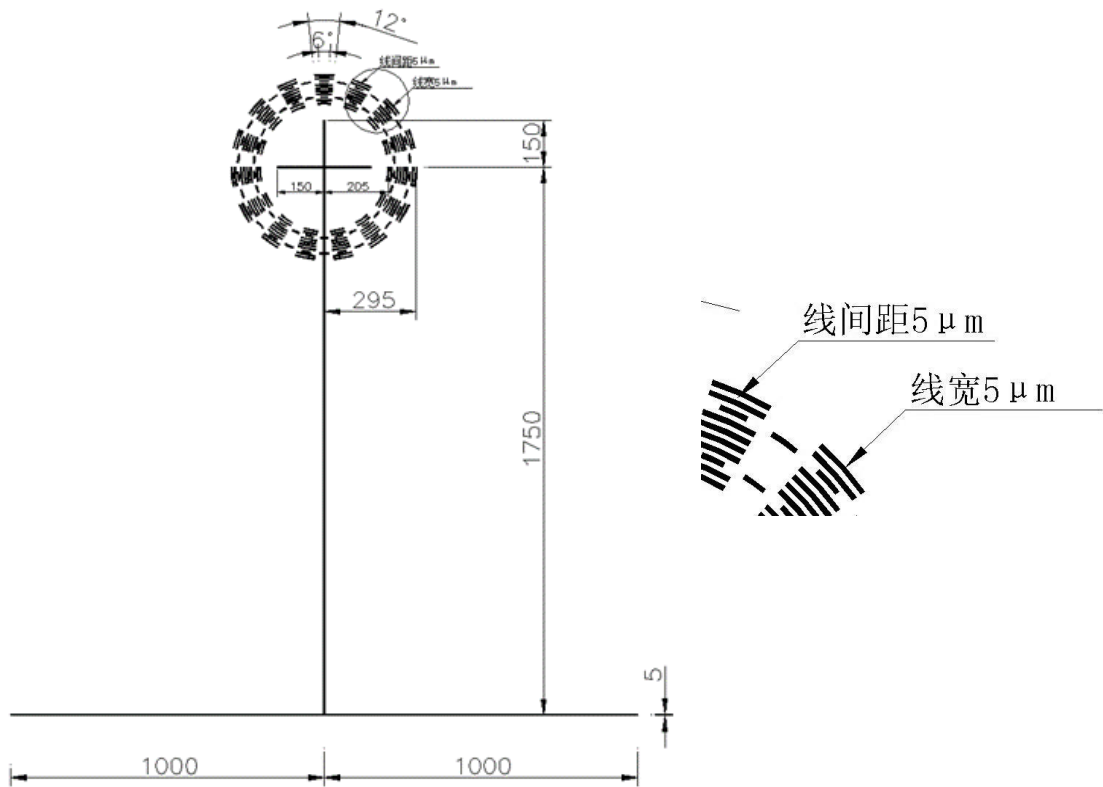


图 A.2 V型缺口圆弧半径样板

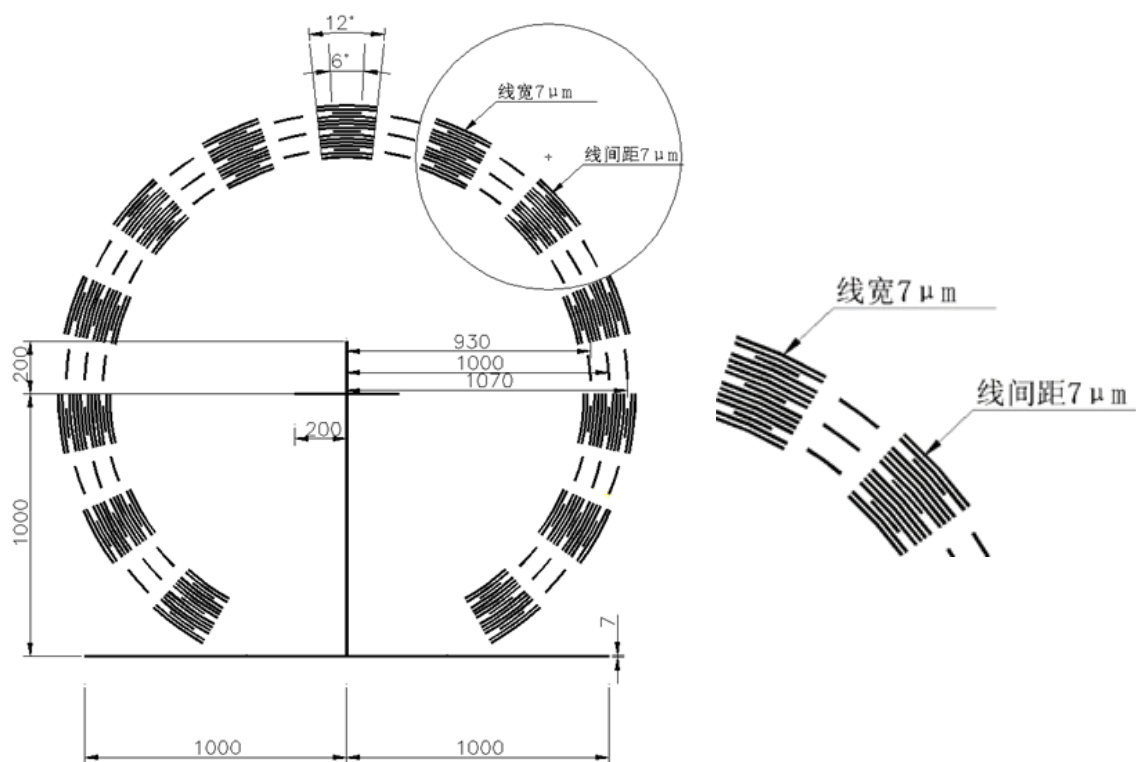


图 A.3 U 型缺口圆弧半径样板

附录 B

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

B.1 概述

B.1.1 评定依据：本校准规范。

B.1.2 环境条件：温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 80\%$ 。

B.1.3 测量标准：万能工具显微镜，测角目镜的最大允许误差不大于 $1'$

B.1.4 被测对象：冲击试样缺口投影仪

B.1.5 测量过程：以 45° 的 V 型缺口夹角为例。将投影屏样板置于万能工具显微镜的工作台上，在目镜视场中观察到清晰的 V 型缺口轮廓，选定万能工具显微镜米字刻线的一边对齐 V 型缺口夹角的一边，在读数装置中读出角度值，使选定的米字刻线一边与夹角的另外一边对齐读出角度值两次读数的差值的绝对值即为 V 型缺口夹角的校准结果。

B.2 测量模型

$$a = A$$

式中： a —V 型缺口夹角示值；

A —万能工具显微镜测得的夹角值；

B.3 输入量的标准不确定度评定

标准不确定度 u_A 主要来源于重复性、读数误差和万能工具显微镜的示值误差。

B.3.1 重复性引入的标准不确定度分量 u_{A1}

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：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.65'$$

$$u_{A1} = 0.65'$$

B.3.2 读数误差引入的标准不确定度分量 u_{A2}

读数误差包含对线误差和估读误差。

B. 3. 2. 1 对线误差引入的标准不确定度 u_{A21}

根据经验，对线误差为 $\pm 0.5'$ ，区间半宽为 $0.5'$ ，按均匀分布考虑， $k = \sqrt{3}$ ，因此由对线误差引入的标准不确定度为：

$$u_{A21} = 0.5 / \sqrt{3} = 0.29'$$

B. 3. 2. 2 估读误差引入的标准不确定度 u_{A22}

工具显微镜的测角分度值为 $1'$ ，估读误差最大不超过 $0.5'$ ，均匀分布，则

$$u_{A22} = 0.5 \div \sqrt{3} = 0.29'$$

这两个标准不确定度分量之间相互独立，角度值是两次角度测量结果的差值，因此由读数误差引入的标准不确定度为：

$$u_{A2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{0.29^2 + 0.29^2} = 0.58'$$

B. 3. 3 万能工具显微镜示值误差引入的标准不确定度分量 u_{A3}

万能工具显微镜角度最大允许误差不大于 $1'$ ，不确定度区间半宽为 $0.5'$ ，均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u_{A3} = 0.5 \div \sqrt{3} = 0.29'$$

B. 3. 4. 由于重复性受读数误差的影响，所以取 u_{A1} 和 u_{A2} 两者中较大的影响量，即重复性引入的标准不确定度分量 u_{A1} ，则

$$u_A = \sqrt{u_{A1}^2 + u_{A3}^2} = \sqrt{0.65^2 + 0.29^2} = 0.71'$$

B. 4 合成标准不确定度

B. 4. 1 灵敏系数

$$c = 1$$

B. 4. 2 标准不确定度汇总表

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_A	测量重复性	0.65'	1	0.71
	万能工具显微镜示值误差	0.29'		

B.4.3 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{u_A^2} = 0.71'$$

B.5 扩展不确定度

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.71 \approx 2' \quad k=2$$

B.6 不确定度报告

冲击试样缺口投影仪 V 型缺口夹角校准结果的不确定度为:

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

附录 C

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

C.1 概述

C.1.1 评定依据：本校准规范。

C.1.2 环境条件：温度 $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 80\%$ 。

C.1.3 测量标准： $(0 \sim 2)$ mm 标准玻璃刻线尺，MPE： $\pm 2 \mu\text{m}$ ； $(0 \sim 105)$ mm 工作玻璃刻线尺，MPE： $\pm 0.03 \text{mm}$ 。

C.1.4 被测对象：冲击试样缺口投影仪。

C.1.5 测量过程：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的投影于投影屏上，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重合度，不重合时，读出其差值，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 $\Delta\beta$ 。

C.2 测量模型

C.2.1 测量模型
$$\Delta\beta = \frac{\Delta L}{L} \times 100\%$$

式中： $\Delta\beta$ —仪器物镜放大倍数误差；

ΔL —标准玻璃尺所用刻线间隔的投影与工作玻璃尺相应长度的差值，mm；

L —标准玻璃尺所用刻线间隔在投影屏上的实际值，mm。

C.2.2. 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta_{\Delta\beta}}{\partial \Delta L} = \frac{1}{L} \quad c_2 = \frac{\partial \delta_{\Delta\beta}}{\partial L} = -\frac{\Delta L}{L^2}$$

C.3 输入量的标准不确定度评定

C.3.1 输入量 ΔL 引入的标准不确定度 u_1 的评定

u_1 包括重复性、估读以及标准玻璃刻线尺和工作用玻璃刻线尺四个因素引入的不确定度。

C.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_{11}

在重复性测量条件下,用0.1mm分度的玻璃尺对0.01分度的标准玻璃刻线尺2mm间隔独立测量10次,得到测量列(mm):100.52、100.55、100.60、100.59、100.50、100.58、100.55、100.55、100.52、100.60,实验标准差为: $s=0.039\text{mm}$,即

$$u_{11}=0.039\text{mm}$$

C.3.1.2 估读引入的标准不确定度 u_{12}

标准玻璃刻线尺刻线间隔2mm,经50倍放大后投射到影屏上,用工作玻璃刻线尺进行比较并读数,因此该不确定度分量包括“零”端的对线误差与读数端的估读误差两个因素。工作玻璃刻线尺的分度值为0.1mm,所以估读误差最大不会超过 $\pm 0.05\text{mm}$,区间半宽为0.05mm,按均匀分布考虑, $k=\sqrt{3}$,则:

$$u_{12}=0.05/\sqrt{3}=0.029\text{mm}$$

C.3.1.3 标准玻璃刻度尺引入的标准不确定度 u_{13}

标准玻璃刻线尺MPE: $\pm 2\mu\text{m}$,不确定度区间半宽为 $2\mu\text{m}$,均匀分布, $k=\sqrt{3}$,经50倍放大后,其允差为 $100\mu\text{m}$,则:

$$u_{13}=\frac{100}{\sqrt{3}}=57.7\mu\text{m}=0.0577\text{mm}$$

C.3.1.4 工作用玻璃刻度尺引入的标准不确定度 u_{14}

工作用玻璃刻度尺最大允差为0.03mm,均匀分布, $k=\sqrt{3}$,则:

$$u_{14}=0.03/\sqrt{3}=0.0174\text{mm}$$

C.3.1.5 由于重复性观测值包含估读误差的影响,为避免重复计算,取两者中较大的影响量,因此输入量 ΔL 引入的标准不确定度

$$u_1=\sqrt{0.039^2+0.0577^2+0.0174^2}=0.07\text{mm}$$

C.3.2 输入量L引入的标准不确定度 u_2 的评定

L是标准玻璃刻线尺所用两刻线的实际尺寸,该尺寸是经物镜放大后投射到影屏上工作玻璃刻线尺读得的,因此该不确定度主要是由工作玻璃刻线尺引入的,所以该不确定度分量同3.1.4 即

$$u_2 = 0.0174\text{mm}$$

C.4 合成标准不确定度

C.4.1 灵敏系数的计算

以标准玻璃刻线尺刻线间隔 2mm 经投影仪的 50 倍物镜放大后投射到影屏上，用工作玻璃刻线尺进行比较并读得数据 100.55mm 为例， $L=100.55\text{mm}$ 、 $\Delta L=100-100.55=-0.55\text{mm}$ ，则

$$c_1 = \frac{1}{L} = 0.0099\text{mm}^{-1} \quad c_2 = -\frac{\Delta L}{L^2} = -0.000054\text{mm}^{-1}$$

C.4.2 标准不确定度汇总表

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_1	重复性、标准玻璃刻度尺、工作玻璃刻度尺	0.07	0.0099	0.00069
u_2	工作玻璃刻度尺	0.0174	-0.000054	0.0000009

C.4.3 合成标准不确定度计算

u_1 、 u_2 彼此独立，所以，合成标准不确定度可按下式得到：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = 0.00069$$

C.5 扩展不确定度

$$U = k u_c = 2 \times 0.00069 = 0.00138 \approx 0.2\% \quad k=2$$

C.6 不确定度报告

冲击试样投影仪放大倍数误差测量不确定度为：

$$U_{\text{rel}}=0.2\% \quad k=2$$

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

D.1 概述

D.1.1 评定依据：本校准规范。

D.1.2 环境条件：温度 $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 80\%$ 。

D.1.3 测量标准：万能工具显微镜 MPE: $\pm (1+L/100) \mu\text{m}$ ，式中 L 单位为 mm 。

D.1.4 被测对象：冲击试样缺口投影仪

D.1.5 测量过程：以测量放大后为 12.5mm 的 V 型圆弧半径为例。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，然后对弦长 l 和弓高 h 进行测量，将测量得到的数值带入计算公式得到 V 型缺口圆弧半径 R 。

D.2 测量模型

$$R = \frac{l^2}{8h} + \frac{h}{2}$$

式中： R —圆弧半径， mm ；

l —圆弧的弦长， mm ；

h —圆弧的弓高， mm 。

D.3 输入量的标准不确定度评定

输入量 l 和 h 的不确定度来源相同，主要由测量重复性或估读误差以及万能工具显微镜示值误差组成。

D.3.1 输入量 l 引入的标准不确定度分量 u_l D.3.1.1 重复性引入的标准不确定度分量 u_{l1}

在重复性测量条件下，对 12.5 mm 的 V 型圆弧半径的一段弦长独立测量 10 次，利用贝塞尔公式计算得到单次测量的实验标准差为 $s = 3.78 \mu\text{m}$ ，即

$$u_{l1} = 3.78 \mu\text{m}$$

D.3.1.2 估读误差引入的标准不确定度分量 u_{l2}

万能工具显微镜分度值为 $1 \mu\text{m}$ ，估读误差引入的标准不确定度区间半宽为 $0.5 \mu\text{m}$ ，因测量结果是两次读数之差，则

$$u_{12} = \sqrt{2} \cdot \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.41 \mu\text{m}$$

D. 3. 1. 3 万能工具显微镜示值误差引入的标准不确定度分量 u_{13}

万能工具显微镜最大允许误差为 $\pm(1+L/100)\mu\text{m}$, $L=18.697\text{ mm}$, 所以万能工具显微镜 MPE: $\pm 1.187\mu\text{m}$, 不确定度区间半宽 $1.187\mu\text{m}$, 均匀分布, 则

$$u_{13} = 1.187 / \sqrt{3} = 0.69 \mu\text{m}$$

D. 3. 1. 4 标准不确定度 u_l 的计算

由于重复性观测值受人员读数误差的影响, 为避免重复计算, 取两者中较大的影响量, 因此取 u_{11} , 舍掉 u_{12} , 则标准不确定度

$$u_l = \sqrt{u_{11}^2 + u_{13}^2} = 3.84 \mu\text{m}$$

D. 3. 2 输入量 h 引入的标准不确定度分量 u_h

由于输入量 l 和 h 的不确定度来源相同, 所以

$$u_h = u_l = 3.84 \mu\text{m}$$

D. 4 计算合成标准不确定度

D. 4. 1 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial R}{\partial l} = \frac{l}{4h} \quad c_2 = \frac{\partial R}{\partial h} = -\frac{l^2}{8h^2} + \frac{1}{2}$$

D. 4. 2 标准不确定度汇总表

将 $l=18.697\text{ mm}$ 、 $h=4.218\text{ mm}$ 代入 c_1 和 c_2 , 计算结果与标准不确定度列于下表:

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 u_i$
u_h	测量重复性、万能工具显微镜示值误差	$3.84 \mu\text{m}$	1.11	$4.26 \mu\text{m}$
u_l	测量重复性、万能工具显微镜示值误差	$3.84 \mu\text{m}$	-1.96	$7.53 \mu\text{m}$

D. 4. 3 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{u_l^2 + u_h^2} = 8.65 \mu\text{m}$$

D.5 扩展不确定度

$$U = ku_c = 2 \times 8.65 = 17.3 \text{ } \mu\text{m} \quad k=2$$

D.6 不确定度报告

冲击试样投影仪圆弧半径校准结果的不确定度为： $U = 0.02 \text{ mm} \quad k=2$

附录 E

投影屏样板示值误差（轮廓法）测量结果的不确定度评定

E.1 概述：使用标准样板校准冲击试样缺口投影仪，将标准样板置于投影仪工作台上，调整好位置，分别对投影屏上的 V 型缺口夹角、V 型缺口圆弧半径、U 型缺口圆弧半径、缺口高度，利用放大镜进行观察比较并读出其测量结果，所以示值误差校准结果的不确定度，包含 V 型缺口夹角、V 型缺口圆弧半径、U 型缺口圆弧半径的校准结果不确定度。

E.1.1 评定依据：本校准规范。

E.1.2 环境条件：温度 $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 80\%$ 。

E.1.3 测量标准：标准比较样板，其 V 型缺口夹角 MPE： $\pm 3'$ 、V 型圆弧半径 MPE： $\pm 0.002 \text{ mm}$ 、U 型圆弧半径 MPE： $\pm 0.004 \text{ mm}$ 。

E.1.4 被测对象：冲击试样缺口投影仪

E.1.5 测量过程：将标准样板置于投影仪工作台上，调整焦距，使其成像清晰。通过调整使标准样板上的底边横线和中间竖线与投影屏面板上的底边横线和中间竖线重合，即可进行读数。

E.2 测量模型

$$\Delta = x - x_s$$

式中： Δ —投影屏样板示值误差；

x —投影仪标称值；

x_s —标准样板读数值。

E.3 输入量的标准不确定度评定

输入量 x 引入的标准不确定度 u_x 主要来源于测量重复性的标准不确定度 u_{x1} 或估读误差的标准不确定度 u_{x2} ，输入量 x_s 引入的标准不确定度 u_{x_s} 主要来源于标准样板的示值误差，现分别分析 V 型缺口夹角、V 型缺口圆弧半径及 U 型缺口圆弧半径的校准结果不确定度。

E.3.1 输入量 x 的标准不确定度 u_x 的评定

E. 3. 1. 1 测量重复性引入的标准不确定度 u_{x1}

以测量标称值为 45° 的 V 型缺口夹角为例, 对其独立测量 10 次, 得到测量列: $45^\circ 03'$ 、 $45^\circ 03'$ 、 $45^\circ 02'$ 、 $45^\circ 04'$ 、 $45^\circ 03'$ 、 $45^\circ 03'$ 、 $45^\circ 03'$ 、 $45^\circ 02'$ 、 $45^\circ 04'$ 、 $45^\circ 04'$ 。利用贝塞尔公式计算得 $s=0.0074^\circ$ 约 $0.44'$, 即

$$u_{x1}=0.44'$$

E. 3. 1. 2 估读误差引入的标准不确定度 u_{x2}

标准样板 V 型缺口夹角的分度值为 $d=6'$, 若按三分之一估读, 则估读误差引入的标准不确定度

$$u_{x2} = \frac{2'}{\sqrt{3}} = 1.155'$$

E. 3. 1. 3 由于重复性观测值包含估读误差的影响, 为避免重复计算, 取两者中较大的影响量, 因此输入量 x 的标准不确定度

$$u_x = 1.155'$$

E. 3. 2 输入量 x_s 引入的标准不确定度 u_{x_s} 的评定

标准样板 V 型缺口夹角 MPE: $\pm 3'$ 标准不确定度区间半宽 $3'$, 均匀分布 $k = \sqrt{3}$

$$u_{x_s} = 3'/\sqrt{3} = 1.732'$$

E. 4 合成标准不确定度评定

E. 4. 1 灵敏系数

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

E. 4. 2 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i u_i$
u_x	估读误差	1.155'	1	1.155'
u_{x_s}	标准样板的示值误差	1.732'	-1	1.732'

E. 4. 3 合并标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{c_1^2 \cdot u_x^2 + c_2^2 \cdot u_{x_s}^2} = 2.08'$$

E.5 扩展不确定度评定

$$U = ku_c = 2 \times 2.08 \approx 4' \quad k=2$$

E.6 投影屏样板示值误差校准结果的不确定度报告

用相同的评定方法，分别分析出 V 型缺口圆弧半径和 U 型缺口圆弧半径的不确定度，现将各不确定度及其分量列于下表：

参数名称	u_i		u_c	$U(k=2)$
	u_x	u_{x_s}		
V 型缺口夹角	1.155'	1.732'	2.08'	4'
V 型缺口圆弧半径/ μm	0.577	1.15	1.29	3
U 型缺口圆弧半径/ μm	1.155	2.31	2.58	5

投影屏样板示值误差测量结果的扩展不确定度见下表：

参数名称	扩展不确定度 $U(k=2)$
V 型缺口夹角	4'
V 型缺口圆弧半径	0.003 mm
U 型缺口圆弧半径	0.005 mm