



天津市地方计量技术规范

JJF (津) 5007-2025

回弹仪检定器校准规范

Calibration Specification for Rebound Test Hammer Calibrators

2025-09-29 发布

2025-11-01 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

回弹仪检定器校准规范

Calibration Specification for Rebound Test

Hammer Calibrators

JJF(津) 5007-2025

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

北京市计量检测科学研究院

山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院）

内蒙古自治区计量测试研究院

河北省计量监督检测研究院

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

高 坤 （天津市计量监督检测科学研究院）

骆 昕 (北京市计量检测科学研究院)

韩 剑 （山西省检验检测中心（山西省标准计量
技术研究院））

李慧祥 (内蒙古自治区计量测试研究院)

周立冲 (河北省计量监督检测研究院)

参加起草人：

郑中民 (天津市计量监督检测科学研究院)

贾启坤 (天津市计量监督检测科学研究院)

王 晶 (天津市计量监督检测科学研究院)

目 录

引 言	11
1 范围	1
2 引用文件	1
3 概述	1
4 计量性能	3
5 校准条件	5
5.1 环境条件	5
5.2 测量标准及其他设备	5
6 校准项目和校准方法	5
6.1 校准前的准备	5
6.2 回弹仪检定装置标尺盖板刻线尺寸	6
6.3 指针摩擦力	6
6.4 钢砧计量特性	7
6.5 回弹仪拉簧检定仪砝码质量与刻度尺	7
6.6 数字式回弹仪检定装置的测力装置与位移测量装置	8
6.7 测力计计量特性	9
7 校准结果表达	9
8 复校时间间隔	10
附录 A	11
附录 B	21
附录 C	24

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》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范主要参考了 JJG 817-2011《回弹仪检定规程》和 GB/T 9138-2015《回弹仪》的技术要求编制而成。

本规范为华北大区共建计量技术规范，本规范为首次发布。

回弹仪检定器校准规范

1 范围

本规范适用于回弹仪检定器的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 455 工作测力仪检定规程

JJG 817 回弹仪检定规程

GB/T 9138 回弹仪

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

回弹仪检定器是一种用于检测回弹仪主要计量性能的专用装置。回弹仪检定器分为数字式回弹仪检定器和机械式回弹仪检定器。回弹仪检定器主要由回弹仪检定装置、回弹仪拉簧检测仪、钢砧以及测力计等组成，其结构如图 1、图 2、图 3 所示。

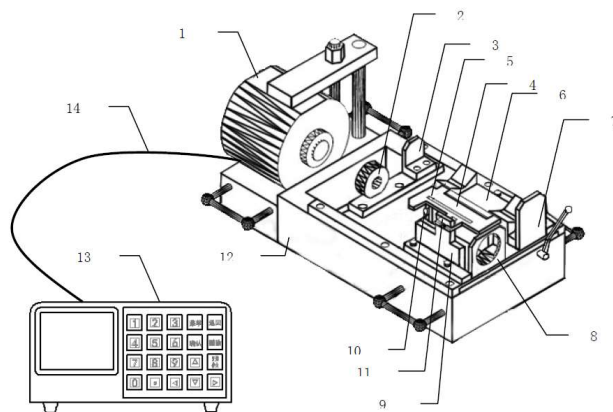


图 1 数字式回弹仪检定装置结构图

1 钢砧； 2 测力装置； 3 前定位板； 4 盖板； 5 指针； 6 机壳定位槽； 7 后定位板； 8 尾盖支架；
9 机芯定位槽； 10 位移测量装置； 11 压紧螺钉； 12 底座； 13 数字显示控制仪表； 14 数据连接线

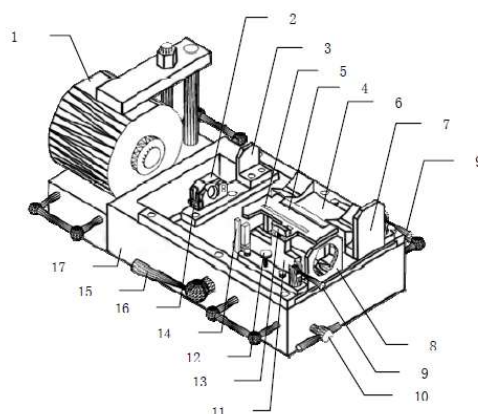


图2 机械式回弹仪检定装置结构图

1 钢砧； 2 定位环； 3 前定位板； 4 盖板； 5 指针； 6 机壳定位槽； 7 后定位板； 8 尾盖支架； 9 手柄II；
10 手柄I； 11 机芯定位槽； 12 定位按钮； 13 压紧螺钉； 14 锤夹； 15 弹击手柄； 16 锁紧按钮； 17 底座

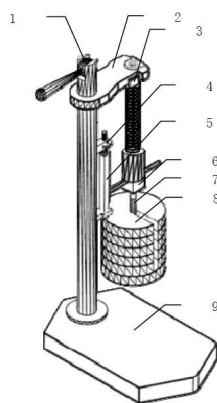


图3 回弹仪拉簧检定仪结构图

1 压紧螺母； 2 定位板； 3 定位按钮； 4 调零螺母；
5 专用刻度尺； 6 横架游标； 7 砝码钩； 8 砝码； 9 底座

回弹仪是用于检测混凝土、砂浆、砖抗压强度的仪器，分为重型、中型和轻型三种类型。其中重型回弹仪包括 H980、H550、H450 规格，中型回弹仪包括 M225 规格，轻型回弹仪包括 L75、L20 规格。

钢砧是用于校准回弹仪率定值的专用设备，分为微型、普通型、高强专用型和重型，砧体为钢制件，砧芯为工具钢，由砧体、砧芯和导向筒组成，其基本结构如图 4 所示；微型钢砧的砧体和砧芯为一体铸造，基本结构如图 5 所示。

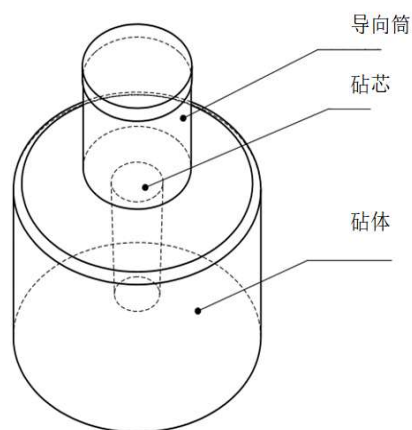


图4 钢砧基本结构示意图

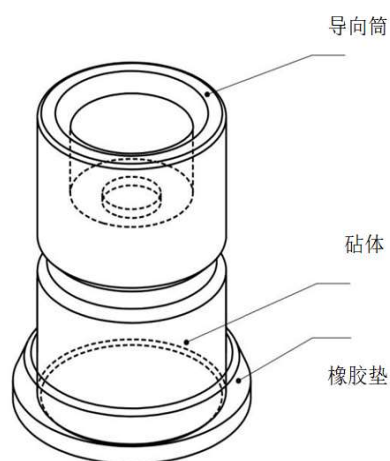


图5 微型钢砧基本结构示意图

4 计量性能

4.1 回弹仪检定装置标尺盖板刻线尺寸

“100”刻线缺口位置、标尺刻线长度、“0~1”标尺刻线长度的最大允许误差见表1，标尺刻线宽度不大于0.20mm。

表1 标尺盖板刻线尺寸

计量特性	技术要求
“100”刻线缺口位置	MPE: $\pm 0.10\text{mm}$
“0~90”刻线长度	
“0~100”刻线长度	
“0~1”刻线长度	

4.2 回弹仪检定装置指针摩擦力

指针摩擦力和最大允许误差见表2。

表 2 指针摩擦力和最大允许误差

单位: N

被检回弹仪种类	指针摩擦力	最大允许误差
重型回弹仪	0.65	± 0.15
中型回弹仪	0.65	± 0.15
轻型回弹仪	0.5	± 0.10

4.3 钢砧计量特性见表 3。

表 3 钢砧计量特性表

计量特性	技术要求					
回弹仪规格	H980	H550	H450	L75	L20	M225
钢砧直径（mm）	≥200	≥150		≥145		≥49
砧芯直径（mm）	≥45	≥31		≥31		
钢砧质量（kg）	44.8~45.6	19.9~20.3		15.9~16.3		普通型：15.9~16.3 微型：1.04~1.08
砧芯工作面洛氏硬度（HRC）	洛氏硬度：60±2					

4.4 回弹仪拉簧检定仪砝码质量与刻度尺

4.4.1 回弹仪拉簧检定仪砝码质量

回弹仪拉簧检定仪用砝码质量的最大允许误差为 $\pm 0.1\%$ 。

4.4.2 回弹仪拉簧检定仪标尺误差

回弹仪拉簧检定仪专用标尺的示值最大允许误差为 $\pm 0.10 \text{ mm}$ 。

4.5 数字式回弹仪检定装置的测力装置与位移测量装置

4.5.1 测力装置的技术指标见表 4。

表 4 测力装置的技术指标

零点漂移	示值相对误差	示值重复性
$\pm 0.3\%$	$\pm 0.3\%$	$\pm 0.3\%$

4.5.2 位移测量装置的最大允许误差: $\pm 0.02 \text{ mm}$ 。

4.6 测力计示值误差

测量范围 (0.2~1) N, 准确度等级 5.0 级。

注: 以上计量特性要求仅供参考, 不作为判定依据

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度：(20±5)℃；相对湿度：≤80%。

5.1.2 其他条件：室内应保持清洁、无腐蚀性气体、振源、磁源或其他干扰源。

5.2 测量标准及其他设备

序号	校准项目	标准器	技术要求
1	回弹仪检定装置标尺	游标卡尺	测量范围 (0~300) mm, 分度值 0.02mm
	盖板刻线尺寸	读数显微镜	MPE: ±10 μm
2	回弹仪检定装置指针 摩擦力	测力计	测量范围 (0.2~1)N, 准确度级别: 5.0 级
3	钢砧计量特性	硬度计	MPE: ±1.5HRC
4	回弹仪拉簧检定砝码质量与刻度尺	电子秤	Ⅲ级
		电子天平	Ⅱ级
		标准金属线纹尺	三等
5	数字式回弹仪检定装置的测力装置	力标准装置	MPE: ±0.1%
6	数字式回弹仪检定装置的位移测量装置	量具或量仪	MPE: ±6 μm
7	测力计示值误差	标准力值砝码	MPE: ±0.1%

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前的准备

回弹仪检定器应有铭牌，铭牌内容一般包括：名称、型号、规格、制造厂名、出厂编号及日期等。回弹仪检定器不应有影响计量性能的缺陷。外观应清洁、无锈蚀。紧固部件牢固可靠，各运动部件应无卡滞现象。标尺上的刻度线应清晰、均匀。钢砧上应有清晰的铭牌标识，表面整洁，砧芯工作面应是磨光的平面、砧体上应装有使弹击杆与砧芯对中的导向筒。校准前应对钢砧表面进行清洁，底座进行平整处理。

6.2 回弹仪检定装置标尺盖板刻线尺寸

6.2.1 “100” 刻线缺口位置

将检定装置盖板翻到测量回弹仪标尺“100”刻度线位置处，用游标卡尺测量前定位板定面至标尺盖板“100”刻线缺口的距离，测量3次，计算3次的平均值。

“100”刻线缺口位置误差按公式（1）计算：

$$\delta_a = \overline{L_a'} - L_a \quad (1)$$

式中：

δ_a —刻线缺口位置误差，mm；

$\overline{L_a'}$ —刻线缺口位置测量的算术平均值，mm；

L_a —刻线缺口位置标称值，mm。

6.2.2 标尺刻线长度及刻线宽度

用游标卡尺测量标尺从第1刻线中点到末端刻线中点的总长度，测量3次，计算3次的平均值。

刻线宽度用读数显微镜进行测量。

标尺刻线长度误差按公式（2）计算：

$$\delta_b = \overline{L_b'} - L_b \quad (2)$$

式中：

δ_b —刻线长度误差，mm；

$\overline{L_b'}$ —刻线长度测量的算术平均值，mm；

L_b —刻线长度标称值，mm。

6.2.3 “0~1” 标尺刻线长度及刻线宽度

标尺刻线长度用读数显微镜测量“0”刻线中点到“1”刻线中点的距离，测量3次，计算3次的平均值。

刻线宽度用读数显微镜进行测量。

6.3 指针摩擦力

用测力计测量指针沿刻度尺增值方向的摩擦力，测量3次，计算3次的平均值。

指针摩擦力误差按公式（3）计算：

$$\delta_f = \frac{\overline{F_f'} - F_f}{F_f} \quad (3)$$

式中：

δ_f —指针摩擦力误差, N;

$\overline{F_f'}$ —3 次测量的算术平均值, N;

F_f —指针摩擦力标准值, N。

6.4 钢砧计量特性

6.4.1 直径测量

用游标卡尺分别测量钢砧砧体和砧芯表面 3 个不同位置的直径, 分别取 3 次测量的平均值作为钢砧和砧芯的直径。

6.4.2 钢砧质量

钢砧质量用电子秤或电子天平称量, 称量时应包含导向筒, 重复称量 3 次取平均值。

注: 普通型、高强专用型及重型钢砧称量时应包含导向筒; 微型钢砧称量时应取下橡胶垫圈。

6.4.3 砧芯工作面硬度

取下钢砧的导向筒, 用洛氏硬度计在砧芯工作面 4 个不同位置各测量 1 次, 第 1 个测量点不计, 取后 3 个测量点硬度的平均值作为砧芯工作面硬度值。

注: 1. 可采用里氏硬度计、超声硬度计等仪器, 参照上述方法对钢砧工作面硬度进行校准。

2. 校准过程中可用硬度值近似于砧芯工作面硬度的标准硬度块, 对硬度计示值进行验证。

3. 考虑到洛氏硬度计测量会在砧芯工作面产生测量压痕, 当无法满足测量要求时, 可将砧芯连同砧体在平面磨床上修磨平整, 修磨平整后仍需满足工作面硬度要求。

4. 微型钢砧为一体式铸造, 可取钢砧的底面硬度值为砧芯工作面硬度。

6.5 回弹仪拉簧检定仪砝码质量与刻度尺

6.5.1 回弹仪拉簧检定仪砝码质量

用电子秤或电子天平称量砝码质量, 测量 3 次, 计算 3 次的平均值。

砝码质量相对误差按公式 (4) 计算:

$$\delta_m = \frac{\overline{M'} - M}{M} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

δ_m —砝码质量相对误差, %;

$\overline{M'}$ —砝码质量测量的算术平均值, g;

M —砝码质量标称值, g。

6.5.2 回弹仪拉簧检定仪标尺误差

用标准金属线纹尺直接测量, 在标尺测量范围内均匀选取不少于 3 个测量点进行测量,

每个点测量3次，计算3次的平均值。

标尺误差按公式（5）计算：

$$\delta_L = \bar{L}' - L \quad (5)$$

式中：

δ_L —标尺误差，mm；

$\bar{L}'$ —标尺长度测量值，mm；

L —标尺长度标称值，mm。

6.6 数字式回弹仪检定装置的测力装置与位移测量装置

6.6.1 零点漂移

预热后，调整好零点在 15min 内观察零点的变化量，并记录最大变化，按公式（6）进行计算。

$$z = \frac{F_{0d}}{F_L} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

z —测力装置零点漂移，%；

F_{0d} —测力装置零点示值最大变化量，N；

F_L —测力装置测量范围的下限，N。

注：测量下限依据使用说明书确定，如果使用说明书没有规定或规定不规范，则用分辨力的200倍确定。

6.6.2 示值相对误差、示值重复性

用力标准装置对回弹仪检定装置的测力装置以给定方向加3次预负荷，预负荷完全卸除后，根据需要可重新调整零点。按负荷递增顺序逐点进行测量，测量点不得少于5个，均匀分布。连续进行3组测量，每组测量前应调整零点，计算每个测量点3次测量的算术平均值，并由公式（7）、（8）计算得出示值相对误差、示值重复性。

$$\delta_i = \frac{\bar{F}_i - F}{F} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

δ_i —测力装置的示值相对误差，%；

$\bar{F}_i$ —同一测量点 3 次测量的算术平均值，N；

F —施加的标准力值，N

$$R = \frac{F_{imax} - F_{imin}}{\bar{F}_i} \times 100\% \quad (8)$$

式中:

R —测力装置的示值重复性, %;

F_{imax} —同一测量点 3 次测量中的最大值, N;

F_{imin} —同一测量点 3 次测量中的最小值, N;

6.6.3 位移测量装置

用量具或量仪在量程内选取包含上限在内的4个测量点进行测量, 每个点测量3次, 计算3次的平均值。

位移测量装置误差按公式 (9) 计算:

$$\delta_i = \bar{D}_i - D \quad (9)$$

式中:

δ_i —位移测量装置误差, mm;

$\bar{D}_i$ —同一测量点 3 次测量的算术平均值, mm;

D —位移标准值, mm。

6.7 测力计计量特性

用标准力值砝码按照 JJG 455 《工作测力仪》的要求进行检测。

7 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息:

- 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, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 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) 对校准规范偏离的说明;
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识以及签发日期;
- 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

建议复校时间间隔一般不超过一年。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, 送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。如果仪器经维修、更换重要部件或对仪器性能有怀疑时, 应重新校准。



附录 A

回弹仪检定器校准结果的不确定度评定示例

A.1 钢砧砧芯直径测量结果的不确定度评定

A.1.1 测量方法

选用 GZ II 型钢砧作为被测对象, 在温度 22.5℃, 相对湿度 58% 的环境条件下, 对钢砧表面进行清洁、平整处理, 用游标卡尺测量砧芯表面 3 个不同位置的直径, 取平均值作为钢砧砧芯的直径。

A.1.2 测量模型:

数学模型由公式 (A.1) 表示:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} \quad (\text{A.1})$$

式中:

$\bar{L}$ —砧芯直径 n 次测量结果平均值, mm;

L_i —砧芯直径单次测量结果, mm;

n —测量次数。

A.1.3 由测量过程中示值重复性引入的标准不确定度分量 u_1

采用 A 类方法评定, 因测量次数较少, 故标准偏差采用极差法计算。测量次数为 3 次, 极差系数取 $C = 1.69$, 钢砧砧芯直径的测量数据如表 A.1 所示。

表 A.1 钢砧砧芯直径测量结果表

钢砧砧芯直径测量值(mm)				极差 $R = (L_{\max} - L_{\min})$ (mm)
1	2	3	平均值	
31.27	31.35	31.48	31.37	0.21

取标准偏差为示值重复性引入的不确定度分量, 由公式 (A.2) 表示:

$$u_1 = s_1 = \frac{R}{C} \quad (\text{A.2})$$

$$u_1 = \frac{0.21\text{mm}}{1.69} = 0.125\text{mm}$$

A.1.4 由测量设备引入的标准不确定度分量 u_2

采用 B 类方法评定。本次测量采用游标卡尺为测量标准器, 该测量设备 MPE: $\pm 0.02\text{mm}$, 半宽区间 $a=0.02\text{mm}$, 假设为均匀分布, 则由测量设备引入的标准不确定度分量 u_2 由公式 (A.3) 表示:

$$u_2 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.3})$$

$$u_2 = \frac{0.02\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.0115\text{mm}$$

A.1.5 合成标准不确定度计算

由于各分量不相关, 合成标准不确定度 u_c 由公式 (A.4) 表示:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (\text{A.4})$$

代入示值, 计算得:

$$u_c = \sqrt{0.125^2 + 0.0115^2} = 0.125\text{mm}$$

A.1.6 扩展不确定度量 U

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度 U 由公式 (A.5) 表示:

$$U = k \times u_c \quad (\text{A.5})$$

$$U = 2 \times 0.125\text{mm} = 0.25\text{mm}$$

A.2 钢砧质量测量结果的不确定度评定

A.2.1 测量方法

选用 GZ II 型钢砧作为被测对象, 在温度 22.5°C , 相对湿度 58% 的环境条件下, 对钢砧表面进行清洁、平整处理, 用电子秤称量钢砧质量 3 次, 取平均值作为钢砧质量。

A.2.2 测量模型:

数学模型由公式 (A.6) 表示:

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \quad (\text{A.6})$$

式中:

$\bar{m}$ —钢砧质量 n 次测量结果平均值, kg;

m_i —钢砧质量单次测量结果, kg;

n —测量次数。

A.2.3 由测量过程中示值重复性引入的标准不确定度 u_1

采用 A 类方法评定, 因测量次数较少, 故标准偏差采用极差法计算。测量次数为 3 次, 极差系数取 $C=1.69$, 钢砧质量的测量数据如表 A.2 所示。

表 A.2 钢砧质量测量结果表

钢砧质量(g)				极差 $R=(m_{\max}-m_{\min})$ (g)
1	2	3	平均值	
20000	20001	20000	20000.33	1

取标准偏差为示值重复性引入的不确定度分量, 由公式 (A.7) 表示:

$$u_1 = s_1 = \frac{R}{C} \quad (\text{A.7})$$

$$u_1 = \frac{1\text{g}}{1.69} = 0.592\text{g}$$

A.2.4 由测量设备引入的标准相对不确定度 u_2

本次测量采用一台电子秤为测量标准器, 该设备 MPE: $\pm 15\text{g}$, 半宽区间 $a=15\text{g}$, 假设为均匀分布, 故由此引入的标准不确定度由公式 (A.8) 表示:

$$u_2 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.8})$$

$$u_2 = \frac{15\text{g}}{\sqrt{3}} = 8.7\text{g}$$

A.2.5 合成标准不确定度 u_c

由于各分量不相关, 合成标准不确定度由公式 (A.9) 表示::

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (\text{A.9})$$

$$u_c = \sqrt{0.592^2 + 8.7^2} = 8.7\text{g}$$

A.2.6 扩展不确定度量 U

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度由公式 (A.10) 表示::

$$U = k \times u_c \quad (\text{A.10})$$

$$U = 2 \times 8.7\text{g} = 18\text{g}$$

A.3 钢砧砧芯工作面硬度测量结果的不确定度评定

A.3.1 测量方法

选用 GZ II 型钢砧作为被测对象, 在温度 22.5℃, 相对湿度 58% 的环境条件下, 对钢砧表面进行清洁、平整处理, 用洛氏硬度计在砧芯工作面 4 个不同位置各测量 1 次, 第 1 个点不计, 取后测 3 个点硬度的平均值作为砧芯工作面硬度值。

A.3.2 测量模型:

钢砧砧芯工作面硬度测量偏差 Δh 由公式 (A.11) 表示:

$$\Delta h = \bar{h} - h \quad (\text{A.11})$$

式中:

Δh —砧芯工作面硬度测量偏差, HRC;

h —砧芯工作面标称硬度值, HRC;

$\bar{h}$ —砧芯工作面硬度 3 次测得值的算术平均值, HRC。

A.3.3 由测量过程中示值均匀度引入的标准不确定度分量 u_1

采用 A 类方法评定。因测量次数较少, 故标准偏差采用极差法计算。测量次数为 3 次, 查表可知, 极差系数 $C = 1.69$, 钢砧砧芯工作面硬度的测量数据如下表 A.3 所示。

表 A.3 钢砧砧芯工作面硬度测量结果表

钢砧砧芯工作面硬度测量值 (HRC)				极差: $R = (h_{\max} - h_{\min})$ (HRC)
1	2	3	平均值	
60.6	60.9	61.1	60.9	0.5

取标准偏差为示值重复性引入的不确定度分量由公式 (A.12) 表示:

$$u_1 = s_1 = \frac{R}{C} \quad (\text{A.12})$$

$$u_1 = \frac{0.5 \text{HRC}}{1.69} = 0.29 \text{HRC}$$

A.3.4 由测量设备引入的标准不确定度分量 u_2

采用 B 类方法评定。本次测量采用洛氏硬度计为测量标准器, 该测量设备 MPE: $\pm 0.6 \text{HRC}$, 半宽区间 $a = 0.6 \text{HRC}$, 假设为均匀分布, 故由此引入的标准不确定度由公式 (A.13)

表示:

$$u_2 = \frac{a}{k} \quad (\text{A.13})$$

$$u_2 = \frac{0.6\text{HRC}}{\sqrt{3}} = 0.35 \text{ HRC}$$

A.3.5 合成标准不确定度计算

由于各分量不相关, 合成标准不确定度由公式 (A.14) 表示:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (\text{A.14})$$

$$u_c = \sqrt{0.30^2 + 0.35^2} = 0.47 \text{ HRC}$$

A.3.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度由公式 (A.15) 表示:

$$U = k \times u_c \quad (\text{A.15})$$

$$U = 2 \times 0.47\text{HRC} = 1.0\text{HRC}$$

A.4 测力装置测量结果的不确定度评定示例

A.4.1 测量方法和过程

在规定环境温度 (23 ± 5) °C 下, 对能够直接显示力值测量结果的测力装置进行校准, 采用力标准装置对测力装置的力值进行测量。该过程连续进行 3 次, 以 3 次示值的算术平均值作为校准结果, 为 $\bar{F}$ 。

A.4.2 评定模型

A.4.2.1 数学模型

$$\delta = \bar{F} - F \quad (\text{A.16})$$

式中:

δ —测力装置的示值误差;

$\bar{F}$ —测力装置的 3 次测量平均值;

F —力标准装置示值。

A.4.2.2 合成标准不确定度评定模型

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 [u_c(\bar{F})]^2 + c_2^2 [u_c(F)]^2} \quad (\text{A.17})$$

各分量间相互独立，其灵敏系数分别为 $c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial \bar{F}} = 1$ ； $c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial F} = -1$ 。

A.4.3 不确定度分量评定

表 A.4 标准不确定度分量一览表

分量	不确定度来源	符号	半宽度	分类	分布	分布因子 k_i	标准不确定度值 $u(x_i)$
测力装置示值 $u_c(\bar{F})$	测力装置示值重复性	ΔR	$\frac{\Delta R}{1.64}$	A	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta R}{1.64\sqrt{3}}$
	测力装置示值分辨力	r	$\frac{r}{2}$	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{r}{2\sqrt{3}}$
力标准装置 $u_c(F)$	标准器引入	R_b	R_b	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{R_b}{\sqrt{3}}$

A.4.4 计算分量标准不确定度

A.4.4.1 测力装置显示值的标准不确定度分量 $u_c(\bar{F})$ 评定

重复性引入的不确定度分量和分辨率引入的不确定度分量一般取较大点作为 $u_c(\bar{F})$ 。

A.4.4.2 力标准装置的标准不确定度分量 $u_c(F)$ 评定

力标准装置引入的相对标准不确定度 $u_c(F)$ 可根据计量证书给出的 0.1 级结果来评定，取其为均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的相对标准不确定度为：

$$u_c(F) = \frac{R_b}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.18})$$

A.4.5 合成标准不确定度

根据表 A1 的计算结果可以将各分量代入公式(A2)中，得到测力装置的合成标准不确定度 $u_c(\delta)$ 。进而得到扩展不确定度。

$$u_c(\delta) = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{1.64\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{r}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{R_b}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (\text{A.19})$$

A.4.6 扩展不确定度

$$U(\delta) = k \times u_c(\delta), \quad k=2 \quad (\text{A.20})$$

A.4.7 评定示例

以测量点20N为例进行评定。

计算力值测量结果重复性引入的标准不确定度。进行 10 次测量，利用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差 $s(F_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} (F_j - \bar{F})^2}{n-1}}$ ， $u_c(F_1) = \frac{s(F_1)}{\sqrt{3}} = 0.004\text{N}$ ，分辨力引入不确定度为 $u_c(F_2) = \frac{r}{2\sqrt{3}} = 0.003\text{N}$ ， $u_c(F_1)$ 和 $u_c(F_2)$ 取较大者为 $u_c(\bar{F})$ 。标准器的不确定度分量 $u_c(F) = \frac{0.1\% \times 10}{\sqrt{3}} \text{N} = 0.00577\text{N}$ 。分别代入合成标准不确定度公式。因此， $u_c(\delta) = \sqrt{[u_c(\bar{F})]^2 + [u_c(F)]^2} = 0.007\text{N}$ 。所以扩展不确定度为 $U(\delta) = k \times u_c(\delta) = 2 \times 0.007\text{N} = 0.01\text{N}$ 。

A.5 专用砝码测量结果不确定度评定示例

A.5.1 测量方法

在环境温度 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，采用电子天平测量专用砝码质量，重复测量 3 次，计算出 3 次测量结果的平均值作为测得值。测得值与专用砝码实际值之差作为测量结果。

A.5.2 测量模型

$$\Delta = w_s - w_i \quad (\text{A.21})$$

式中：

Δ ——示值误差，g；

w_i ——电子天平示值，g；

w_s ——专用砝码标称值，g。

式中， w_i 、 w_s 之间互为独立，其灵敏系数与方差分别为：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{\left[\frac{\partial \Delta}{\partial w_i}\right]^2 u^2(w_i) + \left[\frac{\partial \Delta}{\partial w_s}\right]^2 u^2(w_s)} \quad (\text{A.22})$$

由于 $c_4 = c(L_i) = \frac{\partial \Delta}{\partial w_i} = 1$ ， $c_5 = c(L_s) = \frac{\partial \Delta}{\partial w_s} = -1$ ，所以

$$u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(w_i) + u^2(w_s)} \quad (\text{A.23})$$

A.5.3 标准不确定度分量的来源与评定

A.5.3.1 标准不确定度来源

对专用砝码质量测量结果的不确定度由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(w_i)$ 和标准器电子天平引入的标准不确定度分量 $u(w_s)$ 组成。

A.5.3.2 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(w_i)$

以某专用砝码的质量测量时, 进行 10 次测量, 利用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差 $s(w_i)$ 。

$$s(w_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} (w_j - \bar{w})^2}{n-1}} \quad (\text{A.24})$$

式中:

j ——测量次数;

w_j ——第 j 次测量结果, g;

$\bar{w}$ ——10 次测量结果的平均值, g。

实际测量 3 次, 以平均值作为测量结果, 故测量重复性引入的标准不确定度分量为

$$u(w_i) = \frac{s(w_i)}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.25})$$

A.5.3.3 标准器电子天平引入的标准不确定度分量 $u(w_s)$

以称量范围 1g~12000g, 分度值为 0.1g 的天平为例。电子天平的最大允许误差为 ± 0.5 g, 区间半宽为 0.5g, 假设为均匀分布, 则标准不确定度分量为

$$u(w_s) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.26})$$

A.5.4 合成标准不确定度的计算

由于 w_i 、 w_s 之间彼此独立不相关, 因此代入公式合成标准不确定度为式

$$u_c(\Delta) = \sqrt{[u(w_i)]^2 + [u(w_s)]^2} \quad (\text{A.27})$$

A.5.5 扩展不确定度的确定

$$U = k \times u_c(\Delta) \quad (k=2) \quad (\text{A.28})$$

A.5.6 评定示例

以测量质量为 2000g 的专用砝码为例进行评定。进行 10 次测量, 利用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差 $s(w_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} (w_j - \bar{w})^2}{n-1}} = 0.0483$ g, $u(w_i) = 0.0279$ g, $u(w_s) =$

0.2887g。分别代入标准合成不确定度公式。因此, $u_c(\Delta) = \sqrt{[u(w_i)]^2 + [u(w_s)]^2} = 0.29\text{g}$ 。
所以扩展不确定度为 $U = k \times u_c(\Delta) = 0.6\text{g}$ 。

A.6 标尺长度测量结果不确定度评定示例

A.6.1 测量方法

依据本校准规范, 采用标准器金属线纹尺进行测量。

A.6.2 数学模型

$$\Delta L = \bar{L} - L_0 \quad (\text{A.29})$$

式中:

ΔL —示值误差;

L_0 —标尺标称值;

$\bar{L}$ —测量结果的平均值。

A.6.3 不确定度传播率

$$u_c(\Delta L) = \sqrt{u^2(\bar{L}) + u^2(L_0)} \quad (\text{A.30})$$

A.6.4 重复测量引入的不确定度 u_1

用标准器金属线纹尺根据测量方法进行 3 次测量的数值极差不超过 0.02mm, 采用极差法进行计算, 可知 3 次测量的极差系数 $C=1.69$ 。重复性测量引入的标准不确定度为:

$$u_1 = \frac{\Delta R}{1.69 \times \sqrt{3}} \quad (\text{A.31})$$

式中: ΔR —示值的极差。

得到: $u_1 = 0.007\text{mm}$ 。

A.6.5 测量标准引入的不确定度 u_2

标准器金属线纹尺的最大允许误差为 $\pm 0.02\text{mm}$, 区间半宽为 0.02mm, 假设为均匀分布, 则测量标准引入的不确定度 u_2 为:

$$u_2 = \frac{h}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.32})$$

式中: h —区间半宽。

得到: $u_2 = 0.012\text{mm}$ 。

A.6.6 合成标准不确定度

$$u_c(\Delta L) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.014\text{mm}$$

A.6.7 扩展不确定度

$$U = k \times u_c(\Delta L) = 0.03\text{mm} \quad (k=2)$$

附录 B

校准记录格式（推荐）

记录编号：		委托单位：			
仪器名称：		型号：			
制造厂：		出厂编号：			
环境温度：	相对湿度：	校准日期：			
校准依据：					
校准使用的标准器：					
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/ 最大允许误差	设备编号	检定/校准 证书编号	有效期至

一、回弹仪检定装置标尺盖板刻线尺寸

回弹仪检定装置 标尺盖板刻线尺寸（mm）	“100”刻线缺口位置	1	2	3	平均值	$U(k=2)$
	标尺刻线长度及刻线宽度	1	2	3	平均值	$U(k=2)$
		刻线宽度				
	“0~1”标尺刻线长度及 刻线宽度	1	2	3	平均值	$U(k=2)$
		刻线宽度				

二、指针摩擦力

指针摩擦力	1	2	3	平均值	$U(k=2)$

三、钢砧计量特性

序号	校准项目	技术要求	校准结果				测量不确定度
			第一次	第二次	第三次	平均值	$U, k=2$
1	钢砧直径 (mm)	☐ (≥ 200) ☐ (≥ 150) ☐ (≥ 145) ☐ (≥ 49)					$U =$
2	砧芯直径 (mm)	☐ (≥ 45) ☐ (≥ 31)					$U =$
3	钢砧质量 (kg)	☐ (44.8~45.6) ☐ (19.9~20.3) ☐ (15.9~16.3) ☐ (1.04~1.08)					$U =$
4	砧芯工作面硬度	HRC: 60 ± 2					$U =$

四、回弹仪拉簧检定仪砧码质量与刻度尺

砧码标称质量 (g)	1	2	3	平均值	$U (k=2)$
刻度尺 (mm)	1	2	3	平均值	$U (k=2)$

五、回弹仪检定装置的测力装置与位移测量装置

测力装置 (N)	z (%)							
	标准值	1	2	3	平均值	δ	R	$U(k=2)$

位移测量装 置 (mm)	标准值	1	2	3	平均值	$U(k=2)$

六、测力计计量特性:

测力计 (N)	z (%)							
	标准值	1	2	3	平均值	δ	R	$U(k=2)$

附录 C

校准证书内页格式（推荐）

校准项目		校准结果	扩展不确定度 $U(k=2)$
盖板刻线尺寸 (mm)	“100”刻线缺口位置 (加入标称列)		
	标尺刻线长度		
	标尺刻线宽度		
	“0~1”标尺刻线长度		
	“0~1”标尺刻线宽度		
指针摩擦力 (N)			
钢砧	钢砧直径 (mm)		
	砧芯直径 (mm)		
	钢砧质量 (kg)		
	砧芯工作面硬度 (HRC)		
拉簧检定仪	砝码质量 (g)	标称值	
	刻度尺长度 (mm)	标称值	
测力装置	零点漂移 z (%)		
	标准值 (N)		示值 (N)
位移测量装置	标准值 (mm)		示值 (mm)
测力计	标准值 (N)		示值 (N)

