



中华人民共和国工业和信息化部
有色金属计量技术规范

JJF（有色金属）XXXX—20XX

落球冲击试验机校准规范
(报批稿)

Calibration Specification for
Falling Weight Impact Testing Machines

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

落球冲击试验机校准规范

Calibration Specification for
Falling Weight Impact Testing
Machines

JJF（有色金属）XXXX—
20xx

归口单位：中国有色金属工业协会

主要起草单位：国标（北京）检验认证有限公司

参加起草单位：有色金属技术经济研究院有限责任公司

广东省科学院工业分析检测中心

中国船舶集团有限公司第七二五研究所

西安汉唐分析检测有限公司

东北轻合金有限责任公司

本规范主要起草人：

刘淑凤（国标（北京）检验认证有限公司）

李 成（国标（北京）检验认证有限公司）

郭荣贵（国标（北京）检验认证有限公司）

参加起草人：

樊志罡（国标（北京）检验认证有限公司）

李 攀（有色金属技术经济研究院有限责任公司）

简思聪（广东省科学院工业分析检测中心）

曹梦圆（中国船舶集团有限公司第七二五研究所）

张 兵（西安汉唐分析检测有限公司）

周桂平（东北轻合金有限责任公司）

杨飞宇（国标（北京）检验认证有限公司）

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 重锤质量示值误差	(2)
4.2 导管刻度示值误差	(2)
4.3 冲击深度	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准	(2)
5.3 辅助校准设备	(2)
6 校准项目和校准方法	(2)
6.1 校准项目	(2)
6.2 校准方法	(2)
7 校准结果表达	(5)
8 复校时间间隔	(6)
附录 A 落球冲击试验机校准记录参考格式	(7)
附录 B 落球冲击试验机校准证书内页参考格式	(9)
附录 C 重锤质量示值误差的测量结果不确定度评定示例	(10)
附录 D 导管刻度示值误差的测量不确定度评定示例	(13)
附录 E 冲击深度校准的测量结果不确定度评定示例	(16)

引 言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范参考了GB/T 1732《漆膜耐冲击测定法》的技术内容。

本规范为首次发布。

落球冲击试验机校准规范

1 范围

本规范适用于落球冲击试验机（以下简称试验机）的校准。

2 引用文件

本规范没有引用文件。

3 概述

落球冲击试验机是以固定质量的重锤落于试板上而不引起漆膜破坏的最大高度表示漆膜耐冲击性能的试验仪器，包括重锤、重锤控制器、导管、工作台（包括冲模和底座）、冲头等。目前在国内市场上的试验机，根据调节冲击深度方法的不同，主要分成两类：一类通过调节试验机的压紧螺帽高低调节冲击深度，这类试验机称为A类试验机；另外一类是通过调节试验机铁砧高低来调节冲击深度的试验机，这类试验机称为B类试验机。这两类试验机在外形上没有区别，示意图均如图1所示。

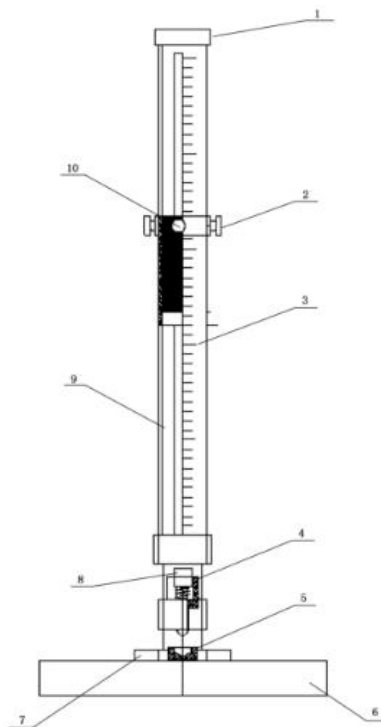


图1 落球冲击试验机设备示意图

1—导管盖；2—重锤控制器；3—刻度；4—冲头导槽（中心装有压紧螺帽）；5—冲模；6—底座（嵌有铁砧）；7—支架；8—冲头；9—导管；10—重锤。

4 计量特性

4.1 重锤质量示值误差

重锤质量最大允许误差为 $\pm 1\text{g}$ 。

4.2 导管刻度示值误差

测量范围一般为 $(0\sim 1000)\text{mm}$ ，最大允许误差为 $\pm 1\text{mm}$ 。

4.3 冲击深度

标称深度 2.0mm ，最大允许误差为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

5 校准条件

5.1 环境条件

试验机应在 $(25\pm 5)^\circ\text{C}$ 、相对湿度不大于80%的条件下校准。校准环境周围无腐蚀性介质，附近无影响实验结果的振源。

5.2 校准项目和测量标准

校准项目和测量标准见表1。

表1 校准项目和测量标准

校准项目	测量标准	技术指标
重锤质量示值误差	电子天平	测量范围： $(0\sim 3000)\text{g}$ ，准确度等级：Ⅱ级，检定分度值： $e=0.1\text{g}$
导管刻度示值误差	钢直尺	测量范围： $(0\sim 1500)\text{mm}$ ，最大允许误差（MPE）： $\pm 0.27\text{mm}$
冲击深度	卡尺	测量范围： $(0\sim 150)\text{mm}$ ，MPE： $\pm 0.02\text{mm}$
	深度千分尺	测量范围： $(0\sim 25)\text{mm}$ ，MPE： $\pm 0.004\text{mm}$
注：允许使用满足要求的其他测量标准。		

5.3 辅助校准设备

纯铝试板：牌号1060、状态H24，硬度 $(34\sim 36)\text{HV}$ ，板材厚度范围 $(0.7\sim 1.0)\text{mm}$ ，最大允许误差为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

试验机校准项目见表1。

6.2 校准方法

6.2.1 外观检查

将试验机放置在稳固的平台上，导管垂直于水平面。检查试验机外观，是否标有仪器名称、规格型号、出厂编号、制造厂名(或商标)等信息，是否有影响校准结果的缺陷，各部件的连接是否牢固、可靠、无松动，确认重锤与导管之间是否有足够的间隙使重锤保持自由落体运动。检查导管上的刻度是否清晰可读，确认重锤控制器能否将重锤固定在导管的任何刻度，且无卡滞现象，冲头上的钢球表面是否光洁平滑。

6.2.2 重锤质量示值误差

试验前，应先预热电子天平，预热时间大于30min，以确保电子天平内部能有一个恒定的操作温度。

将重锤从仪器上拆下，清洁干净。在电子天平上称量3次，取3次测量的平均值作为校准结果，计算方法见式（1）和（2）。

$$\Delta m = M - \bar{m} \quad (1)$$

$$\bar{m} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 m_i \quad (2)$$

式中：

Δm ——重锤质量示值误差，g；

M ——重锤质量标称值，g；

\bar{m} ——重锤质量3次测量平均值，g；

m_i ——重锤第*i*次称量值，g。

6.2.3 导管刻度示值误差

将钢直尺与导管外壁紧贴，并将钢直尺的侧边与导管刻度的中心轴线对齐，钢直尺的端边与导管刻度的零刻线对齐，读出被校导管零刻度线到任一刻度线的长度。一般在导管刻度量程范围内选择不少于5个点进行测量，选择的测量点尽量做到均匀分布，也可按照需求进行取点。每个点重复测量3次，取3次测量的平均值作为校准结果，计算方法见式（3）和（4）。

$$\Delta l = L - \bar{l} \quad (3)$$

$$\bar{l} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 l_i \quad (4)$$

式中：

Δl ——导管刻度示值误差，mm；

L ——导管刻度标称值, mm;

\bar{l} ——导管刻度3次测量平均值, mm;

l_i ——导管刻度第*i*次测量值, mm。

6.2.4 冲击深度

方法1: 将校准用纯铝试板平放在铁砧表面上, 使锤头从导管刻度示值为500mm或1000mm处落下, 冲击纯铝试板表面, 用深度千分尺测量冲击凹坑深度, 其与板厚的差值即为冲击深度。冲击试验重复3次, 且相邻冲击点边缘的距离应不小于10 mm, 结果取3次测量的平均值, 计算方法见式(5)。此校准方法适用于A类试验机和B类试验机。

$$h = H_1 - P_1 \quad (5)$$

式中:

h ——冲击深度, mm;

H_1 ——深度千分尺对冲击凹坑深度 3 次测量平均值, mm;

P_1 ——卡尺对纯铝试板厚度 3 次测量平均值, mm。

方法2: 将导管旋下来, 松开试验机底座背面的紧固螺钉, 将校准用纯铝试板平放在铁砧表面上, 用底部平整的物体压放在冲头上部。用深度千分尺测量冲头上部至压紧螺帽上平面的距离, 测量值与纯铝试板厚度之差即为此时的冲击深度, 结果取3次测量的平均值, 计算方法见式(6)。此校准方法适用于A类试验机。

$$h = H_2 - P_2 \quad (6)$$

式中:

h ——冲击深度, mm;

H_2 ——深度千分尺对冲头上部至压紧螺帽上平面距离 3 次测量平均值, mm;

P_2 ——卡尺对纯铝试板厚度 3 次测量平均值, mm。

方法3: 将导管旋下来, 将纯铝试板平放在铁砧表面上, 用手向下轻压冲头上部至刚好接触纯铝试板, 此时用笔在冲头上画线标记位置A, 此位置与冲头导槽上端平齐。然后, 移除纯铝试板, 用手向下压紧冲头, 此时用笔再在冲头上画线标记其与冲头导槽上端平齐位置B。取下冲头用卡尺测量A与B两个位置的平行轴线方向的距离 $|AB|$ 与纯铝试板厚度之

差即为冲击深度，结果取3次测量的平均值，计算方法见式（7）。此校准方法适用于B类试验机。

$$h=H_3-P_3 \quad (7)$$

式中：

h ——冲击深度，mm；

H_3 ——卡尺测量 A 与 B 两个位置的平行轴线方向的距离 $|AB|$ 的 3 次测量的平均值，mm；

P_3 ——卡尺对纯铝试板厚度 3 次测量平均值，mm。

7 校准结果表达

经校准的试验机出具校准证书，校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
 - b) 实验室的名称和地址；
 - c) 实施校准活动的地点，包括客户设施、实验室固定设施以外的地点；
 - d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
 - e) 客户的名称和联络信息；
 - f) 被校对象的描述和明确标识；
 - g) 进行校准活动的日期，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和证书发布日期；
 - h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
 - i) 本次校准所用的测量标准和溯源性及有效性说明；
 - j) 校准环境的描述；
 - k) 校准结果及其测量不确定度的说明（给出整个测量范围校准结果测量不确定度的最大值）；
 - l) 对校准规范偏离的说明；
 - m) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
 - n) 校准人和核验人签名；
 - o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
 - p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。
- 校准原始记录参考格式见附录A，校准证书内页参考格式见附录B。

8 复校时间间隔

复校时间间隔的长短取决于其使用情况,使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间,建议复校时间间隔为 1 年。

附录 A

落球冲击试验机校准记录参考格式

证书编号：
委托单位：

接收日期：

校准日期：
校准依据：

发布日期：

被校设备信息					
器具名称			出厂编号		
型号/规格			设备编号		
制造厂			环境条件		°C %RH
校准地点					
测量标准信息					
名称	型号	设备编号	证书编号	准确度等级/ 最大允许误差 /不确定度	有效期
校准结果					
1 外观					
2 重锤质量示值误差					
标称值 M (g)	实测值 m_i (g)			平均值 \bar{m} (g)	示值误差 Δm (g)
	1	2	3		
扩展不确定度：					
3 导管刻度示值误差					
标称值 L (mm)	实测值 l_i (mm)			平均值 \bar{l} (mm)	误差 Δl (mm)
	1	2	3		
扩展不确定度：					
4 冲击深度 (方法 1)					
校准点	校准用纯铝试板 厚度 P_1 (mm)	凹坑深度 H_1 (mm)	差值(H_1-P_1) (mm)	冲击深度 h (mm)	
1					
2					

3				
扩展不确定度：				
4 冲击深度（方法 2）				
校准点	校准用纯铝试板 厚度 P_2 (mm)	冲头上部 至压紧螺 帽上平面 的距离 H_2 (mm)	差值(H_2-P_2) (mm)	冲击深度 h (mm)
1				
2				
3				
扩展不确定度：				
4 冲击深度（方法 3）				
校准次数	校准用纯铝试板 厚度 P_3 (mm)	平行轴线 方向的距 离 H_3 (mm)	差值(H_3-P_3) (mm)	冲击深度 h (mm)
1				
2				
3				
扩展不确定度：				

附录 B

落球冲击试验机校准证书内页参考格式

证书编号:

被校设备信息					
器具名称			出厂编号		
型号/规格			设备编号		
制造厂			环境条件		°C %RH
校准地点					
测量标准信息					
名称	型号	设备编号	证书编号	准确度等级/ 最大允许误差 /不确定度	有效期
校准结果					
1 外观					
2 重锤质量示值误差					
标称值 M (g)	实测值 m_i (g)			平均值 \bar{m} (g)	示值误差 Δm (g)
	1	2	3		
扩展不确定度:					
3 导管刻度示值误差					
标称值 L (mm)	实测值 l_i (mm)			平均值 \bar{l} (mm)	误差 Δl (mm)
	1	2	3		
扩展不确定度:					
4 冲击深度					
标称值 (mm)	实测值 (mm)			平均值 (mm)	
	1	2	3		
扩展不确定度:					

附录 C

重锤质量示值误差的测量结果不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 评定依据

本规范。

C.1.2 测量标准

电子天平，称量范围（0~3000）g，准确度等级：Ⅱ级，检定分度值： $e=0.1\text{g}$ ，测量重锤质量。

C.1.3 被测对象

落球冲击试验机，重锤质量 1000g。

C.1.4 测量方法

从导管中取出重锤，在规定环境条件下，用电子天平直接测量重锤质量，该过程重复进行 3 次。以 3 次测量值 $m_i (i=1,2,3)$ 的算术平均值作为落锤质量 \bar{m} 。

C.2 测量模型

重锤质量的测量模型见式（C.1）和（C.2）：

$$\Delta m = M - \bar{m} \quad (\text{C.1})$$

$$\bar{m} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 m_i \quad (\text{C.2})$$

式中：

Δm ——重锤质量示值误差，g；

M ——重锤质量标称值，g；

\bar{m} ——重锤质量3次测量平均值，g；

m_i ——重锤第*i*次称量值，g。

C.3 测量不确定度的来源分析

测量不确定度的来源有：

- 1) 由测量重复性引入的不确定度分量 u_1 ；
- 2) 由电子天平分辨力引入的不确定度分量 u_2 ；
- 3) 由电子天平偏载误差引入的不确定度分量 u_3 ；

4) 由电子天平允许误差引入的不确定度分量 u_4 。

C.4 测量不确定度评定

C.4.1 由测量重复性引入的不确定度分量 u_1

用电子天平对重锤质量重复测量10次，测量数据见表C.1。

表C.1 重锤质量重复性测量数据

标称值： 1000g	测量值（g）				
	1	2	3	4	5
	1000.36	1000.36	1000.35	1000.37	1000.35
	6	7	8	9	10
	1000.37	1000.35	1000.36	1000.36	1000.36
平均值(g)	1000.36				
标准偏差 $s(g)$	0.0074				

实际测量以3次测量的平均值作为测量结果，则 $n=3$ ，所以由测量重复性引入的不确定度分量 u_1 为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.0074}{\sqrt{3}} = 0.0043$$

C.4.2 由电子天平分辨力引入的不确定度分量 u_2

电子天平实际分度值为 $r=0.01$ g，区间半宽 $a=r/2=0.005$ g，满足均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，所以由电子天平分辨力引入的不确定度分量 u_2 为：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ g}$$

C.4.3 由电子天平偏载误差引入的不确定度分量 u_3

电子天平偏载误差为 ± 0.10 g，区间半宽 $a=0.10$ g，满足均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，所以由电子天平偏载误差引入的不确定度分量 u_3 为：

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.0577 \text{ g}$$

C.4.4 由电子天平允许误差引入的不确定度分量 u_4

电子天平在1000g校准的最大允许误差为 ± 0.1 g，区间半宽 $a=0.1$ g，满足均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，所以由电子天平允许误差引入的不确定度分量 u_4 为：

$$u_4 = \frac{a}{k} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058\text{g}$$

C.5 合成标准不确定度计算

因为测量重复性带来的不确定度分量中包含有分辨力的影响，为了避免重复，取两者中较大者，取 $u_2=0$ ，所以合成不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{0.0043^2 + 0.0577^2 + 0.058^2} = 0.0819\text{g}$$

C.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.0819 = 0.16\text{ g} \quad (k=2)$$

附录 D

导管刻度示值误差的测量不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 评定依据

本规范。

D.1.2 测量标准

钢直尺，测量范围（0~1500）mm，分度值 0.5mm，最大允许误差（MPE）：±0.27mm。

D.1.3 被测对象

落球冲击试验机，导管刻度示值范围（0~1000）mm。

D.1.4 测量方法

在规定环境下，使用钢直尺对刻度为500mm的导管刻度示值进行校准。老化箱温度偏差测量标准由多通道数据采集器和温度测量标准（铂电阻或热电偶）组成，取多次测量值的平均值作为测量结果。本附录以100℃和400℃校准点为例对老化箱温度偏差测量结果不确定度进行评定。其他校准项目可参照本附录作类似评定。

将钢直尺与导管刻度线纹轴线相平行，调整零刻度线对齐，在钢直尺上读出被校导管零刻度线到500mm刻度线的长度，重复测量3次，取3次测量的平均值作为测量结果。

D.2 测量模型

导管刻度示值误差的测量模型见式（D.1）和（D.2）：

$$\Delta l = L - \bar{l} \quad (\text{D.1})$$

$$\bar{l} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 l_i \quad (\text{D.2})$$

式中：

Δl ——导管刻度示值误差，mm；

L ——导管刻度标称值，mm；

\bar{l} ——导管刻度3次测量值平均值；

l_i ——导管刻度第*i*次测量值，mm。

D.3 测量不确定度的来源分析

测量不确定度的来源有：

- 1) 由测量重复性引入的不确定度分量 u_1 ;
- 2) 由读数误差引入的不确定度分量 u_2 ;
- 3) 由测量标准引入的不确定度分量 u_3 。

D.4 测量不确定度评定

D.4.1 由测量重复性引入的不确定度分量 u_1

在规定环境条件下，使用钢直尺对示值500mm的导管刻度重复测量10次，估读1/5，用贝塞尔公式计算得到数据，测量数据见表D.1。

表 D.1 导管刻度重复性测量数据

刻度 示值 (mm)	导管刻度测量值 (mm)										平均值 (mm)	标准偏差 s (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
500	500.2	500.2	500.0	500.0	499.8	499.8	500.0	500.0	500.2	500.0	500.0	0.1476

依据要求，实际测量是在重复条件下连续测量3次，则 $n=3$ ，取其算术平均值为测量结果，所以：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.1426}{\sqrt{3}} = 0.0852 \text{ mm}$$

D.4.2 由读数误差引入的不确定度分量 u_2

钢直尺分度值为0.5mm，读数误差为钢直尺分度值的1/5，则区间半宽 $a=0.1\text{mm}$ ，满足均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.0577 \text{ mm}$$

D.4.3 由测量标准引入的不确定度分量 u_3

标称值500mm的钢直尺示值误差为 $\pm 0.15\text{mm}$ ，区间半宽为 $a=0.15\text{mm}$ ，满足均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{0.15}{\sqrt{3}} = 0.0866 \text{ mm}$$

D.5 合成标准不确定度计算

各影响量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{0.0852^2 + 0.0577^2 + 0.0866^2} = 0.1345 \text{ mm}$$

D.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k = 2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.1345 = 0.27 \text{mm} \quad (k=2)$$

附录 E

冲击深度校准的测量结果不确定度评定示例

E.1 概述

E.1.1 评定依据

本规范。

E.1.2 测量标准

深度千分尺, 测量范围: (0~25) mm, MPE: ± 0.004 mm;

卡尺, 测量范围: (0~150) mm, MPE: ± 0.02 mm。

E.1.3 被测对象

落球冲击试验机, 冲击深度 2.0 mm。

E.1.4 测量方法

方法1: 将校准用纯铝试板平放在铁砧表面上, 使锤头从导管刻度值为500 mm处落下, 冲击纯铝试板表面, 用深度千分尺测量冲击凹坑深度, 其与板厚的差值即为冲击深度。

方法2: 将导管旋下来, 松开试验机底座背面的紧固螺钉, 将校准用纯铝试板平放在铁砧表面上, 用底部平整的物体压放在冲头上部。用深度千分尺测量冲头上部至压紧螺帽上平面的距离, 测量值与纯铝试板厚度之差即为此时的冲击深度。

方法3: 将导管旋下来, 将校准用纯铝试板平放在铁砧表面上, 用手向下轻压冲头上部至刚好接触纯铝试板, 此时用笔在冲头上画线标记位置A, 此位置与冲头导槽上端平齐。然后, 移除纯铝试板, 用手向下压紧冲头, 此时用笔再在冲头上画线标记其与冲头导槽上端平齐位置B。取下冲头用卡尺测量A与B两个位置的平行轴线方向的距离 $|AB|$, 测量值与纯铝试板厚度之差即为冲击深度。

E.2 测量模型

冲击深度的测量模型见式 (E.1):

$$h = H - P \quad (\text{E.1})$$

式中:

h ——冲击深度, mm;

H ——纯铝试板表面冲击凹坑深度 3 次测量的平均值 (方法 1), 或深度千分尺对冲头上部至压紧螺帽上平面距离 3 次测量的平均值 (方法 2), 或卡尺测量 A 与 B 两个位

置的平行轴线方向的距离 $|AB|$ 的3次测量的平均值（方法3），mm。

P ——卡尺对校准用纯铝试板厚度3次测量平均值，mm。

E.3 测量不确定度的来源分析

测量不确定来源有：

- 1) 由输入量 H 所引入的标准不确定度分量 u_1 ；
- 2) 由输入量 P 所引入的标准不确定度分量 u_2 。

E.4 测量不确定度评定

E.4.1 方法1的测量不确定度评定

E.4.1.1 由输入量 H 引入的不确定度 u_1

1) 由测量重复性引入的不确定度分量 $u_{1(h)}$

对于方法1：在规定环境条件下，用深度千分尺测量铝板表面冲击凹坑深度，重复测量10次，用贝塞尔公式计算得到标准偏差，结果见表E.1。

表E.1 方法1凹坑深度重复测量数据

冲击凹坑深度												
第 <i>i</i> 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值 (mm)	标准 偏差 s (mm)
测量值 (mm)	3.002	2.993	3.002	3.000	3.001	2.995	3.001	3.000	2.997	2.996	2.999	0.0032

依据要求，实际测量3次，则 $n=3$ ，所以：

$$u_{1(h)} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.0032}{\sqrt{3}} = 0.0018 \text{ mm}$$

2) 由测量标准引入的不确定度分量 $u_{2(h)}$

测量标准引入的不确定度主要来自深度千分尺误差，深度千分尺的最大允许误差为 $\pm 0.004 \text{ mm}$ ，则区间半宽 $a=0.004 \text{ mm}$ ，满足均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_{2(h)} = \frac{a}{k} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0023 \text{ mm}$$

3) 由输入量 H 引入的合成不确定度分量 u_1

由于各影响量相互独立，则合成标准不确定度为：

$$u_1 = \sqrt{u_{1(h)}^2 + u_{2(h)}^2} = \sqrt{0.0018^2 + 0.0023^2} = 0.0029 \text{ mm}$$

E.4.1.2 由输入量 P 所引入的不确定度 u_2 1) 由测量重复性引入的不确定度分量 $u_{1(P)}$

在规定环境条件下，用卡尺对校准用纯铝试板厚度重复测量10次，用贝塞尔公式计算得到数据，结果见表E.2。

表 E.2 方法1校准用纯铝试板厚度重复测量数据

校准用纯铝试板厚度												
第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值 (mm)	标准 偏差 $s(\text{mm})$
测量值 (mm)	0.96	0.97	0.97	0.98	0.99	0.98	0.99	0.95	0.97	0.97	0.973	0.0125

依据要求，实际测量3次，所以：

$$u_{1(P)} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.0125}{\sqrt{3}} = 0.0018 \text{ mm}$$

2) 由卡尺最大允许误差引入的不确定度分量 $u_{2(P)}$

测量范围（0~150）mm的卡尺最大允许误差为 $\pm 0.02 \text{ mm}$ ，区间半宽 $a=0.02 \text{ mm}$ ，符合均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_{2(P)} = \frac{a}{k} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.0115 \text{ mm}$$

3) 由输入量 P 引入的合成不确定度分量 u_2

由于各影响量相互独立，则合成标准不确定度为：

$$u_2 = \sqrt{u_{1(P)}^2 + u_{2(P)}^2} = \sqrt{0.0018^2 + 0.0115^2} = 0.0116 \text{ mm}$$

E.4.2 方法2的测量不确定度评定

E.4.2.1 由输入量 H 引入的不确定度 u_1 1) 由测量重复性引入的不确定度分量 $u_{1(H)}$

在规定环境条件下，用深度千分尺对冲头上部至压紧螺帽上平面的距离重复测量10次，用贝塞尔公式计算得到标准偏差，结果见表E.3。

表E.3 方法2冲头上部至压紧螺帽上平面的距离重复测量数据

冲头上部至压紧螺帽上平面的距离												
第 <i>i</i> 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值 (mm)	标准 偏差 <i>s</i> (mm)
测量值 (mm)	3.002	3.002	3.002	3.002	3.001	3.002	3.001	3.002	3.002	3.001	3.002	0.0005

依据要求，实际测量3次，所以：

$$u_{1(h)} = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.0003 \text{ mm}$$

2) 由测量标准引入的不确定度分量 $u_{2(h)}$

测量标准引入的不确定度主要来自深度千分尺误差，深度千分尺的最大允许误差为 $\pm 0.004 \text{ mm}$ ，区间半宽 $a=0.004 \text{ mm}$ ，满足均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_{2(h)} = \frac{a}{k} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0023 \text{ mm}$$

3) 由输入量 H 引入的合成不确定度分量 u_1

由于各影响量相互独立，则合成标准不确定度为：

$$u_1 = \sqrt{u_{1(h)}^2 + u_{2(h)}^2} = \sqrt{0.0003^2 + 0.0023^2} = 0.0023 \text{ mm}$$

E.4.2.2 由输入量 P 引入的不确定度 u_2

1) 由测量重复性引入的不确定度分量 $u_{1(p)}$

在规定环境条件下，用卡尺对校准用纯铝试板厚度重复测量10次，用贝塞尔公式计算得到标准偏差，结果见表E.4。

表E.4 方法2校准用纯铝试板厚度重复测量数据

校准用纯铝试板厚度												
第 <i>i</i> 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值 (mm)	标准 偏差 <i>s</i> (mm)
测量值 (mm)	0.96	0.97	0.97	0.98	0.99	0.98	0.99	0.95	0.97	0.97	0.973	0.0125

依据要求，实际测量3次，所以：

$$u_{1(p)} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.0125}{\sqrt{3}} = 0.0018\text{mm}$$

2) 由测量标准引入的不确定度分量 $u_{2(p)}$

测量范围（0~150）mm的卡尺最大允许误差为 ± 0.02 mm，半宽为0.02 mm，符合均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u_{2(p)} = \frac{a}{k} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.0115\text{mm}$$

3) 由输入量 P 引入的合成不确定度分量 u_2

由于各影响量相互独立，则合成标准不确定度为：

$$u_2 = \sqrt{u_{1(p)}^2 + u_{2(p)}^2} = \sqrt{0.0018^2 + 0.0115^2} = 0.0116\text{mm}$$

E.4.3 方法3测量不确定度评定

E.4.3.1 由输入量 H 引入的不确定度 u_1

1) 由测量重复性引入的不确定度分量 $u_{1(h)}$

在规定环境条件下，用卡尺测量冲头上的标记位置A与B平行轴线方向的距离 $|AB|$ ，重复测量10次，用贝塞尔公式计算得到标准偏差，结果见表E.5。

表 E.5 方法 3 位置 A 与 B 平行轴线方向的距离重复测量数据

位置 A 与 B 平行轴线方向的距离												
第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值 (mm)	标准 偏差 (mm)
测量值 (mm)	3.00	2.98	2.96	2.98	2.98	3.00	2.96	2.96	2.98	2.96	2.98	0.0158

依据要求，实际测量3次，所以：

$$u_{1(h)} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.0158}{\sqrt{3}} = 0.0091\text{mm}$$

2) 由测量标准引入的不确定度分量 $u_{2(h)}$

卡尺最大允许误差为 ± 0.02 mm，则区间半宽
=0.02mm，符合均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u_{2(h)} = \frac{a}{k} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.0115\text{mm}$$

3) 由输入量 H 引入的合成不确定度分量 u_1

各影响量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_1 = \sqrt{u_{1(h)}^2 + u_{2(h)}^2} = \sqrt{0.0091^2 + 0.0115^2} = 0.0147\text{mm}$$

E.4.3.2 由输入量 P 引入的不确定度 u_2 1) 由测量重复性引入的不确定度分量 $u_{1(P)}$

在规定环境条件下，用卡尺对纯铝试板厚度重复测量10次，用贝塞尔公式计算得到数据，测量数据见表E.6。

表E.6 方法3校准用纯铝试板厚度重复测量数据

纯铝试板厚度												
第 <i>i</i> 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值 (mm)	标准 偏差 <i>s</i> (mm)
测量值 (mm)	0.96	0.97	0.97	0.98	0.99	0.98	0.99	0.95	0.97	0.97	0.973	0.0125

依据要求，实际测量3次，所以：

$$u_{1(P)} = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.0018\text{mm}$$

2) 由测量标准引入的不确定度分量 $u_{2(P)}$

测量范围（0~150）mm的卡尺最大允许误差为 ± 0.02 mm，区间半宽 $a=0.02$ mm，符合均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_{2(P)} = \frac{a}{k} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.0115\text{mm}$$

3) 由输入量 P 引入的合成不确定度分量 u_2

由于各影响量相互独立，则合成标准不确定度为：

$$u_2 = \sqrt{u_{1(P)}^2 + u_{2(P)}^2} = \sqrt{0.0018^2 + 0.0115^2} = 0.0116\text{mm}$$

E.5 合成标准不确定度计算

由于各影响量相互独立，则合成标准不确定度为：

$$\text{方法 1: } u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.0029^2 + 0.0116^2} = 0.0120\text{mm}$$

$$\text{方法 2: } u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.0023^2 + 0.0116^2} = 0.0118\text{mm}$$

$$\text{方法 3: } u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.0127^2 + 0.0122^2} = 0.0176\text{mm}$$

E.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k = 2$ ，扩展不确定度为：

$$\text{方法1: } U = k \cdot u_c = 2 \times 0.0120 = 0.024\text{mm} \quad (k=2)$$

$$\text{方法2: } U = k \cdot u_c = 2 \times 0.0118 = 0.024\text{mm} \quad (k=2)$$

$$\text{方法3: } U = k \cdot u_c = 2 \times 0.0176 = 0.04\text{mm} \quad (k=2)$$
