

湖北省地方计量技术规范

JJF (鄂) ××-2024

摆锤敲入仪校准规范

Calibration specification for Pendulum bob knock-in instrument

(征求意见稿)

2024-XX-XX 发布

2024-XX-XX 实施

湖北省市场监督管理局 发布

摆锤敲入仪校准规范

Calibration specification for Pendulum bob
knock-in instrument

JJF (鄂) XX -2024

归口单位：湖北省市场监督管理局

主要起草单位：武汉市计量测试检定（研究）所

济南朗睿检测技术有限公司

参加起草单位：

本规范委托武汉市计量测试检定（研究）所负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

目 录.....	I
引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 测量标准及其他设备.....	2
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准前准备工作.....	3
7.2 锤头质量.....	3
7.3 摆杆直径.....	3
7.4 轴承中心到锤头中心的距离.....	3
7.5 摆动角度.....	4
7.6 最大摆动速度.....	4
8 校准结果表达.....	4
9 复校时间间隔.....	5
附录 A 锤头质量测量结果的不确定度评定.....	6
附录 B 摆杆直径测量结果的不确定度评定.....	9
附录 C 轴承中心到锤头中心的距离测量结果的不确定度评定.....	12
附录 D 摆动角度测量结果的不确定度评定.....	19
附录 E 最大摆动速度测量结果的不确定度评定.....	22
附录 F 校准记录参考格式.....	25
附录 G 校准证书（内页）参考格式.....	26

引 言

本规范以 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》及 JJF 1059.1 《测量不确定度评定与表示》作为基础性系列规范进行制定。

本规范为首次发布。

摆锤敲入仪校准规范

1 范围

本规范适用于摆锤敲入仪的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

T/CECS 552 摆入法检测砖与筑砂抗压强度技术规程

T/CECS 678 摆锤敲入法检测蒸压加气混凝土砌块与砂浆抗压强度技术规程

T/CECS 964 摆锤敲入法检测钢材屈服强度技术规程

T/CECS 965 摆锤敲入法检测木材强度技术规程

T/CECS 1090 摆锤敲入法检测混凝土抗压强度技术规程

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

3 术语

3.1 摆动角度 swing angle

工作状态下,摆杆和锤头从锁定位置摆动到自由悬挂位置的角度。

3.2 最大摆动速度 maximum swing velocity

当将摆锤敲入仪水平向固定于支架上时,锤头自由摆动的最大速度。

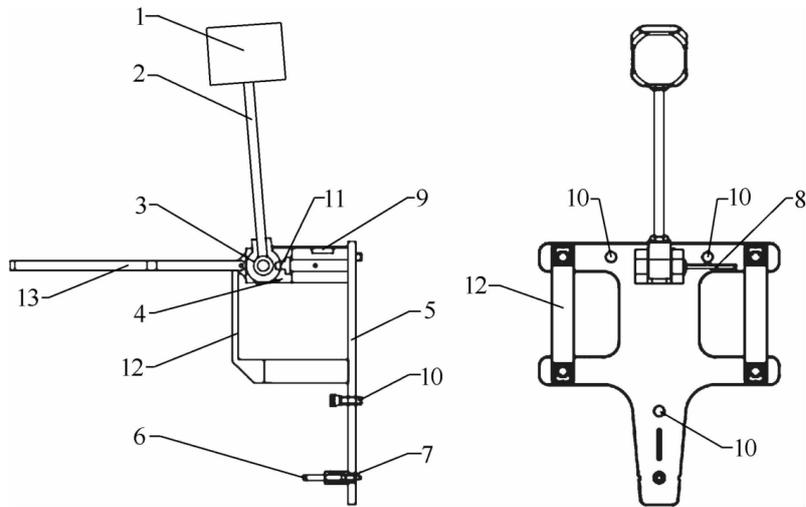
4 概述

摆锤敲入仪是依靠锤头自由下摆将测钉敲入受检材料中,依据测钉的敲入深度来推定其抗压强度或其他指标的设备。

摆锤敲入仪主要由锤头、摆杆、悬臂、竖板、测钉、测钉座、激发杆、水准泡、调节螺丝、限位销、把手、防护架等组成。其结构示意图见图1。

其检测方法和原理是:首先将锤头提至顶部至限位,此时角度大于 180° ,触动限位销复位,反向拉回摆杆至锁定位置,此时摆杆将锁定在 175° 角位置。然后将摆锤敲入仪的竖板紧贴在构件上,使竖板处于铅直位置。当构件本身不完全铅直时,可调整摆锤敲入仪上的调节螺丝,使水准泡居中,以保证竖板处于铅直位置。将测钉插入竖板上的测钉座中,对准测点,紧压摆锤敲入仪的把手,确认水准泡居中后。按压激发杆,使锤头自由下摆,将测钉

敲入。最后用配套使用的深度测量表测量测孔的深度，并根据相关规程计算构件抗压强度。



1-锤头；2-摆杆；3-轴承；4-悬臂；5-竖板；6-测钉；7-测钉座；8-激发杆；9-水准泡；10-调节螺丝；11-限位销；12-把手；13-防护架

图 1. 摆锤敲入仪结构示意图

5 计量特性

摆锤敲入仪计量特性见表 1。

表 1 摆锤敲入仪的校准项目及计量特性

序号	校准项目	技术要求
1	锤头质量	(2 ± 0.02) kg
2	摆杆直径	(10 ± 0.1) mm
3	轴承中心到锤头中心的距离	(223 ± 2) mm
4	摆动角度	$(175 \pm 1)^\circ$
5	最大摆动速度	不小于 1.94m/s

注：以上所有指标不适用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

温度 $(0 \sim 40)$ °C，相对湿度不大于 85%。校准过程中应无影响校准结果的振动等影响因素。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 2。

表 2 测量标准及其他设备一览表

序号	校准项目	校准用标准器	技术要求
1	锤头质量	电子天平	最大允许误差不大于锤头质量允差的 1/3
2	摆杆直径	游标卡尺	(0~200) mm, 分度值 0.02mm
3	轴承中心到锤头中心的距离	游标卡尺	(0~300) mm, 分度值 0.02mm
4	摆动角度	倾角仪	示值误差不大于摆动角度允差的 1/3
5	最大摆动速度	线速度测量仪	MPE: ±2%

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前准备工作

检查摆锤敲入仪的外观及常规功能, 确认其各部分可正常工作, 锤头可自由摆动且可拆卸。

7.2 锤头质量

将摆锤敲入仪的锤头卸下, 放置在电子天平上称量 3 次, 取 3 次称量值的算术平均值作为锤头质量的测得值。

7.3 摆杆直径

摆杆直径用游标卡尺直接测量, 在摆杆前、中、后部分各选取 1 个位置, 在每个位置互相垂直的方向上各测量一次直径, 共测量 6 次, 记录每一次的测得值。

7.4 轴承中心到锤头中心的距离

轴承中心到锤头中心的距离采用游标卡尺分段间接测量的方法, 示意图见图 2。先用游标卡尺测量锤头外侧至轴承远端的距离 l_1 , 然后用游标卡尺测量轴承直径 d 和锤头内侧至锤头外侧的距离 l_2 , 轴承中心到锤头中心的距离 l 按公式 (1) 计算:

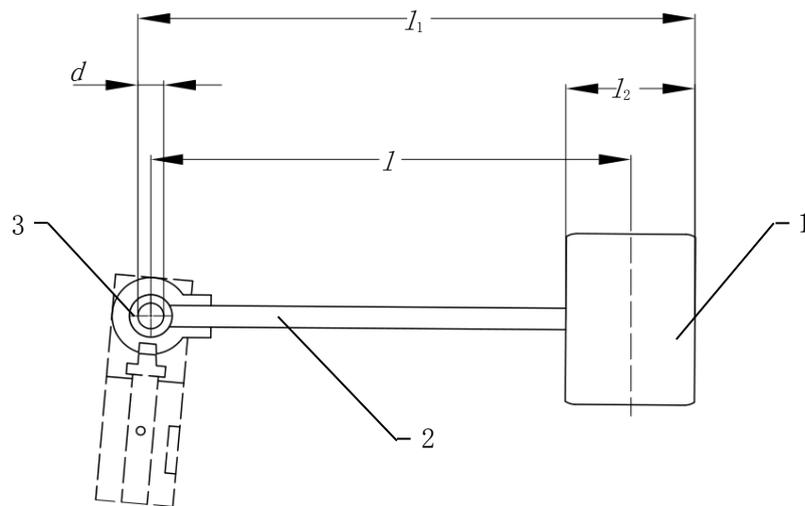
$$l = l_1 - \frac{(d + l_2)}{2} \quad (1)$$

式中: l ——轴承中心到锤头中心的距离, mm;

l_1 ——锤头外侧至轴承远端的距离, mm;

d ——轴承直径, mm;

l_2 ——锤头内侧至锤头外侧的距离, mm。



1-锤头；2-摆杆；3-轴承

图 2. 轴承中心到锤头中心的距离示意图

7.5 摆动角度

模拟摆锤敲入仪的工作状态，将锤头提至顶部至限位，触动限位销复位，反向拉回摆杆至锁定位置。将倾角仪吸附在锤头上，示值清零。随后拨动激发杆，控制锤头缓慢摆动至铅直位置，读出倾角仪上的示值为摆动角度。此过程连续进行 3 次，取 3 次测量值的算术平均值作为摆动角度的测得值。

7.6 最大摆动速度

将摆锤敲入仪水平（竖板为水平状态）固定在定制支架上，线速度测量仪安装于摆锤摆动轨迹最低点两侧，使线速度测量仪的激光路径通过锤头中心。将锤头提至顶部至限位，触动限位销复位，反向拉回摆杆至锁定位置。确认安全后拨动激发杆，让锤头自由摆动，读出线速度测量仪上的峰值即为最大摆动速度。此过程连续进行 3 次，取 3 次测量值的算术平均值作为最大摆动速度的测得值。

8 校准结果表达

经校准的摆锤敲入仪出具校准证书，校准证书（内页）推荐格式见附录 G，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；
- 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, 应说明被校准对象的接受日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- 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) 校准证书签发人的签名或等效标识;
- 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。

9 复校时间间隔

摆锤敲入仪的复校时间间隔由用户根据使用状况自主确定, 建议复校时间间隔一般不超过3年。

附录 A

锤头质量测量结果的不确定度评定

A.1 概述

A.1.1 被测对象：摆锤敲入仪的锤头质量，技术要求： (2 ± 0.02) kg。

A.1.2 测量标准：电子天平，测量范围（5~34100）g，准确度等级 Ⅱ级。

A.1.3 测量方法：依据 7.2 所述方法对被摆锤敲入仪的锤头质量进行测量。

A.2 测量模型

摆锤敲入仪锤头质量的测量模型：

$$M = \overline{M_i} \quad (\text{A.1})$$

式中：

M ——锤头质量的测得值，kg；

M_i ——锤头质量的单次测量值，kg。

A.3 不确定度来源

a) 电子天平引入的标准不确定度 $u(M_s)$ ；

b) 测量重复性引入的标准不确定度 $u(M_R)$ ；

c) 电子天平的分辨力引入的标准不确定度 $u'(M_R)$ 。

A.4 标准不确定度评定

A.4.1 电子天平引入的标准不确定度 $u(M_s)$

本次测量中测量标准是一台测量范围（5~34100）g，准确度等级 Ⅱ级的电子天平，其在 2kg 测量点的最大允许误差为 ± 0.5 g，按均匀分布，其区间半宽 $a = 0.5$ g，取 $k = \sqrt{3}$ 。

则电子天平引入的标准不确定度 $u(M_s)$ 为：

$$u(M_s) = \frac{a}{k} = 0.29\text{g} \quad (\text{A.2})$$

A.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(M_R)$

对被测摆锤敲入仪的锤头质量重复测量 3 次，记录锤头质量 3 次示值分别为 2.0016、

2.0016、2.0014 (单位: kg)。校准过程中, 取 3 次测量值的平均值作为测量结果, 用极差法计算, 则测量重复性引入的标准不确定度 $u'(M_R)$ 为:

$$u'(M_R) = \frac{s(M_R)}{\sqrt{n}} = \frac{M_{i\max} - M_{i\min}}{C_n \times \sqrt{n}} = 0.068\text{g} \quad (\text{A.3})$$

式中:

$M_{i\max}$ —— 锤头质量的单次测量值的最大值, kg;

$M_{i\min}$ —— 锤头质量的单次测量值最小值, kg;

n —— 测量次数, 取 $n=3$;

C_n —— 极差系数, $n=3$ 时, C_n 取 1.69。

A.4.3 分辨力引入的标准不确定度 $u'(M_R)$

测量标准电子天平的分辨力为 0.1g, 按均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则电子天平分辨力引入的标准不确定度 $u'(M_R)$ 为:

$$u'(M_R) = \frac{r}{2\sqrt{3}} = 0.029\text{g} \quad (\text{A.4})$$

式中: r —— 测量标准电子天平的分辨力, g。

A.5 合成标准不确定度评定

各个分量的标准不确定度汇总见表 A.1。

表 A.1 各个分量的标准不确定度汇总见表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	标准不确定度来源	标准不确定度类型	标准不确定度	灵敏系数 $c(x_i)$	$ c(x_i) \times u(x_i)$
$u(M_s)$	电子天平引入	B类	0.29g	1	0.29g
$u(M_R)$	测量重复性引入	A类	0.068g	1	0.068g
$u'(M_R)$	分辨力引入	B类	0.029g	1	0.029g

由测量重复性引入的标准不确定度 $u(M_R)$ 和分辨力引入的标准不确定度 $u'(M_R)$ 两者取

大，所以合成不确定度 $u_c(M)$ 按公式 A.4 计算：

$$u_c(M) = \sqrt{c^2(M_s) u^2(M_s) + c^2(M_R) u^2(M_R)} = 0.3g \quad (\text{A.5})$$

A.6 扩展不确定度评定

取包含因 $k = 2$ ，则摆锤敲入仪的锤头质量测量结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(M) = 0.6g \quad (\text{A.6})$$

附录 B

摆杆直径测量结果的不确定度评定

B.1 概述

B.1.1 被测对象：摆锤敲入仪的摆杆直径，技术要求：(10±0.1) mm。

B.1.2 测量标准：数显卡尺，测量范围(0~200) mm，分辨力 0.01mm。

B.1.3 测量方法：用数显卡尺直接测量摆杆直径，取同一位置、同一方向重复测量 3 次。

B.2 测量模型

摆锤敲入仪摆杆直径的测量模型：

$$D = \overline{D_i} \quad (\text{B.1})$$

式中：

D ——摆杆直径的测得值，mm；

D_i ——摆杆直径的单次测量值，mm。

B.3 不确定度来源

a) 数显卡尺引入的标准不确定度 $u(D_s)$ ；

b) 测量重复性引入的标准不确定度 $u(D_R)$ ；

c) 数显卡尺的分辨力引入的标准不确定度 $u'(D_R)$ 。

B.4 标准不确定度评定

B.4.1 数显卡尺引入的标准不确定度 $u(D_s)$

本次测量中测量标准是一把测量范围(0~200)mm，分辨力 0.01mm 的数显卡尺，0~70mm 内，最大允许误差为±0.02mm，按均匀分布，其区间半宽 $a = 0.02\text{mm}$ ，取 $k = \sqrt{3}$ 。则数显卡尺引入的标准不确定度 $u(D_s)$ 为：

$$u(D_s) = \frac{a}{k} = 0.012\text{mm} \quad (\text{B.2})$$

B.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(D_R)$

对被测摆锤敲入仪同一位置、同一方向重复测量 3 次，记录摆杆直径 3 次示值分别为

9.95、9.93、9.94 (单位: mm)。实际校准过程中, 取单次测量值作为测量结果, 用极差法计算, 则测量重复性引入的标准不确定度 $u'(D_R)$ 为:

$$u'(D_R) = s(D_R) = \frac{D_{i\max} - D_{i\min}}{C_n} = 0.012\text{mm} \quad (\text{B.3})$$

式中:

$D_{i\max}$ ——摆杆直径的单次测量值的最大值, mm;

$D_{i\min}$ ——摆杆直径的单次测量值最小值, mm;

C_n ——极差系数, $n=3$ 时, C_n 取 1.69。

B.4.3 分辨力引入的标准不确定度 $u'(D_R)$

测量标准数显卡尺的分辨力为 0.01mm, 按均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则数显卡尺分辨力引入的标准不确定度 $u'(D_R)$ 为:

$$u'(M_R) = \frac{r}{2\sqrt{3}} = 0.003\text{mm} \quad (\text{B.4})$$

式中: r ——测量标准数显卡尺的分辨力, mm。

B.5 合成标准不确定度评定

各个分量的标准不确定度汇总见表 B.1。

表 B.1 各个分量的标准不确定度汇总见表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	标准不确定度来源	标准不确定度类型	标准不确定度	灵敏系数 $c(x_i)$	$ c(x_i) \times u(x_i)$
$u(D_s)$	数显卡尺引入	B类	0.012mm	1	0.012mm
$u(D_R)$	测量重复性引入	A类	0.012mm	1	0.012mm
$u'(D_R)$	分辨力引入	B类	0.003mm	1	0.003mm

由测量重复性引入的标准不确定度 $u(D_R)$ 和分辨力引入的标准不确定度 $u'(D_R)$ 两者取大, 所以合成不确定度 $u_c(D)$ 按公式 B.4 计算:

$$u_c(D) = \sqrt{c^2(D_s) u^2(D_s) + c^2(D_R) u^2(D_R)} = 0.017\text{mm} \quad (\text{B. 5})$$

B.6 扩展不确定度评定

取包含因 $k = 2$ ，则摆锤敲入仪的摆杆直径测量结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(D) = 0.04\text{mm} \quad (\text{B. 6})$$

附录 C

轴承中心到锤头中心的距离测量结果的不确定度评定

C.1 概述

C.1.1 被测对象：轴承中心到锤头中心的距离，技术要求： (223 ± 2) mm。

C.1.2 测量标准：数显卡尺，测量范围 $(0 \sim 500)$ mm，分辨力 0.01mm。

C.1.3 测量方法：轴承中心到锤头中心的距离采用数显卡尺分段间接测量的方法，先用数显卡尺测量锤头外侧至轴承远端的距离 l_1 ，然后用数显卡尺测量轴承直径 d 和锤头内侧至锤头外侧的距离 l_2 ，轴承中心到锤头中心的距离 l 按公式 (C.1) 计算。

C.2 测量模型

轴承中心到锤头中心的距离测量模型：

$$l = l_1 - \frac{(d + l_2)}{2} \quad (\text{C.1})$$

式中：

l ——轴承中心到锤头中心的距离，mm；

l_1 ——锤头外侧至轴承远端的距离，mm；

d ——轴承直径，mm；

l_2 ——锤头内侧至锤头外侧的距离，mm。

C.3 不确定度来源

- a) 锤头外侧至轴承远端的距离引入的标准不确定度 $u(l_1)$ ；
- b) 轴承直径引入的标准不确定度 $u(d)$ ；
- c) 锤头内侧至锤头外侧的距离引入的标准不确定度 $u(l_2)$ 。

C.4 标准不确定度评定

C.4.1 锤头外侧至轴承远端的距离引入的标准不确定度 $u(l_1)$

锤头外侧至轴承远端的距离引入的标准不确定度由以下 3 个分量组成：

- a) 数显卡尺引入的标准不确定度 $u(l_{1B})$ 。
- b) 测量重复性引入的标准不确定度 $u(l_{1s})$ 。

c) 数显卡尺分辨力引入的标准不确定度 $u(I_{1d})$ 。

C.4.1.1 数显卡尺引入的标准不确定度 $u(I_{1B})$

本次测量中测量标准是一把测量范围(0~500)mm,分辨力0.01mm的数显卡尺,0~70mm内,最大允许误差为±0.02mm,(70~200)mm内,最大允许误差为±0.03mm,(200~300)mm内,最大允许误差为±0.04mm, I_1 测量值约为260mm,按均匀分布,其区间半宽 $a = 0.04\text{mm}$,取 $k = \sqrt{3}$ 。则数显卡尺引入的标准不确定度 $u(I_{1B})$ 为:

$$u(I_{1B}) = \frac{a}{k} = 0.023\text{mm} \quad (\text{C.2})$$

C.4.1.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(I_{1s})$

对被测摆锤敲入仪锤头外侧至轴承远端的距离重复测量3次,记录3次示值分别为260.67、260.54、260.89(单位:mm)。校准过程中,取单次测量值作为测量结果,用极差法计算,则测量重复性引入的标准不确定度 $u(I_{1s})$ 为:

$$u(I_{1s}) = s(I_1) = \frac{I_{1\max} - I_{1\min}}{C_n} = 0.20\text{mm} \quad (\text{C.3})$$

式中:

$I_{1\max}$ ——摆杆直径的单次测量值的最大值,mm;

$I_{1\min}$ ——摆杆直径的单次测量值最小值,mm;

C_n ——极差系数, $n=3$ 时, C_n 取1.69。

C.4.1.3 数显卡尺分辨力引入的标准不确定度 $u(I_{1d})$

测量标准数显卡尺的分辨力为0.01mm,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,则数显卡尺分辨力引入的标准不确定度 $u(I_{1d})$ 为:

$$u(I_{1d}) = \frac{r}{2\sqrt{3}} = 0.003\text{mm} \quad (\text{C.4})$$

式中: r ——测量标准数显卡尺的分辨力,mm。

C. 4. 1. 4 锤头外侧至轴承远端的距离的合成不确定度评定

各个分量的标准不确定度汇总见表 C. 1。

表 C. 1 各个分量的标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	标准不确定度来源	标准不确定度类型	标准不确定度	灵敏系数 $c(x_i)$	$ c(x_i) \times u(x_i)$
$u(I_{1B})$	数显卡尺引入	B类	0.023mm	1	0.023mm
$u(I_{1s})$	测量重复性引入	A类	0.20mm	1	0.20mm
$u(I_{1d})$	分辨力引入	B类	0.003mm	1	0.003mm

由于重复性引入的标准不确定度 $u(I_{1s})$ 和分辨力引入的标准不确定度 $u(I_{1d})$ 两者取大,

所以合成不确定度 $u_c(I_1)$ 按公式 C. 4 计算:

$$u_c(I_1) = \sqrt{c^2(I_{1B}) u^2(I_{1B}) + c^2(I_{1s}) u^2(I_{1s})} = 0.20\text{mm} \quad (\text{C. 5})$$

C. 4. 2 轴承直径引入的标准不确定度 $u(d)$

轴承直径引入的标准不确定度由以下 3 个分量组成:

- a) 数显卡尺引入的标准不确定度 $u(d_B)$;
- b) 测量重复性引入的标准不确定度 $u(d_s)$;
- c) 数显卡尺分辨力引入的标准不确定度 $u(d_d)$ 。

C. 4. 2. 1 数显卡尺引入的标准不确定度 $u(d_B)$

本次测量中测量标准是一把测量范围(0~500)mm, 分辨力 0.01mm 的数显卡尺, 0~70mm 内, 最大允许误差为 $\pm 0.02\text{mm}$, (70~200) mm 内, 最大允许误差为 $\pm 0.03\text{mm}$, (200~300) mm 内, 最大允许误差为 $\pm 0.04\text{mm}$, d 测量值约为 21mm, 按均匀分布, 其区间半宽 $a = 0.02\text{mm}$, 取 $k = \sqrt{3}$ 。则数显卡尺引入的标准不确定度 $u(d_B)$ 为:

$$u(d_B) = \frac{a}{k} = 0.012\text{mm} \quad (\text{C. 6})$$

C. 4. 2. 2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(d_s)$

对被测摆锤敲入仪轴承直径重复测量 3 次，记录 3 次示值分别为 21.00、20.99、21.00 (单位: mm)。校准过程中，取单次测量值作为测量结果，用极差法计算，则测量重复性引入的标准不确定度 $u(d_s)$ 为:

$$u(d_s) = s(d) = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{C_n} = 0.006\text{mm} \quad (\text{C.7})$$

式中:

d_{\max} ——轴承直径的单次测量值的最大值, mm;

d_{\min} ——轴承直径的单次测量值最小值, mm;

C_n ——极差系数, $n=3$ 时, C_n 取 1.69。

C.4.2.3 数显卡尺分辨力引入的标准不确定度 $u(d_d)$

测量标准数显卡尺的分辨力为 0.01mm, 按均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则数显卡尺分辨力引入的标准不确定度 $u(d_d)$ 为:

$$u(d_d) = \frac{r}{2\sqrt{3}} = 0.003\text{mm} \quad (\text{C.8})$$

式中: r ——测量标准数显卡尺的分辨力, mm。

C.4.2.4 轴承直径的合成不确定度评定

各个分量的标准不确定度汇总见表 C.2。

表 C.2 各个分量的标准不确定度汇总见表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	标准不确定度来源	标准不确定度类型	标准不确定度	灵敏系数 $c(x_i)$	$ c(x_i) \times u(x_i)$
$u(d_b)$	数显卡尺引入	B类	0.012mm	1	0.012mm
$u(d_s)$	测量重复性引入	A类	0.006mm	1	0.006mm
$u(d_d)$	分辨力引入	B类	0.003mm	1	0.003mm

由于重复性引入的标准不确定度 $u(d_s)$ 和分辨力引入的标准不确定度 $u(d_d)$ 两者取大,

所以合成不确定度 $u_c(d)$ 按公式 C.9 计算:

$$u_c(d) = \sqrt{c^2(d_B) u^2(d_B) + c^2(d_s) u^2(d_s)} = 0.013\text{mm} \quad (\text{C.9})$$

C.4.3 锤头内侧至锤头外侧的距离引入的标准不确定度 $u(I_2)$

锤头内侧至锤头外侧的距离引入的标准不确定度由以下 3 个分量组成:

- a) 数显卡尺引入的标准不确定度 $u(I_{2B})$ 。
- b) 测量重复性引入的标准不确定度 $u(I_{2s})$ 。
- c) 数显卡尺分辨力引入的标准不确定度 $u(I_{2d})$ 。

C.4.3.1 数显卡尺引入的标准不确定度 $u(I_{2B})$

本次测量中测量标准是一把测量范围(0~500)mm, 分辨力 0.01mm 的数显卡尺, 0~70mm 内, 最大允许误差为 $\pm 0.02\text{mm}$, (70~200) mm 内, 最大允许误差为 $\pm 0.03\text{mm}$, (200~300) mm 内, 最大允许误差为 $\pm 0.04\text{mm}$, I_2 测量值约为 60mm, 按均匀分布, 其区间半宽 $a = 0.02\text{mm}$, 取 $k = \sqrt{3}$ 。则数显卡尺引入的标准不确定度 $u(I_{2B})$ 为:

$$u(I_{2B}) = \frac{a}{k} = 0.012\text{mm} \quad (\text{C.10})$$

C.4.3.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(I_{2s})$

对被测摆锤敲入仪锤头内侧至锤头外侧的距离重复测量 3 次, 记录 3 次示值分别为 60.13、60.12、60.12 (单位: mm)。校准过程中, 取单次测量值作为测量结果, 用极差法计算, 则测量重复性引入的标准不确定度 $u(I_{2s})$ 为:

$$u(I_{2s}) = s(I_1) = \frac{I_{2\max} - I_{2\min}}{C_n} = 0.006\text{mm} \quad (\text{C.11})$$

式中:

$I_{2\max}$ ——摆杆直径的单次测量值的最大值, mm;

$I_{2\min}$ ——摆杆直径的单次测量值最小值, mm;

C_n ——极差系数, $n = 3$ 时, C_n 取 1.69。

C.4.3.3 数显卡尺分辨力引入的标准不确定度 $u(I_{2d})$

测量标准数显卡尺的分辨力为 0.01mm，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则数显卡尺分辨力引入的标准不确定度 $u(I_{2d})$ 为：

$$u(I_{2d}) = \frac{r}{2\sqrt{3}} = 0.003\text{mm} \quad (\text{C.12})$$

式中： r ——测量标准数显卡尺的分辨力，mm。

C.4.3.4 锤头内侧至锤头外侧距离的合成不确定度评定

各个分量的标准不确定度汇总见表 C.3。

表 C.3 各个分量的标准不确定度汇总见表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	标准不确定度来源	标准不确定度类型	标准不确定度	灵敏系数 $c(x_i)$	$ c(x_i) \times u(x_i)$
$u(I_{2B})$	数显卡尺引入	B类	0.012mm	1	0.012mm
$u(I_{2S})$	测量重复性引入	A类	0.006mm	1	0.006mm
$u(I_{2d})$	分辨力引入	B类	0.003mm	1	0.003mm

由于重复性引入的标准不确定度 $u(I_{2S})$ 和分辨力引入的标准不确定度 $u(I_{2d})$ 两者取大，且因各分量彼此独立，所以合成不确定度 $u_c(I_2)$ 按公式 C.4 计算：

$$u_c(I_2) = \sqrt{c^2(I_{2B}) u^2(I_{2B}) + c^2(I_{2S}) u^2(I_{2S})} = 0.013\text{mm} \quad (\text{C.13})$$

C.5 合成标准不确定度评定

轴承中心到锤头中心的距离采用分段间接测量的方法，用数显卡尺分别测量锤头外侧至轴承远端的距离 l_1 ，轴承半径 d 和锤头内侧至锤头外侧的距离 l_2 ，各分量互不相关，可以根据公式之间合成得到轴承中心到锤头中心的距离测量结果的合成不确定度。

各个分量的标准不确定度汇总见表 C.4。

表 C.4 各个分量的标准不确定度汇总见表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	标准不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 $c(x_i)$	$ c(x_i) \times u(x_i)$
$u_c(I_1)$	锤头外侧至轴承远端的距离的合成不确定度	0.20mm	1	0.20mm
$u_c(d)$	轴承直径的合成不确定度	0.013mm	-0.5	-0.007mm
$u_c(I_2)$	锤头内侧至锤头外侧距离的合成不确定度	0.013mm	-0.5	-0.007mm

因各分量彼此独立，所以合成不确定度 $u_c(I)$ 按公式 C.14 计算：

$$u_c(I) = \sqrt{c^2(I_1) u^2(I_1) + c^2(d) u^2(d) + c^2(I_2) u^2(I_2)} = 0.20\text{mm} \quad (\text{C.14})$$

C.6 扩展不确定度评定

取包含因 $k = 2$ ，则摆锤敲入仪的轴承中心到锤头中心的距离测量结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(I) = 0.40\text{mm} \quad (\text{C.15})$$

附录 D

摆动角度测量结果的不确定度评定

D.1 概述

D.1.1 被测对象：摆锤敲入仪的摆动角度，技术要求： $(175 \pm 1)^\circ$ 。

D.1.2 测量标准：数显倾角仪，测量范围 $(0 \sim 180)^\circ$ 。

D.1.3 测量方法：依据 7.5 所述方法对被摆锤敲入仪的摆动角度进行测量。

D.2 测量模型

摆锤敲入仪摆动角度的测量模型：

$$A = \overline{A_i} \quad (\text{D.1})$$

式中：

A ——摆动角度的测得值， $^\circ$ ；

A_i ——摆动角度的单次测量值， $^\circ$ 。

D.3 不确定度来源

a) 数显倾角仪引入的标准不确定度 $u(A_s)$ ；

b) 测量重复性引入的标准不确定度 $u(A_R)$ ；

c) 数显倾角仪的分辨力引入的标准不确定度 $u'(A_R)$ 。

D.4 标准不确定度评定

D.4.1 数显倾角仪引入的标准不确定度 $u(A_s)$

本次测量中测量标准是一个测量范围 $(0 \sim 180)^\circ$ ，分辨力 0.1° 的数显倾角仪，其最大允许误差为 $\pm 0.2^\circ$ ，按均匀分布，其区间半宽 $a = 0.2^\circ$ ，取 $k = \sqrt{3}$ 。则数显倾角仪引入的标准不确定度 $u(A_s)$ 为：

$$u(A_s) = \frac{a}{k} = 0.115^\circ \quad (\text{D.2})$$

D.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(A_R)$

对被测摆锤敲入仪的摆动角度重复测量 3 次，记录摆动角度 3 次示值分别为 175.6° 、

175.5°、175.6°。校准过程中，取3次测量值的平均值作为测量结果，用极差法计算，则测量重复性引入的标准不确定度 $u'(A_R)$ 为：

$$u'(A_R) = \frac{s(A_R)}{\sqrt{n}} = \frac{A_{i\max} - A_{i\min}}{C_n \times \sqrt{n}} = 0.034^\circ \quad (\text{D.3})$$

式中：

$A_{i\max}$ ——摆动角度的单次测量值的最大值，°；

$A_{i\min}$ ——摆动角度的单次测量值最小值，°；

n ——测量次数，取 $n=3$ ；

C_n ——极差系数， $n=3$ 时， C_n 取 1.69。

D.4.3 分辨力引入的标准不确定度 $u'(A_R)$

测量标准数显倾角仪的分辨力为 0.1° ，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则数显倾角仪分辨力引入的标准不确定度 $u'(A_R)$ 为：

$$u'(A_R) = \frac{r}{2\sqrt{3}} = 0.029^\circ \quad (\text{D.4})$$

式中： r ——测量标准数显倾角仪的分辨力，°。

D.5 合成标准不确定度评定

各个分量的标准不确定度汇总见表 D.1

表 D.1 各个分量的标准不确定度汇总见表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	标准不确定度来源	标准不确定度类型	标准不确定度	灵敏系数 $c(x_i)$	$ c(x_i) \times u(x_i)$
$u(A_s)$	数显倾角仪引入	B类	0.115°	1	0.115°
$u(A_R)$	测量重复性引入	A类	0.034°	1	0.034°
$u'(A_R)$	分辨力引入	B类	0.029°	1	0.029°

由测量重复性引入的标准不确定度 $u(A_R)$ 和分辨力引入的标准不确定度 $u'(A_R)$ 两者取

大，所以合成不确定度 $u_c(A)$ 按公式 D.4 计算：

$$u_c(A) = \sqrt{c^2(A_S) u^2(A_S) + c^2(A_R) u^2(A_R)} = 0.12^\circ \quad (\text{D.5})$$

D.6 扩展不确定度评定

取包含因 $k = 2$ ，则摆锤敲入仪的摆杆直径测量结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(A) = 0.3^\circ \quad (\text{D.6})$$

附录 E

最大摆动速度测量结果的不确定度评定

E.1 概述

E.1.1 被测对象：摆锤敲入仪的最大摆动速度，技术要求：不小于 1.94m/s。

E.1.2 测量标准：线速度测量仪，MPE：±2%。

E.1.3 测量方法：依据 7.6 所述方法对被摆锤敲入仪的最大摆动速度进行测量。

E.2 测量模型

摆锤敲入仪最大摆动速度的测量模型：

$$V = \overline{V_i} \quad (\text{E. 1})$$

式中：

V ——最大摆动速度的测得值，m/s；

V_i ——最大摆动速度的单次测量值，m/s。

E.3 不确定度来源

a) 线速度测量仪引入的标准不确定度 $u(V_s)$ ；

b) 测量重复性引入的标准不确定度 $u(V_R)$ ；

c) 线速度测量仪的分辨力引入的标准不确定度 $u'(V_R)$ 。

E.4 标准不确定度评定

E.4.1 线速度测量仪引入的标准不确定度 $u(V_s)$

本次测量中线速度测量仪的最大允许误差为±2%，按均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ 。最大摆动速度的测得值为 1.959 m/s 则数显倾角仪引入的标准不确定度 $u(V_s)$ 为：

$$u(V_s) = \frac{| \text{MPE} |}{k} = 0.023\text{m/s} \quad (\text{E. 2})$$

E.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(V_R)$

对被测摆锤敲入仪的最大摆动速度重复测量 3 次，记录最大摆动速度 3 次示值分别为 1.956、1.965、1.965（单位：m/s）。校准过程中，取 3 次测量值的平均值作为测量结果，

用极差法计算，则测量重复性引入的标准不确定度 $u'(V_R)$ 为：

$$u'(V_R) = \frac{s(V_R)}{\sqrt{n}} = \frac{V_{i\max} - V_{i\min}}{C_n \times \sqrt{n}} = 0.003\text{m/s} \quad (\text{E. 3})$$

式中：

$V_{i\max}$ ——最大摆动速度的单次测量值的最大值，m/s；

$V_{i\min}$ ——最大摆动速度的单次测量值最小值，m/s；

n ——测量次数，取 $n = 3$ ；

C_n ——极差系数， $n = 3$ 时， C_n 取 1.69。

E. 4.3 分辨力引入的标准不确定度 $u'(V_R)$

测量标准线速度测量仪的分辨力为 0.001m/s，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则线速度测量仪分辨力引入的标准不确定度 $u'(V_R)$ 为：

$$u'(V_R) = \frac{r}{2\sqrt{3}} = 0.0003\text{m/s} \quad (\text{E. 4})$$

式中： r ——测量标准线速度测量仪的分辨力，m/s。

E. 5 合成标准不确定度评定

各个分量的标准不确定度汇总见表 E. 1。

表 E. 1 各个分量的标准不确定度汇总见表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	标准不确定度来源	标准不确定度类型	标准不确定度	灵敏系数 $c(x_i)$	$ c(x_i) \times u(x_i)$
$u(V_s)$	线速度测量仪引入	B类	0.023 m/s	1	0.023 m/s
$u(V_R)$	测量重复性引入	A类	0.003 m/s	1	0.003 m/s
$u'(V_R)$	分辨力引入	B类	0.0003 m/s	1	0.0003 m/s

由测量重复性引入的标准不确定度 $u(V_R)$ 和分辨力引入的标准不确定度 $u'(V_R)$ 两者取

大，所以合成不确定度 $u_c(V)$ 按公式 E.4 计算：

$$u_c(V) = \sqrt{c^2(V_s) u^2(V_s) + c^2(V_R) u^2(V_R)} = 0.023\text{m/s} \quad (\text{E.5})$$

E.6 扩展不确定度评定

取包含因 $k = 2$ ，则摆锤敲入仪的最大摆动速度测量结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(V) = 0.046\text{m/s} \quad (\text{E.6})$$

附录 F

校准记录参考格式

摆锤敲入仪校准记录

记录编号: _____

委托单位 _____ 委托单位地址 _____

制造厂名 _____ 型号规格 _____ 出厂编号 _____

主标准器名称	规格型号	出厂编号	准确度等级/不确定度	证书号	有效期

校准依据 _____

校准日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日 校准温度 _____ °C 湿度 _____ %RH

校准员 _____ 核验员 _____ 校准地点 _____

序号	校准项目	技术要求	单位	校准结果						
				位置一		位置二		位置三		不确定度 $U; k=2$
1	锤头质量	2 ± 0.02	(kg)	1	2	3	平均值	不确定度 $U; k=2$		
2	摆杆直径	10 ± 0.1	(mm)	位置一		位置二		位置三		不确定度 $U; k=2$
				0°	90°	0°	90°	0°	90°	
3	轴承中心到锤头中心的距离	223 ± 2	(mm)	l_1	l_2	d	l	不确定度 $U; k=2$		
4	摆动角度	175 ± 1	(°)	1	2	3	平均值	不确定度 $U; k=2$		
5	最大摆动速度	不小于 1.94	(m/s)	1	2	3	平均值	不确定度 $U; k=2$		

附录 G

校准证书（内页）参考格式

摆锤敲入仪校准证书（内页）

序号	校准项目	技术要求	单位	校准结果						不确定度 $U; k=2$
1	锤头质量	2 ± 0.02	(kg)							
2	摆杆直径	10 ± 0.1	(mm)	位置一		位置二		位置三		
				0°	90°	0°	90°	0°	90°	
3	轴承中心到锤头中心的距离	223 ± 2	(mm)							
4	摆动角度	175 ± 1	(°)							
5	最大摆动速度	不小于 1.94	(m/s)							

