



中华人民共和国工业和信息化部
机械计量技术规范

JJF（机械）1120—2023

电动汽车用动力蓄电池挤压试验设备校准规范

（报批稿）

Calibration Specification for Electric Vehicle

Traction Battery Extrusion Test Equipments

202X—XX—XX 发布

202X—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

电动汽车用动力蓄电池挤压 试验设备校准规范

Calibration Specification for Electric Vehicle

Traction Battery Extrusion Test Equipments

JJF (机械)1120—2023

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：中国汽车工程研究院股份有限公司

参加起草单位：襄阳达安汽车检测中心有限公司

本规范委托中国机械工业联合会负责解释

本规范主要起草人：

李文芳（中国汽车工程研究院股份有限公司）

乐中耀（中国汽车工程研究院股份有限公司）

王 侃（中国汽车工程研究院股份有限公司）

李在春（中国汽车工程研究院股份有限公司）

张 寅（中国汽车工程研究院股份有限公司）

参加起草人：

涂远扬（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

唐晓晴（中国汽车工程研究院股份有限公司）

李 昕（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

刘 茹（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

周 微（中国汽车工程研究院股份有限公司）

目 录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义	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 校准项目和校准用标准器	2
7 校准项目和校准方法	2
7.1 挤压力示值误差和重复性	2
7.2 挤压位移示值误差	4
7.3 挤压板半径示值误差	4
7.4 挤压速度示值误差	4
8 校准结果表达	5
9 复校时间间隔	5
附录 A (资料性) 挤压试验设备挤压力示值误差测量结果的不确定度评定示例	6
附录 B (资料性) 挤压试验设备挤压位移示值误差测量结果的不确定度评定示例	9
附录 C (资料性) 挤压试验设备挤压板半径示值误差测量结果的不确定度评定示例	11
附录 D (资料性) 挤压试验设备挤压速度示值误差测量结果的不确定度评定示例	13
附录 E (资料性) 校准证书或校准报告内容	17
参考文献	18

引 言

本规范编制的原因是挤压试验设备是一种专用设备，目前没有专门的校准规范，目的是规范、统一挤压试验设备的校准，作用是确保挤压试验设备能准确进行量值溯源。

本规范依据 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》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范为首次发布。

电动汽车用动力蓄电池挤压试验设备校准规范

1 范围

本规范规定了电动汽车用动力蓄电池挤压试验设备(以下简称挤压试验设备)的计量特性;描述了挤压试验设备的校准项目和校准方法。

本规范适用于新制造、使用中和维修后挤压试验设备的校准(其它类似设备可参照本规范进行校准)。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

GB/T 19596-2017 电动汽车术语

GB 38031-2020 电动汽车用动力蓄电池安全要求

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

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 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 电池单体 secondary cell

将化学能与电能进行相互转换的基本单元装置。

[来源: GB 38031-2020, 3.1]

3.2 电池模块 battery module

将一个以上电池单体按照串联、并联或串并联方式组合,并作为电源使用的组合体。

[来源: GB 38031-2020, 3.2]

3.3 电池包 battery pack

具有从外部获得电能并可对外输出电能的单元。

[来源: GB 38031-2020, 3.3]

3.4 电池系统 battery system

一个或一个以上的电池包及相应附件(管理系统、高压电路、低压电路及机械总成等)构成的能量存储装置。

[来源: GB 38031-2020, 3.4]

3.5 动力蓄电池 traction battery; propulsion battery

为电动汽车动力系统提供能量的蓄电池。

[来源: GB/T 19596-2017, 3.3.1.1.1.1]

4 概述

挤压试验设备主要用于动力蓄电池单体、模块、电池包或系统的挤压试验，以考核和评定电池产品在挤压环境下的安全性。挤压试验设备主要是由动力蓄电池挤压板、动力系统及控制系统、电压温度采集系统、视频监控系统、安全防爆系统等组成。根据挤压板挤压方向的不同，挤压试验设备有卧式和立式两种类型。挤压试验设备由油缸、伺服电机等精确控制挤压力的大小、挤压位移和挤压速度，可对电动汽车用动力蓄电池进行挤压试验。

5 计量特性

- 5.1 挤压试验设备挤压力示值误差为 $\pm 1.0\%$ ，重复性为 1.0% 。
 5.2 挤压试验设备挤压位移示值误差为 $\pm 1\%$ 。
 5.3 挤压试验设备挤压板半径：75mm，示值误差为 $\pm 1.5\text{mm}$ 。
 5.4 挤压试验设备挤压速度示值误差为 $\pm 2\%$ 。

注：以上技术指标不作合格性判别，仅提供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $(22 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；
 湿度：不大于 90RH ；
 大气压力： $(86 \sim 106) \text{kPa}$ ；
 供电电源： $(220 \pm 22) \text{V}$ ， $(50 \pm 1) \text{Hz}$ 。

6.2 校准项目和校准用标准器

校准项目和校准用标准器见表1。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。

表1 校准项目和校准用标准器

序号	校准项目	标准器名称和技术要求
1	挤压力示值误差和重复性	标准测力仪，最大允许误差 $\pm 0.3\%$
2	挤压位移示值误差	钢直尺，最大允许误差 $\pm 0.27\text{mm}$
3	挤压板半径示值误差	
4	挤压速度示值误差	钢直尺，最大允许误差 $\pm 0.27\text{mm}$ ，电子秒表最大允许误差 $\pm 0.07\text{s}$

7 校准项目和校准方法

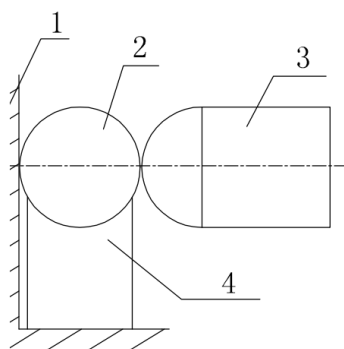
校准前检查挤压试验设备外观，各操纵部件的开关、按钮应操作灵活，各部分的连接应牢固、可靠、无松动，数字显示清晰；确定没有影响计量特性因素后再进行校准。

7.1 挤压力示值误差和重复性

在挤压试验设备挤压力的测量范围内，至少选择5个校准点，建议选取测量上限的20%、40%、60%、80%、100%共5个校准点。或者根据使用需求，在测量范围内大致均匀选择5个校准点。

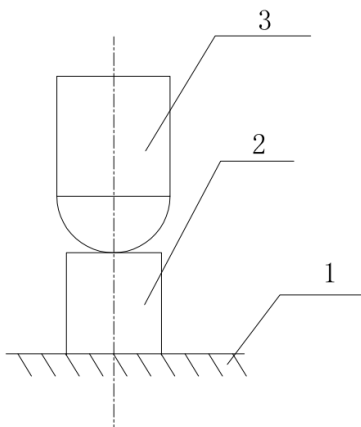
7.1.1 预加载

挤压试验设备的挤压板是半径75mm的半圆柱体。对于卧式挤压试验设备，将标准力传感器水平放置在辅助夹具上固定好（如图1所示），使标准力传感器中心轴线与挤压板中心轴线对齐。对于立式挤压试验设备，将标准力传感器垂直放置于挤压试验设备的钢板上贴紧（如图2所示），同时将标准力传感器中心轴线与挤压板中心轴线对齐。在不加载力时，将标准测力仪和挤压试验设备都调零，校准时加力方向应和挤压试验设备工作时加力方向一致。开启挤压试验设备，缓慢进行预挤压，根据校准点逐级递增施加力值进行预加载，直到额定负荷。



1 卧式挤压试验设备的钢板 2 标准力传感器 3 挤压板是75mm的半圆柱体 4 辅助夹具

图1 校准卧式挤压试验设备时，标准力传感器与挤压板安装示意图



1 立式挤压试验设备的钢板 2 标准力传感器 3 挤压板是75mm的半圆柱体

图2 校准立式挤压试验设备时，标准力传感器与挤压板安装示意图

7.1.2 挤压力示值误差和重复性

预加载完成后，将标准测力仪和挤压试验设备重新调零，对挤压试验设备按照校准点逐级递增施加挤压力。达到每个校准点应停留至少30秒，等待读数稳定后，记录标准测力仪示值和挤压试验设备显示值。该校准过程连续进行3次，每次校准前均应将挤压试验设备显示值调至零点（或作为零点的起始位置）。

挤压试验设备挤压力的示值误差按公式（1）、（2）计算，重复性按公式（3）计算：

$$\overline{X}_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 (X_{ij} - X_{0j}), i=1,2,\dots,n \quad (1)$$

$$\delta = \frac{\overline{X}_i - F_i}{F_i} \times 100\% \quad (2)$$

$$R = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{F_i} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

\bar{X}_i ——在标准力 F_i 作用下, 挤压试验设备第 i 校准点的示值平均值, kN;

X_{ij} ——在标准力 F_i 作用下挤压试验设备第 i 点、第 j 次测量的显示值, kN;

X_{0j} ——第 j 次测量时, 零负荷下的零点示值, kN;

δ ——挤压试验设备挤压力示值误差, %;

F_i ——校准第 i 点的标准力的示值, kN;

R ——挤压试验设备挤压力重复性, %;

$X_{i\max}$, $X_{i\min}$ ——在第 i 点、标准力 F_i 作用下 3 次重复测量的最大与最小示值, kN。

7.2 挤压位移示值误差

在挤压试验设备挤压位移的测量范围内, 至少选择 5 个校准点, 建议选取测量上限的 20%、40%、60%、80%、100% 共 5 个校准点。也可根据实际使用情况选择相应的校准点。将挤压试验设备调整成工作状态, 把位移显示值调至零点 (或作为零点的起始位置), 按校准点调整挤压位移, 稳定后读取挤压位移的显示值, 用钢直尺测量挤压位移变化量, 挤压位移的示值误差按公式 (4) 计算:

$$\Delta L = \frac{L_x - L_s}{L_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

ΔL ——挤压试验设备挤压位移示值误差, %;

L_x ——挤压试验设备挤压位移显示值, mm。

L_s ——钢直尺测量值, mm。

选取各个校准点示值误差的最大值作为校准结果。

7.3 挤压板半径示值误差

挤压板是半径标称值为 75mm 的半圆柱体, 先用钢直尺把半圆柱体的直径线标识出来, 找出圆心, 然后在半圆柱体的半圆平面上均匀选择 3 个校准点, 用钢直尺测量每个校准点的半径值。3 次测量的平均值作为挤压板半径的实测值, 挤压板半径的示值误差按公式 (5) 计算:

$$\Delta R = R_b - \bar{R} \quad (5)$$

式中:

ΔR ——挤压板半径的示值误差, mm;

R_b ——挤压板半径的标称值, mm;

\bar{R} ——挤压板半径 3 次测量的平均值, mm。

7.4 挤压速度示值误差

在挤压试验设备挤压速度测量范围内，根据实际使用情况，选择 3~5 个校准点，建议包含 1mm/s、2 mm/s。将挤压试验设备调整成工作状态，根据校准点设定挤压速度值，开启挤压试验设备进行挤压，用钢直尺测量实际位移值，用电子秒表测量实际所用时间，记录测量数据，计算挤压速度。进行 3 次测量，取 3 次测量平均值作为实际挤压速度，示值误差按公式（6）、（7）计算：

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{L_i}{t_i}}{3} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{v_x - \bar{v}}{\bar{v}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

\bar{v} ——3次测量挤压速度平均值，mm/s；

L_i ——第*i*次挤压试验设备实际位移值，mm，*i*为1、2、3；

t_i ——第*i*次挤压试验设备实际所用时间，s，*i*为1、2、3；

γ ——示值误差，%；

v_x ——挤压试验设备挤压速度设定值，mm/s。

8 校准结果表达

经校准的挤压试验设备，出具校准证书或校准报告，并注明校准项目、校准用标准器的溯源性及有效性说明、测量不确定度等。（测量不确定度详见附录 A 至附录 D）。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由设备的使用情况、使用者、设备本身质量等诸多因素所决定的，因此使用单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A (资料性)

挤压试验设备挤压力示值误差测量结果的不确定度评定示例

A.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.1 所述。

A.2 挤压试验设备挤压力示值误差测量模型

$$\delta_x = X - X_b \quad (\text{A. 1})$$

式中:

δ_x ——挤压试验设备挤压力示值误差, kN;

X ——挤压试验设备挤压力显示值, kN;

X_b ——标准测力仪的标准值, kN。

各输入量彼此独立不相关, 合成标准不确定度可按公式 (A. 2) 计算得到:

$$u_c^2(\delta_x) = c_1^2 u^2(X) + c_2^2 u^2(X_b) \quad (\text{A. 2})$$

A.3 灵敏系数按公式 (A. 3)、(A. 4) 计算得到:

$$c_1 = \frac{\partial \delta_x}{\partial X} = 1 \quad (\text{A. 3})$$

$$c_2 = \frac{\partial \delta_x}{\partial X_b} = -1 \quad (\text{A. 4})$$

A.4 不确定度来源

不确定度的主要来源有: 挤压试验设备挤压力的测量重复性、标准测力仪的最大允许误差、标准力传感器安装的不同轴。

A.5 标准不确定度评定

A.5.1 挤压试验设备挤压力测量重复性引入的标准不确定度 $u(X)$ A.5.1.1 被校挤压试验设备挤压力测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(X)$

测量重复性引入的标准不确定度按 A 类评定。在不同挤压力下进行校准得到数据如表 A.1 所示。

表 A.1 校准结果

(单位: kN)

校准点	x_i 的观测值									
200	199.42	199.34	199.37	199.32	199.45	199.42	199.34	199.23	199.25	199.32
400	399.30	399.41	399.44	399.40	399.32	399.42	399.29	399.33	399.21	399.30
600	599.27	599.43	599.14	599.26	599.33	599.26	599.27	599.45	599.33	599.37

按 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 计算得各校准点的单次实验标准差, 200kN 校准点单次实验标准

差为 0.0718kN; 400kN 校准点单次实验标准差为 0.0730kN; 600kN 校准点单次实验标准差为 0.0916kN。由此可见, 600kN 校准点是最大的单次实验标准差, 以它 $s=0.0916\text{kN}$ 来计算, 校准时取 3 次测量的平均值来计算示值误差, 故 $u_1(X) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.0529\text{kN}$ 。

A. 5. 1. 2 被校挤压试验设备挤压力分辨力引入的标准不确定度 $u_2(X)$

被校挤压试验设备挤压力分辨力为 0.01kN, 可认为区间半宽度 $a=0.005\text{kN}$, 假设服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 故 $u_2(X) = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}}\text{kN} = 0.0029\text{kN}$ 。

因为 $u_1(X) > u_2(X)$, 所以 $u(X) = u_1(X) = 0.0529\text{kN}$

A. 5. 2 标准测力仪的最大允许误差引入的标准不确定度 $u_1(X_b)$

标准测力仪最大允许误差引入的标准不确定度分量按 B 类评定。根据挤压试验设备校准规范要求, 标准测力仪的最大允许误差为 $\pm 0.3\%$, 在加载力 600kN 时, 挤压试验设备加载力最大允许误差为 $\pm (600\text{kN} \times 0.3\%) = \pm 1.8\text{kN}$, 可认为区间半宽度 $a=1.8\text{kN}$, 假设服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 故

$$u_1(X_b) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{1.8\text{kN}}{\sqrt{3}} = 1.039\text{kN}$$

A. 5. 3 标准力传感器安装的不同轴引入的标准不确定度 $u_2(X_b)$

挤压板受力轴线与标准力传感器的测力轴线不完全重合 (也就是标准力传感器安装的不同轴) 引入的标准不确定度按 B 类评定。校准时, 利用卧式挤压试验设备挤压力的辅助装置, 能保证挤压板受力轴线与标准力传感器的测力轴线尽量相重合。根据经验, 因为标准力传感器安装的不同轴引入的误差不超过 $\pm 0.05\%$, 在校准挤压力 600kN 时, 不同轴引入的误差为 $\pm (600\text{kN} \times 0.05\%) = \pm 0.3\text{kN}$, 可认为区间半宽度 $a=0.3\text{kN}$, 假设服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 故 $u_2(X_b) = 0.3\text{kN}/\sqrt{3} = 0.1732\text{kN}$ 。

A. 5. 4 标准测力仪最大允许误差和标准测力仪力传感器安装的不同轴引入的标准不确定度 $u(X_b)$

$$u(X_b) = \sqrt{u_1^2(X_b) + u_2^2(X_b)} = \sqrt{1.039^2 + 0.1732^2} = 1.053\text{kN}$$

A. 6 合成标准不确定度

合成标准不确定度 $u_c(\delta_x)$:

$$u_c(\delta_x) = \sqrt{c_1^2 u^2(X) + c_2^2 u^2(X_b)} = 1.055\text{kN}$$

A.7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，则挤压试验设备挤压力示值误差校准结果的扩展不确定度为
 $U = 2 \times u_c(\delta_x) = 2 \times 1.055 \text{ kN} = 2.11 \text{ kN} \approx 2.2 \text{ kN}$ ；挤压试验设备挤压力的校准点为 600kN，
 $U_{\text{rel}} = 0.37\%$ ($k=2$)。

附录 B (资料性)

挤压试验设备挤压位移示值误差测量结果的不确定度评定示例

B.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.2 所述。

B.2 挤压试验设备挤压位移示值误差测量模型

$$\delta_L = L - L_b \quad (\text{B.1})$$

式中:

δ_L ——挤压位移示值误差, mm;

L ——挤压位移示值, mm。

L_b ——钢直尺的标准值, mm;

各输入量彼此独立不相关, 合成标准不确定度可按式 (B.2) 计算得到:

$$u_c^2(\delta_L) = c_1^2 u^2(L) + c_2^2 u^2(L_b) \quad (\text{B.2})$$

B.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta_L}{\partial L} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta_L}{\partial L_b} = -1 \quad (\text{B.3})$$

B.4 不确定度来源

不确定度的主要来源有挤压试验设备挤压位移的测量重复性、钢直尺误差两个主要因素, 温度等环境因素的影响可以忽略不计。

B.5 标准不确定度评定

B.5.1 挤压试验设备挤压位移的测量重复性引入标准不确定度 $u(L)$

挤压试验设备挤压位移的测量重复性引入标准不确定度按 A 类评定。在此以 200mm、600mm、1000mm 三个校准点为例进行校准得到数据如表 B.1 所示。

表 B.1 校准结果

(单位: mm)

校准点	x_i 的观测值									
200	200.0	199.8	199.8	199.8	199.9	199.8	199.8	199.9	199.8	199.9
600	599.6	599.6	599.6	599.7	599.7	599.6	599.7	599.6	599.6	599.7
1000	999.8	999.9	999.8	999.9	999.8	999.9	999.8	999.9	999.8	999.9

按 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 计算得各校准点的单次实验标准差, 200mm 校准点单次实验标准

差为 0.0707mm; 600mm 校准点单次实验标准差为 0.0516mm; 1000mm 校准点单次实验标准差为 0.0527mm。由此可见, 200mm 校准点是最大的单次实验标准差, 以它 $s = 0.0707\text{mm}$ 来计算, 校准时取单次示值来计算示值误差, 故 $u(L) = s = 0.0707\text{mm}$ 。

B. 5. 2 钢直尺误差引入的标准不确定度 $u(L_b)$ B. 5. 2. 1 钢直尺示值误差引入的标准不确定度 $u_1(L_b)$

根据挤压试验设备校准规范要求钢直尺量程 1500mm, 示值误差为 $\pm 0.27\text{mm}$, 假设服从均匀分布, 可认为区间半宽度 $a=0.27\text{mm}$, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 故

$$u_1(L_b) = \frac{a}{k} = \frac{0.27\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.1559\text{mm}$$

B. 5. 2. 2 由人员估读引入的标准不确定度 $u_2(L_b)$

钢直尺分辨力为 1mm, 人员对钢直尺进行估读, 一般估读误差为 0.5mm, 假设服从均匀分布, 则区间半宽度 $a=0.25\text{mm}$, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则人员估读引入的标准不确定度为:

$$u_2(L_b) = \frac{a}{k} = \frac{0.25}{\sqrt{3}} \text{mm} = 0.1444\text{mm}$$

钢直尺误差引入的标准不确定度 $u(L_b)$

$u_1(L_b)$ 和 $u_2(L_b)$ 互不相关, 采用方和根方法合成:

$$u(L_b) = \sqrt{u_1^2(L_b) + u_2^2(L_b)} \approx 0.2125\text{mm}$$

B. 6 合成标准不确定度

合成标准不确定度 $u_c(\delta_L)$

$$u_c(\delta_L) = \sqrt{c^2 u^2(L) + c^2 u^2(L_b)} = 0.22\text{mm}$$

B. 7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 则挤压试验设备挤压位移示值误差校准结果的扩展不确定度 $U = 2 \times u_c(\delta_L) = 2 \times 0.22\text{mm} = 0.44\text{mm} \approx 0.5\text{mm}$; 挤压试验设备挤压位移的校准点为 200mm, $U_{\text{rel}} = 0.25\% \approx 0.3\% (k=2)$ 。

附录 C (资料性)

挤压试验设备挤压板半径示值误差测量结果的不确定度评定示例

C.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.3 所述。

C.2 挤压试验设备挤压板半径示值误差测量模型

$$\Delta R = R_b - \bar{R} \quad (\text{C.1})$$

式中:

ΔR —— 挤压板半径的示值误差, mm;

R_b —— 挤压板半径的标称值, mm;

\bar{R} —— 挤压板半径 3 次测量的平均值, mm。

各输入量彼此独立不相关, 合成标准不确定度可按式 (C.2) 计算得到:

$$u_c^2(\Delta R) = c_1^2 u^2(R_b) + c_2^2 u^2(\bar{R}) \quad (\text{C.2})$$

C.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta R}{\partial R_b} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta R}{\partial \bar{R}} = -1 \quad (\text{C.3})$$

C.4 不确定度来源

不确定度的主要来源有挤压试验设备挤压板半径的测量重复性、钢直尺误差两个主要因素, 温度、湿度等环境因素的影响可以忽略不计。

C.5 标准不确定度评定

C.5.1 挤压试验设备挤压板半径的测量重复性引入标准不确定度 $u(\bar{R})$

挤压试验设备挤压板半径的测量重复性引入标准不确定度按 A 类评定。在重复性测量条件下, 对挤压板半径进行 10 次测量, 测量得到数据如表 C.1 所示。

表 C.1 校准结果 (单位: mm)

校准点	x_i 的观测值									
75	75.3	75.2	75.3	75.3	75.2	75.3	75.2	75.2	75.3	75.1

按 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 计算单次实验标准差, $s = 0.06992\text{mm}$ 。在实际测量中, 以 3 次测量

结果的算术平均值为测量结果, 故 $u(\bar{R}) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.0404\text{mm}$ 。

C.5.2 钢直尺误差引入的标准不确定度 $u(R_b)$

C. 5. 2. 1 钢直尺示值误差引入的标准不确定度 $u_1(R_b)$

根据挤压试验设备校准规范要求钢直尺量程 1500mm, 示值误差为 $\pm 0.27\text{mm}$, 假设服从均匀分布, 可认为区间半宽度 $a=0.27\text{mm}$, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 故

$$u_1(R_b) = \frac{a}{k} = \frac{0.27\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.1559\text{mm}$$

C. 5. 2. 2 由人员估读引入的标准不确定度 $u_2(R_b)$

钢直尺分辨力为 1mm, 人员对钢直尺进行估读, 一般估读误差为 0.5mm, 假设服从均匀分布, 则区间半宽度 $a=0.25\text{mm}$, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则人员估读引入的标准不确定度为:

$$u_2(R_b) = \frac{a}{k} = \frac{0.25}{\sqrt{3}} \text{mm} = 0.1444\text{mm}$$

钢直尺误差引入的标准不确定度 $u(R_b)$

$u_1(R_b)$ 和 $u_2(R_b)$ 互不相关, 采用方和根方法合成:

$$u(R_b) = \sqrt{u_1^2(R_b) + u_2^2(R_b)} \approx 0.2125\text{mm}$$

C. 6 合成标准不确定度

合成标准不确定度 $u_c(\Delta R)$

$$u_c(\Delta R) = \sqrt{c_1^2 u^2(R_b) + c_2^2 u^2(\overline{R})} = 0.22\text{mm}$$

C. 7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 则挤压试验设备挤压板半径示值误差校准结果的扩展不确定度 $U = 2 \times u_c(\Delta R) = 2 \times 0.22\text{mm} = 0.44\text{mm} \approx 0.5\text{mm} (k=2)$ 。

附录 D (资料性)

挤压试验设备挤压速度示值误差测量结果的不确定度评定示例

D.1 测量方法

用本规范规定的测量方法如正文 7.4 所述。

D.2 挤压试验设备挤压速度示值误差测量模型

$$\Delta v = v_x - \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{L_i}{t_i}}{3} \quad (\text{D. 1})$$

式中:

Δv ——挤压速度示值误差, mm/s;

v_x ——挤压试验设备挤压速度设定值, mm/s;

L_i ——第*i*次挤压试验设备实际位移值, mm, *i*为1、2、3;

t_i ——第*i*次挤压试验设备实际所用时间, s, *i*为1、2、3。

D.3 不确定度来源:

挤压试验设备挤压速度示值误差的不确定度来源如下:

- a) 挤压试验设备挤压速度测量重复性,
- b) 位移 L 测量, 包括 2 项不确定度来源: 钢直尺最大允许误差和人员估读引起的误差,
- c) 时间 t 测量, 包括 2 项不确定度来源: 电子秒表最大允许误差和人员操作读数误差。

其他的不确定度来源可忽略不计。

D.4 方差和灵敏系数

由测量模型 $\Delta v = v_x - \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{L_i}{t_i}}{3}$ 可知, 因为各输入量彼此独立, 依不确定度传播定律:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \quad (\text{D. 2})$$

由于 (D.1) 式中 v_x 是挤压试验设备挤压速度设定值, 不会变化, 所以此项标准不确定度分量为 0, 合成标准不确定度可按 (D.3) 计算得到:

$$u_c^2(\Delta v) = u_A^2 + c_1^2 u^2(L) + c_2^2 u^2(t) \quad (\text{D. 3})$$

式中:

$u_c(\Delta v)$ ——挤压试验设备挤压速度示值误差的合成标准不确定度, mm/s;

u_A ——挤压试验设备挤压速度测量重复性引入的标准不确定度分量, mm/s;

$u(L)$ ——挤压试验设备挤压位移引入的标准不确定度分量, mm;

$u(t)$ ——挤压试验设备时间引入的标准不确定度分量, s。

各输入量的灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta v)}{\partial(L)} = -\frac{1}{t} \quad (\text{D. 4})$$

$$c_2 = \frac{\partial(\Delta v)}{\partial(t)} = \frac{L}{t^2} \quad (\text{D. 5})$$

D.5 标准不确定度评定

D.5.1 挤压试验设备挤压速度测量重复性引入的标准不确定度分量 u_A

测量结果的重复性引入的标准不确定度通过 10 次重复测量, 进行 A 类评定。速度设定为 2mm/s, 用电子秒表实测 180s, 使用钢直尺测量实际位移, 记录测量数据。进行 10 次独立、重复测量, 速度示值误差校准结果如表 D. 1。

表 D. 1 校准结果

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
速度值 (mm/s)	1.99	1.98	2.00	1.99	1.98	2.00	1.99	1.98	2.00	1.98

用贝塞尔公式 (D. 6) 计算单次测量的实验标准差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (v_{xi} - \bar{v})^2}{n-1}} \quad (\text{D. 6})$$

式中:

v_{xi} ——被校挤压试验设备挤压速度第 i 次实际测量值; mm/s

\bar{v} ——被校挤压试验设备挤压速度多次测量示值误差的平均值; mm/s

n ——重复测量的次数, 此处 $n=10$ 。

根据表 D. 1 中的数据, 可由公式 (D. 6) 计算出重复测量的单次实验标准差

$$s = 0.008756 \text{ mm/s}$$

实际测量时, 是以三次测量数据作为测量结果, 所以测量重复性引入的标准不确定度分量 u_A 为: $u_A = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.00506 \text{ mm/s}$

D.5.2 位移 L 测量引入的标准不确定度分量 $u(L)$

D.5.2.1 由钢直尺最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u_1(L)$

按 B 类进行评定。根据钢直尺技术指标, 1500mm 钢直尺最大允许误差为 $\pm 0.27 \text{ mm}$,

假设服从均匀分布, 则区间半宽度 $a=0.27\text{mm}$, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则钢直尺最大允许误差引入的标准不确定度分量为:

$$u_1(L) = \frac{a}{k} = \frac{0.27}{\sqrt{3}} \text{mm} \approx 0.1559\text{mm}$$

D. 5. 2. 2 由人员估读引入的标准不确定度分量 $u_2(L)$

钢直尺分辨力为 1mm , 人员对钢直尺进行估读, 一般估读误差为 0.5mm , 假设服从均匀分布, 则区间半宽度 $a=0.25\text{mm}$, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则人员估读引入的标准不确定度分量为:

$$u_2(L) = \frac{a}{k} = \frac{0.25}{\sqrt{3}} \text{mm} = 0.1444\text{mm}$$

D. 5. 2. 3 位移 L 测量引入的标准不确定度分量 $u(L)$

$u_1(L)$ 和 $u_2(L)$ 互不相关, 采用方和根方法合成:

$$u(L) = \sqrt{u_1^2(L) + u_2^2(L)} \approx 0.2125\text{mm}$$

D. 5. 3 时间 t 测量引入的标准不确定度分量 $u(t)$

D. 5. 3. 1 由电子秒表最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u_1(t)$

按 B 类进行评定。电子秒表测量间隔为 10min 时, 最大允许误差为 $\pm 0.07\text{s}$ 。速度设定为 2mm/s , 用电子秒表实测 180s , 电子秒表的最大允许误差为 $\pm 0.07\text{s}$, 假设服从均匀分布, 则区间半宽度 $a=0.07\text{s}$, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则电子秒表最大允许误差引入的标准不确定度分量为:

$$u_1(t) = \frac{a}{k} = \frac{0.07\text{s}}{\sqrt{3}} = 0.0405\text{s}$$

D. 5. 3. 2 人为操作读数误差引入的标准不确定度分量 $u_2(t)$

操作电子秒表时, 人为读数误差一般为 0.5s , 假设服从均匀分布, 则区间半宽度 $a=0.25\text{s}$, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则人为操作读数误差引入的标准不确定度分量为:

$$u_2(t) = \frac{a}{k} = \frac{0.25\text{s}}{\sqrt{3}} = 0.144\text{s}$$

D. 5. 3. 3 时间 t 测量引入的标准不确定度分量 $u(t)$

$u_1(t)$ 和 $u_2(t)$ 互不相关, 采用方和根方法合成:

$$u(t) = \sqrt{u_1^2(t) + u_2^2(t)} = 0.145s$$

D.6 不确定度分量一览表

表 D.2 不确定度分量一览表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	标准不确定度分量
u_A	测量重复性	A	正态分布	0.00506mm/s
$u_1(L)$	钢直尺最大允许误差	B	均匀分布	0.1559mm
$u_2(L)$	人员估读引起的误差	B	均匀分布	0.1444mm
$u(L)$	位移测量	0.2125mm		
$u_1(t)$	电子秒表最大允许误差	B	均匀分布	0.0405s
$u_2(t)$	人为操作读数误差	B	均匀分布	0.144s
$u(t)$	时间测量	0.145s		

D.7 合成标准不确定度

由于 u_A 、 $u(L)$ 、 $u(t)$ 互不相关，挤压试验设备速度示值误差的合成标准不确定度可

用方和根进行合成，即： $u_c^2(\Delta v) = u_A^2 + c_1^2 u^2(L) + c_2^2 u^2(t)$

由公式 (D.4) 得到： $c_1 = -\frac{1}{180s}$

由公式 (D.5) 得到： $c_2 = 0.0111 \frac{mm}{s^2}$

把 $c_1 = -\frac{1}{180s}$ ， $c_2 = 0.0111 \frac{mm}{s^2}$ 代入上式中，那么挤压试验设备速度示值误差的合成

标准不确定度： $u_c(\Delta v) = 0.00544mm/s$

D.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，其扩展不确定度为： $U = ku_c(\Delta v) \approx 0.011mm/s$ 。挤压试验设备挤压速度平均值为 $2mm/s$ ， $U_{rel} = 0.55\% \approx 0.6\%$ ($k=2$)。

附录 E (资料性)

校准证书或校准报告内容

校准证书或校准报告至少包含以下内容:

- a) 标题, 如“校准证书”“或校准报告”;
- 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) 对校准方法的偏离的说明;
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识, 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。

参考文献

- [1] JJF 1001-2011 通用计量术语及定义
- [2] JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示
- [3] JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则
- [4] JJF 1305-2011 线位移传感器校准规范
- [5] JJG 139-2014 拉力压力和万能试验机检定规程
- [6] JJG 475-2008 电子式万能试验机
- [7] GB/T 1.1-2020 标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则
- [8] GB/T 19596-2017 电动汽车术语
- [9] GB 38031-2020 电动汽车用动力蓄电池安全的要求