内蒙古自治区地方计量技术规范

JJF（蒙）053—2023

曲挠试验装置校准规范

Calibration Specification for Flexing Test Device

2023-12-01 发布　　2024-03-01 实施

内蒙古自治区市场监督管理局　发布

曲挠试验装置校准规范

Calibration Specification for

Flexing Test Device

JJF(蒙)053—2023

归 口 单 位：内蒙古自治区市场监督管理局

主要起草单位：包头市检验检测中心

参加起草单位：内蒙古自治区计量测试研究院

内蒙古德塔科技有限公司

包头市太阳满都拉电缆有限公司

本规范技术条文由起草单位负责解释

本规范主要起草人：

许立庚（包头市检验检测中心）

包福军（包头市检验检测中心）

郝继君（包头市检验检测中心）

参加起草人：

贾　多（内蒙古自治区计量测试研究院）

王永明（包头市检验检测中心）

孙永新（内蒙古德塔科技有限公司）

于建芳（包头市太阳满都拉电缆有限公司）

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 小车行程 ……（2）
4.2 小车速度 ……（2）
4.3 滑轮直径 ……（2）
4.4 试验电压示值误差 ……（2）
4.5 试验电流示值误差 ……（2）
4.6 负荷质量 ……（2）
5 校准条件 ……（3）
5.1 环境条件 ……（3）
5.2 测量标准及其他设备 ……（3）
6 校准项目和校准方法 ……（3）
6.1 外观 ……（3）
6.2 校准前准备 ……（4）
6.3 小车行程 ……（4）
6.4 小车速度 ……（4）
6.5 滑轮直径 ……（5）
6.6 试验电压示值误差 ……（5）
6.7 试验电流示值误差 ……（5）
6.8 负荷质量 ……（5）
7 校准结果表达 ……（5）
8 复校时间间隔 ……（6）
附录 A 曲挠试验装置校准原始记录格式 ……（7）
附录 B 曲挠试验装置校准证书内页格式 ……（10）
附录 C 曲挠试验装置测量不确定度评定示例 ……（13）

引　　言

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》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列技术文件。

本规范是以 JB/T 4278.3-2011《橡皮塑料电线电缆试验仪器设备检定方法第3部分：曲挠试验装置》为基础制定。与 JB/T 4278.3-2011 相比，本规范有关技术部分的变化如下：

增加了试验电压示值误差的校准；

修改了试验电流示值误差的校准。

本规范首次发布。

曲挠试验装置校准规范

1 范围

本规范适用于检测额定电压 450/750V 及以下的硫化橡皮成品软电缆、聚氯乙烯成品软电缆曲挠试验装置的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

JJF 1071 国家计量校准规范编写规则

GB/T 5013.2 额定电压 450/750V 及以下橡皮绝缘电缆第 2 部分：试验方法

GB/T 5023.2 额定电压 450/750V 及以下聚氯乙烯绝缘电缆第 2 部分：试验方法

JB/T 4278.1 橡皮塑料电线电缆试验仪器设备检定方法第 1 部分：总则

JB/T 4278.3 橡皮塑料电线电缆试验仪器设备检定方法第 3 部分：曲挠试验装置

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用本规范。

3 概述

曲挠试验装置是用于对硫化橡皮软电缆、聚氯乙烯软电缆进行电缆机械强度试验中曲挠试验所使用的仪器。

曲挠试验装置由小车、两端滑轮、配重、动力及控制部分组成。小车上安装有两个直径相等的滑轮，设备两端各有一个滑轮，两端滑轮的直径可以和小车上安装的两个滑轮直径不同，四个滑轮的安装位置应使试样呈水平状态。小车以约 0.33m/s 的恒定速度在大于 1000mm 的距离之间往复移动，用于检测成品软电缆机械强度。

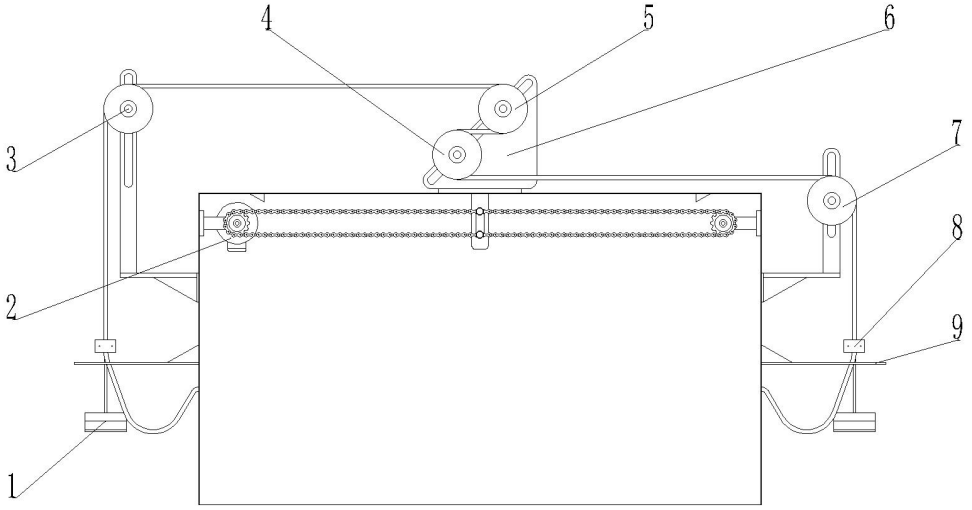

图 1 曲挠试验装置

1—配重；2—驱动电机；3—两端滑轮 A；4—小车滑轮 A；5—小车滑轮 B； 6—小车；7—两端滑轮 B；8—限位夹头；9—限位支架

4 计量特性

4.1 小车行程

曲挠试验装置的小车行程应不小于 1000mm。

4.2 小车速度

曲挠试验装置的小车运动速度应为（0.33±0.05）m/s。

4.3 滑轮直径

曲挠小车上两滑轮直径应相等，其直径和允差应符合表 1 的规定。

表 1 滑轮直径

单位：mm

直径	60	80	120	160	200
允差	±2	±2	±2	±2	±2

4.4 试验电压示值误差

加载在线芯间试验电压的示值误差为±2.5%。

4.5 试验电流示值误差

试样试验电流的示值误差为±2.5%。

4.6 负荷质量

应有表 2 所规定的或能组成表 2 所规定的成对的负荷，其质量和允差应符合表 2 的规定。

表 2 负荷质量

单位：g

负荷	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	7000	7500
允差	±5	±10	±15	±20	±30	±40	±60	±70	±75

注：以上指标要求均不用于合格性判断，仅供参考。

5 校准条件

5.1环境条件

环境温度：5℃～35℃；

相对湿度：不大于85%。

5.2测量标准及其他设备

校准使用的设备应具有适当的测量范围，测量标准及其他设备见表 3。

表 3 测量标准及其他设备

项目	测量设备	技术要求	不确定度/ 准确度等级 /最大允许误差
小车行程	钢卷尺	（0～5000）mm	I 级
小车速度	电子秒表	（0～3600）s/ 0.1s	日差：±0.5s
小车滑轮位置	角度尺	（0~180）°/0.5°	—
滑轮直径	游标卡尺	（0～300）mm/ 0.01mm	MPE：±0.04mm
试验电压示值误差	电压表	（0～1000）V	MPE：±0.5%
试验电流示值误差	电流表	（0～100）A	MPE：±0.5%
负荷质量	电子天平	最大秤量 10kg/ d=0.1g	Ⅲ级

注：可使用满足准确度要求的其他测量设备进行测量。

6 校准项目和校准方法

6.1 外观

6.1.1 曲挠试验装置的面板、机壳或铭牌上应有以下主要标志和符号：产品名称、规格型号、制造厂名称或商标、制造日期、出厂编号、输入电压和额定功率。

6.1.2 曲挠试验装置的试验电压输出端必须有明显的电压输出标志或其他必要的标志。

6.1.3 曲挠试验装置应有能记录小车来回次数的计数装置，计数装置应可靠计数，并在断电后能保持计数次数。

6.1.4 曲挠试验装置的外壳应有效接地。

6.2 校准前准备

6.2.1 滑轮由金属制成，并有半圆形凹槽和扁形凹槽两类滑轮以分别放置圆形电缆和扁形电缆。

6.2.2 两端滑轮和曲挠小车上两滑轮位置可调，四个滑轮的安装位置应使试样呈水平状态。

6.2.3 曲挠小车上两滑轮可调，将角度尺的一边置于小车的滑行轨道上，滑轮（或滑轮轴）应能调至紧靠角度尺的斜边，使两滑轮轴心的连线与小车滑动轨道成45°角。

6.2.4 缺陷报警装置的检查

曲挠试验装置应有缺陷报警装置，当试样的导体出现断路或短路时，缺陷报警装置能够自动切断电压输出，停止曲挠小车运行，同时发出报警信号，并能保持计数装置的正常工作。

6.2.4.1 将 A、B、C、O（或 N）相的试样断开，曲挠试验装置应有缺陷报警，并能保持曲挠小车往返次数的记录。

6.2.4.2 将 A、B、C、O（或 N）任一相的试样与其他一相的试样短接，曲挠试验装置应有缺陷报警，并能保持曲挠小车往返次数的记录。

6.2.5 曲挠试验装置应具备短路保护装置。

6.2.6 曲挠试验装置两端应安装有限位夹头，可使小车离开重锤时，始终能借助重锤施加的拉力让小车往复运动。

6.2.7 曲挠试验装置的小车运行时应平稳且转换方向时不发生急跳。

6.3 小车行程

用钢卷尺测量小车从一端运动到另一端的距离 L，取两次测量数据的算数平均值作为测量结果。

6.4 小车速度

用秒表测量小车单程运行所需时间 t，取三次测量数据的算数平均值作为测量结果。按公式（1）计算小车的运行速度。

$$v=\frac{L}{1000t} \tag{1}$$

式中：

v—小车的运行速度，m/s；

L—小车的行程，mm；

t—小车单程运行时间，s。

6.5 滑轮直径

用游标卡尺测量滑轮的直径，每个滑轮测量两个相互垂直位置的直径，取两次测量数据的算数平均值作为测量结果。

6.6 试验电压示值误差

用电压表测量任意相电压的电压值，230V 和 400V 为校准点，各点取两次测量数据的算数平均值作为测量结果。按公式（2）计算试验电压的相对误差。

$$\delta=\frac{U-U_0}{U_0}\times 100\% \tag{2}$$

式中：

δ—试验电压的相对误差，%；

U—试验电压指示仪表值，V；

U_0—校准用电压表读数，V。

6.7 试验电流示值误差

将电流表接入试样回路，每个值取两次测量数据的算数平均值作为测量结果。按公式（3）计算试验电流的相对误差。

$$\gamma=\frac{I-I_0}{I_0}\times 100\% \tag{3}$$

式中：

γ—试验电流的相对误差，%；

I—试验电流指示仪表值，A；

I_0—校准用电流表读数，A。

6.8 负荷质量

用电子天平测量负荷的质量，每种规格负荷质量取两次测量数据的算数平均值作为测量结果。

7 校准结果表达

7.1 校准记录

校准原始记录（样式）见附录 A。

7.2 校准证书

按照本规范要求，校准完毕后出具校准证书。校准证书校准结果内页(样式)见附录 B。

8 复校时间间隔

曲挠试验装置的建议复校时间间隔为 1 年。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

曲挠试验装置校准原始记录格式

曲挠试验装置校准记录

一、被校准测量设备信息

客户名称			
设备名称		校准记录/证书编号	
型号规格			
出厂编号		接收日期	
生产厂商		校准日期	
客户地址及联系方式			
依据的技术文件（代号、名称）			
客户的其他要求			

□直接校准　　□调修后校准

二、本次校准使用的计量标准考核证书有效期至：××××年××月××日

三、本次校准使用的主要计量器具

名称	型号/规格	编号	测量范围	不确定度/ 准确度等级 /最大允许误差	溯源机构及 证书编号	证书 有效期至

四、校准地点

五、环境条件

温度：℃　　湿度：%RH

六、校准结果

1、外观

1.1、面板、机壳或铭牌上的主要标志和符号检查：

1.2、电压输出标志或其他必要的标志检查：

1.3、计数器计数检查，断电后检查：

1.4、接地装置检查：

2、校准前准备

2.1、滑轮材质和滑轮凹槽结构检查：

2.2、两端滑轮和曲挠小车上两滑轮的安装位置检查：

2.3、滑轮轴心连线与小车滑动轨道成 45°角：

第×页 共×页

2.4、缺陷报警装置检查：

2.4.1、将 A、B、C、O（或 N）相的试样断开，曲挠试验装置应报警，并能保持曲挠小车来回所计的次数：

2.4.2、将 A、B、C、O（或 N）任一相的试样与其他一相的试样短接，曲挠试验装置应报警，并能保持曲挠小车来回所计的次数：

2.5、短路保护装置检查：

2.6、限位夹头装置检查：

2.7、小车运行状态检查：

3、小车行程

标称值 mm	测量值 mm		实际值 mm	误差 mm	不确定度 U k=2
≥1000					

4、小车速度

标称值 m/s	测量值 s			实际值 s	速度 m/s	误差 m/s	不确定度 U k=2
0.33							

5、滑轮直径

标称值 mm	测量值 mm		实际值 mm	误差 mm	不确定度 U k=2
60					
80					
120					
160					
200					

6、试验电压示值误差

设定值 V	测量值 V		实际值 V	误差%	不确定度 U_r k=2
230					
400					

7、试验电流示值误差

A 相

设定值 A	测量值 A		实际值 A	误差%	不确定度 U_r k=2

B 相

设定值 A	测量值 A		实际值 A	误差%	不确定度 U_r k=2

C 相

设定值 A	测量值 A		实际值 A	误差%	不确定度 U_r k=2

8、负荷质量

标称值 g	测量值 g		实际值 g	误差 g	不确定度 U k=2
500					
1000					
1500					
2000					
3000					
4000					
6000					
7000					
7500					

校准员：　　核验员：

附录 B

曲挠试验装置校准证书内页格式

证书编号：××××××××××××××

本证书中的校准结果均可溯源至国际单位制（SI）单位或社会公用计量标准。
本次校准依据/参照的技术文件（代号、名称）：
客户地址及联系方式：
校准地点及环境条件： 地点： 温度：℃　　湿度：％RH
本次校准客户的其他要求：
声明：

本次校准使用的主要计量器具：

名称	型号/规格	编号	测量范围	不确定度/ 准确度等级 /最大允许误差	溯源机构及 证书编号	证书 有效期至

校　准　结　果

序号	校准项目	技术要求	实测结果	扩展不确定度 （k=2）
1	外观			
1.1	面板、机壳或铭牌上的主要标志和符号	应有：产品名称、规格型号、制造厂名称或商标、制造日期、出厂编号、输入电压和额定功率		/
1.2	电压输出标志或其他必要的标志	电压输出端必须有明显的电压输出标志或其他必要的标志		/
1.3	计数器	计数装置应可靠计数，并在断电后能保持计数次数		/
1.4	接地装置	外壳应接地		/

第×页 共×页

序号	校准项目		技术要求	实测结果	扩展不确定度（k=2）
2	校准前准备				
2.1	滑轮材质和滑轮凹槽结构		滑轮由金属制成，有半圆形凹槽和扁形凹槽两类滑轮		/
2.2	滑轮安装位置		四个滑轮位置可调，安装位置能使试样呈水平状态		/
2.3	曲挠小车两滑轮位置		可调至两滑轮轴心的连线与小车滑动轨道成 45°角		/
2.4	缺陷报警装置	断开	有报警，停止曲挠小车运行并能保持曲挠小车来回所计的次数		/
		短接	有报警，停止曲挠小车运行并能保持曲挠小车来回所计的次数		/
2.5	短路保护装置		应具备短路保护装置		/
2.6	限位夹头装置		两端应安装有限位夹头，可使小车离开重锤时，始终能借助重锤施加的拉力让小车往复运动		/
2.7	小车运行状态		小车运行时应平稳且转换方向时不发生急跳		/
3	小车行程 mm		≥1000		U=
4	小车速度 m/s		0.33±0.05		U=
5	滑轮直径 mm		60±2		U=
			80±2		
			120±2		
			160±2		
			200±2		

第×页 共×页

序号	校准项目	技术要求	实测结果	扩展不确定度（k=2）
6	试验电压示值误差%	230V：±2.5		U_r=
		400V：±2.5		
7	试验电流示值误差%	A 相：±2.5		U_r=
		B 相：±2.5		
		C 相：±2.5		
8	负荷质量 g	500±5		U=
		1000±10		U=
		1500±15		U=
		2000±20		U=
		3000±30		U=
		4000±40		U=
		6000±60		U=
		7000±70		U=
		7500±75		U=

本校准结果是直接校准结果。

说明：

1.使用过程中，如对被校准计量器具的技术指标产生怀疑，请重新校准。

2.校准结果不确定度的评定和表述符合 JJF 1059.1 要求。

—以 下 空 白—

第×页 共×页

附录 C

曲挠试验装置测量不确定度评定示例

C.1 小车行程测量结果不确定度评定

C.1.1 概述

C.1.1.1 测量依据

JJF（蒙）053-2023

C.1.1.2 环境条件

环境温度：5℃～35℃，相对湿度：不大于 85%。

C.1.1.3 测量标准器

钢卷尺：（0～5000）mm，I 级。

C.1.1.4 被测对象

曲挠试验装置的小车行程：不小于 1000mm。

C.1.1.5 测量过程

使用钢卷尺测量小车行程，分别进行两次测量，取测量数据的算数平均值。

C.1.2 测量模型

$$\Delta L = L - L_0 \tag{C.1}$$

式中：

ΔL—测量小车行程示值误差，mm；

L—小车行程距离，mm；

L_0—钢卷尺测量小车行程实际值，mm。

C.1.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta L}{\partial L} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta L}{\partial L_0} = -1$$

C.1.4 标准不确定度分量评定

C.1.4.1 小车行程的标准不确定度

其主要来源于两个方面，一个是运行距离测量重复性和钢卷尺分度值引入的不确定度分量，由于钢卷尺分度值引入的不确定度较小，仅考虑运行距离测量重复性引入的不确定度分量做为$u_1(L)$，用 A 类评定方法；另一个是测量小车行程

的钢卷尺最大允许误差引入的不确定度分量$u_2(L)$，用 B 类评定方法。

C.1.4.1.1 小车行程不确定度分量评定

该不确定度分量主要是由于测量重复性引起的，用钢卷尺连续测量 10 次，得到表 C.1.1 的测量数据：

表 C.1.1 小车行程

单位：mm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1001.0	1000.0	1000.0	999.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1001.0	1000.0

平均值：

$$\overline{L}=1000.1\text{mm}$$

由贝塞尔公式求单次测得值的实验标准差：

$$s(L)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(L_i-\overline{L})^2}{n-1}}=0.57\text{mm}$$

取测量 2 次的算数平均值作为测量结果（n=2），则由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_1\left(\overline{L}\right)=\frac{s\left(L\right)}{\sqrt{n}}=0.40\text{mm}$$

C.1.4.1.2 由钢卷尺引入的不确定度分量

5000mm 钢卷尺在 1000mm 的最大允许误差±[(0.3+0.2L)+0.2]mm 即±0.7mm，则分散区间半宽度 a=0.7mm，服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$，则钢卷尺最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u_2\left(\overline{L}\right)=\frac{a}{k}=0.40\text{mm}$$

C.1.5 小车行程的合成标准不确定度分量汇总

输入量的标准不确定度分量汇总见表 C.1.2。

表 C.1.2 标准不确定度分量汇总

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $\lvert c_i\rvert u(x_i)$
$u_1\left(\overline{L}\right)$	测量重复性	0.40mm	1	0.40mm
$u_2\left(\overline{L}\right)$	钢卷尺误差	0.40mm	-1	0.40mm

C.1.6 小车行程的合成标准不确定度

由于各分量间不相关，则小车行程的合成标准不确定度为：

$$u_c=\sqrt{c_1^2u_1^2(\overline{L})+c_2^2u_2^2(\overline{L})}=0.57\text{mm}$$

C.1.7 小车行程的扩展不确定度

小车行程的扩展不确定度 U；取 k=2，

$$U=ku_c=0.57\times2=1.1\text{mm}$$

C.1.8 扩展不确定度报告

小车行程的测量结果为 1000.1mm，测量结果的扩展不确定度为 U=1.1mm；k=2。

C.2 小车速度测量结果不确定度评定

C.2.1 概述

C.2.1.1 测量依据

JJF（蒙）053-2023

C.2.1.2 环境条件

环境温度：5℃～35℃，相对湿度：不大于 85%。

C.2.1.3 测量标准器

钢卷尺：（0～5000）mm，I 级；电子秒表：（0～3600）s/0.1s，日差：±0.5s。

C.2.1.4 被测对象

曲挠试验装置的小车运行速度：（0.33±0.05）m/s。

C.2.1.5 测量过程

使用钢卷尺测量小车行程，取两次测量的算数平均值。再使用秒表测出小车单程运行所需时间，取三次测量的算数平均值，最后计算得出小车运行速度。

C.2.2 测量模型

$$v=\frac{L}{1000t} \qquad \text{（C.2）}$$

式中：

v—小车的运行速度，m/s；

L—小车的行程，mm；

t—小车单程运行时间，s。

C.2.3 灵敏系数

$$c_1=\frac{\partial v}{\partial L}=\frac{1}{1000t}$$

$$c_2=\frac{\partial v}{\partial t}=-\frac{L}{1000t^2}$$

C.2.4 标准不确定度分量评定

其主要来源于两个方面，一个是小车行程测量重复性引入的不确定度分量$u_1(L)$；另一个是小车运动时间测量重复性引入的不确定度分量$u_2(t)$。

C.2.4.1 小车行程标准不确定度评定

由 C.1.4 得到小车行程的合成标准不确定度。

即：

$$u_c=\sqrt{c_1{}^2u_1{}^2(\overline{L})+c_2{}^2u_2{}^2(\overline{L})}=0.57\text{mm}$$

C.2.4.2 小车运动时间不确定度评定

C.2.4.2.1 小车运动时间不确定度分量评定

该不确定度分量主要是由于测量重复性引起的，用秒表连续测量 10 次，得到表 C.2.1 的测量数据：

表 C.2.1 小车运动时间

单位：s

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.41	3.23	3.10	2.70	3.30	3.00	2.80	3.25	3.33	3.03

平均值：

$$\overline{t}=3.12\text{s}$$

由贝塞尔公式求单次测得值的实验标准差：

$$s(t)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i-\overline{t})^2}{n-1}}=0.23\text{s}$$

取测量 3 次的算数平均值作为测量结果（n=3），则由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_1(\overline{t})=\frac{s(t)}{\sqrt{n}}=0.13\text{s}$$

C.2.4.2.2 秒表引入的不确定度分量

测量小车运动时间的秒表日差为±0.5s，则分散区间半宽度 a=0.5s，服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$，则秒表最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u_2(\bar{t})=\frac{a}{k}=0.29\text{s}$$

C.2.4.2.3 小车运动时间的合成标准不确定度

由于各分量间不相关，则小车运动时间的合成标准不确定度为：

$$u_2(t)=\sqrt{u_1^2(\bar{t})+u_2^2(\bar{t})}=0.32\text{s}$$

C.2.5 小车速度的合成标准不确定度分量汇总

输入量的标准不确定度分量汇总见表 C.2.2。

表 C.2.2 标准不确定度分量汇总

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $\|c_i\|u(x_i)$
$u_1(v)$	小车行程合成标准不确定	0.57mm	$\frac{1}{1000t}$	0.00018m/s
$u_1(\bar{t})$	小车运动时间测量重复性	0.13s	$-\frac{L}{1000t^2}$	0.032m/s
$u_2(\bar{t})$	秒表误差	0.29s		

C.2.6 小车速度的合成标准不确定度

由于各分量间不相关，则小车速度的合成标准不确定度为：

$$u_c=\sqrt{c_1^2u_1^2(v)+c_2^2u_2^2(v)}=0.03\text{m/s}$$

C.2.7 小车速度的扩展不确定度

小车速度的扩展不确定度 U；取 k=2，

$$U=ku_c=0.03\times2=0.06\text{m/s}$$

C.2.8 扩展不确定度报告

小车速度测量结果的扩展不确定度为 U=0.06m/s；k=2。

C.3 滑轮直径测量结果不确定度评定

C.3.1 概述

C.3.1.1 测量依据

JJF（蒙）053-2023

C.3.1.2 环境条件

环境温度：5℃～35℃，相对湿度：不大于 85%。

C.3.1.3 测量标准器

游标卡尺：（0～300）mm/0.01mm，MPE：±0.04mm。

C.3.1.4 被测对象

滑轮直径：（60±2）mm。

C.3.1.5 测量过程

使用游标卡尺测量滑轮直径，取两次测量的算数平均值。

C.3.2 测量模型

$$\Delta d = d - d_0 \qquad \text{（C.3）}$$

式中：

Δd—测量滑轮直径示值误差，mm；

d—滑轮直径，单位为毫米，mm；

d_0—游标卡尺测量滑轮直径实际值，mm。

C.3.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta d}{\partial d} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta d}{\partial d_0} = -1$$

C.3.4 标准不确定度分量评定

其主要来源于两个方面，一个是滑轮直径测量重复性引入的不确定度分量$u_1(d)$，用 A 类评定方法；另一个是测量滑轮直径的游标卡尺最大允许误差引入的不确定度分量$u_2(d)$，用 B 类评定方法。

C.3.4.1 滑轮直径标准不确定度分量评定

该不确定度分量主要是由于测量重复性引起的，用游标卡尺连续测量 10 次，得到表 C.3.1 的测量数据：

表 C.3.1 滑轮直径

单位：mm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60.02	60.00	60.00	60.02	60.06	60.00	60.02	60.00	59.98	60.00

平均值：

$$\bar{d}=60.01\text{mm}$$

由贝塞尔公式求单次测得值的实验标准差：

$$s(d) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i - \bar{d})^2}{n-1}} = 0.022\text{mm}$$

取测量 2 次的算数平均值作为测量结果（n=2），则由测量重复性引入的标准

不确定度为：

$$u_1\left(\bar{d}\right)=\frac{s\left(d\right)}{\sqrt{n}}=0.015\text{mm}$$

C.3.4.2 由游标卡尺引入的不确定度分量

游标卡尺的最大允许误差为±0.04mm，则分散区间半宽度 a=0.04mm，服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$，则游标卡尺最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u_2\left(\bar{d}\right)=\frac{a}{k}=0.023\text{mm}$$

C.3.5 滑轮直径的合成标准不确定度分量汇总

输入量的标准不确定度分量汇总见表 C.3.2。

表 C.3.2 标准不确定度分量汇总

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $\lvert c_i\rvert u(x_i)$
$u_1\left(\bar{d}\right)$	测量重复性	0.015mm	1	0.015mm
$u_2\left(\bar{d}\right)$	游标卡尺误差	0.023mm	-1	0.023mm

C.3.6 滑轮直径的合成标准不确定度

由于各分量间不相关，则滑轮直径的合成标准不确定度为：

$$u_c=\sqrt{c_1^2u_1^2\left(\bar{d}\right)+c_2^2u_2^2\left(\bar{d}\right)}=0.027\text{mm}$$

C.3.7 滑轮直径的扩展不确定度

小车行程的扩展不确定度 U；取 k=2，

$$U=ku_c=0.027\times2=0.06\text{mm}$$

C.3.8 扩展不确定度报告

滑轮直径的测量结果为 60.01mm，测量结果的扩展不确定度为 U=0.06mm；k=2。

C.4 试验电压示值误差测量结果不确定度评定

C.4.1 概述

C.4.1.1 测量依据

JJF（蒙）053-2023

C.4.1.2 环境条件

环境温度：5℃～35℃，相对湿度：不大于 85%。

C.4.1.3 测量标准器

电压表：（0～1000）V，MPE：±0.5%。

C.4.1.4 被测对象

电压示值：（400±2.5%）V。

C.4.1.5 测量过程

使用电压表测量电极间电压，取两次测量的算数平均值。

C.4.2 测量模型

$$\delta = \frac{U - U_0}{U_0} \times 100\% \qquad \text{（C.4）}$$

式中：

δ—试验电压的相对误差，%；

U—试验电压指示仪表值，V；

U_0—校准用电压表读数，V。

C.4.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial U} = \frac{1}{U_0}$$

$$c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial U_0} = -\frac{U}{U_0^{\ 2}}$$

C.4.4 标准不确定度分量评定

其主要来源于两个方面，一个是电压示值测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(U)$，用 A 类评定方法；另一个是测量电压示值的电压表引入的不确定度分量 $u_2(U)$用 B 类评定方法。

C.4.4.1 试验电压相对标准不确定度分量评定

该不确定度分量主要是由于测量重复性引起的，用电压表连续测量 10 次，得到表 C.4.1 的测量数据：

表 C.4.1 试验电压

单位：V

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
399.90	400.10	400.00	400.00	400.00	399.90	400.00	400.00	400.00	400.10

平均值：

$$\overline{U}=400.00\text{V}$$

由贝塞尔公式求单次测得值的实验标准差：

$$s(U)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(U_i-\overline{U})^2}{n-1}}=0.0670\text{V}$$

取测量 2 次的算数平均值作为测量结果（n=2），则由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_1\left(\overline{U}\right)=\frac{s\left(U\right)}{\sqrt{n}}=0.0474\text{V}$$

C.4.4.2 由电压表引入的不确定度分量

电压表的最大允许误差为±0.5%，则分散区间半宽度 a=0.5%，服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$，则电压表最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u_2\left(U\right)=\frac{Ua}{k}=0.2886\text{V}$$

C.4.5 试验电压的相对标准不确定度分量汇总

输入量的不确定度分量汇总见表 C.4.2。

表 C.4.2 不确定度分量汇总

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $\lvert c_i\rvert u(x_i)$
$u_1\left(U\right)$	测量重复性	0.0474V	$\frac{1}{U_0}$	0.0001%
$u_2\left(U\right)$	电压表误差	0.2886V	$-\frac{U}{{U_0}^2}$	0.0007%

C.4.6 试验电压的相对标准不确定度

由于各分量间不相关，试验压流的相对标准不确定度为：

$$u_\text{r}=\sqrt{{c_1}^2{u_1}^2\left(U\right)+{c_2}^2{u_2}^2\left(U\right)}=0.0007\%$$

C.4.7 试验电压的相对扩展不确定度

试验电压的相对扩展不确定度 U_r；取 k=2，

$$U_\text{r}=ku_\text{r}=0.0007\%\times2=0.001\%$$

C.4.8 相对扩展不确定度报告

试验电压的测量结果为 400V，测量结果的相对扩展不确定度为 U_r=0.001%；k=2。

C.5 试验电流示值误差测量结果不确定度评定

C.5.1 概述

C.5.1.1 测量依据

JJF（蒙）053-2023

C.5.1.2 环境条件

环境温度：5℃～35℃，相对湿度：不大于 85%。

C.5.1.3 测量标准器

电流表：（0～100）A，MPE：±0.5%。

C.5.1.4 被测对象

电流示值：（3.0±2.5%）A。

C.5.1.5 测量过程

使用电流表测量电流，取两次测量的算数平均值。

C.5.2 测量模型

$$\gamma = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100\% \qquad \text{（C.5）}$$

式中：

γ—试验电流的相对误差，%；

I—试验电流指示仪表值，A；

I_0—校准用电流表读数，A。

C.5.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \gamma}{\partial I} = \frac{1}{I_0}$$

$$c_2 = \frac{\partial \gamma}{\partial I_0} = -\frac{I}{{I_0}^2}$$

C.5.4 标准不确定度分量评定

其主要来源于两个方面，一个是电流示值测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(I)$，用 A 类评定方法；另一个是测量电流示值的电流表引入的不确定度分量 $u_2(I)$用 B 类评定方法。

C.5.4.1 试验电流相对标准不确定度分量评定

该不确定度分量主要是由于测量重复性引起的，用电流表连续测量 10 次，得到表 C.5.1 的测量数据：

表 C.5.1 试验电流

单位：A

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.90	3.10	3.00	2.90	3.00	2.90	3.00	3.00	3.10	3.10

平均值：

$$\bar{I}=3.00\text{A}$$

由贝塞尔公式求单次测得值的实验标准差：

$$s(I)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(I_i-\bar{I})^2}{n-1}}=0.08\text{A}$$

取测量 2 次的算数平均值作为测量结果（n=2），则由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_1\left(\bar{I}\right)=\frac{s\left(I\right)}{\sqrt{n}}=0.06\text{A}$$

C.5.4.2 由电流表引入的不确定度分量

电流表的最大允许误差为±0.5%，则分散区间半宽度 a=0.5%，服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$，则电流表最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u_2\left(I\right)=\frac{Ia}{k}=0.29\text{A}$$

C.5.5 试验电流的相对标准不确定度分量汇总

输入量的不确定度分量汇总见表 C.5.2。

表 C.5.2 不确定度分量汇总

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $\lvert c_i\rvert u(x_i)$
$u_1\left(I\right)$	测量重复性	0.06A	$\frac{1}{I_0}$	0.02%
$u_2\left(I\right)$	电流表误差	0.29A	$-\frac{I}{{I_0}^2}$	0.10%

C.5.6 试验电流的相对标准不确定度

试验电流的相对标准不确定度为：

$$u_\text{r}=\sqrt{{c_1}^2{u_1}^2\left(I\right)+{c_2}^2{u_2}^2\left(I\right)}=0.10\%$$

C.5.7 试验电流的相对扩展不确定度

试验电流的相对扩展不确定度 U_r；取 k=2，

$$U_\text{r}=ku_\text{r}=0.10\%\times2=0.2\%$$

C.5.8 相对扩展不确定度报告

试验电流的测量结果为 3A，测量结果的相对扩展不确定度为 U_r=0.2%；k=2。

C.6 负荷质量测量结果不确定度评定

C.6.1 概述

C.6.1.1 测量依据

JJF（蒙）053-2023

C.6.1.2 环境条件

环境温度：5℃～35℃，相对湿度：不大于 85%。

C.6.1.3 测量标准器

电子天平：最大秤量 10kg/d=0.1g，Ⅲ级。

C.6.1.4 被测对象

负荷质量：（500±5）g。

C.6.1.5 测量过程

使用电子天平测量负荷质量，取两次测量的算数平均值。

C.6.2 测量模型

$$\Delta m = m - m_0 \tag{C.6}$$

式中：

Δm—电子天平示值误差，g；

m—负荷质量，g；

m_0—电子天平示值，g。

C.6.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta m}{\partial m} = 1$$

$$c_1 = \frac{\partial \Delta m}{\partial m_0} = -1$$

C.6.4 标准不确定度分量评定

其主要来源于两个方面，一个是负荷质量测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(m)$，用 A 类评定方法；另一个是测量负荷质量的电子天平示值误差引入的不确定度分量$u_2(m)$，用 B 类评定方法。

C.6.4.1 负荷质量标准不确定度分量评定

该不确定度分量主要是由于测量重复性引起的，用电子天平连续测量 10 次，得到表 C.6.1 的测量数据：

表 C.6.1 负荷质量

单位：g

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
500.0	501.0	500.0	500.0	500.0	500.0	499.0	500.0	500.0	500.0

平均值：

$$\overline{m}=500.0\text{g}$$

由贝塞尔公式求单次测得值的实验标准差：

$$s(m)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(m_i-\overline{m})^2}{n-1}}=0.47\text{g}$$

取测量 2 次的平均值作为测量结果（n=2），则由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_1(\overline{m})=\frac{s(m)}{\sqrt{n}}=0.33\text{g}$$

C.6.4.2 电子天平由引入的不确定度分量

测量 500g 时分度值为 1g 的电子天平的最大允许误差为±1g，则分散区间半宽度 a=1g，服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$，则电子天平最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u_2(\overline{m})=\frac{a}{k}=0.58\text{g}$$

C.6.5 负荷质量的合成标准不确定度分量汇总

输入量的标准不确定度分量汇总见表 C.6.2。

表 C.6.2 标准不确定度分量汇总

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $\lvert c_i\rvert u(x_i)$
$u_1(\overline{m})$	测量重复性	0.33g	1	0.33g
$u_2(\overline{m})$	电子天平误差	0.58g	-1	0.58g

C.6.6 负荷质量的合成标准不确定度

由于各分量间不相关，则负荷质量的合成标准不确定度为：

$$u_c=\sqrt{c_1^2u_1^2(\overline{m})+c_2^2u_2^2(\overline{m})}=0.67\text{g}$$

C.6.7 负荷质量的扩展不确定度

负荷质量的扩展不确定度 U；取 k=2，

$$U=ku_c=0.67\times2=1.3\text{g}$$

C.3.8 扩展不确定度报告

负荷质量的测量结果为 500g，测量结果的扩展不确定度为 U=1.3g；k=2。

JJF（蒙）053—2023