

天津市地方计量技术规范

JJF (津) 105-2023

电线电缆曲挠试验机校准规范

Calibration specification for Wire
and Cable Flexing Test Equipment

2023-11-15 发布

2024-02-15 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

电线电缆曲挠试验机校准规范

Calibration specification for Wire
and Cable Flexing Test Equipment

JJF (津) 105-2023

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市静海区计量检定所

河北省计量监督检测研究院

河北唐测检测科技有限公司

本规范委托天津市静海区计量检定所负责解释

本规范主要起草人：

孙春奎（天津市静海区计量检定所）
张宇飞（天津市静海区计量检定所）
张景红（河北省计量监督检测研究院）
李 伟（河北唐测检测科技有限公司）

参加起草人：

魏 猛（天津市静海区计量检定所）
蒋怡凡（天津市静海区计量检定所）
徐 伟（天津市静海区计量检定所）
于 洋（河北唐测检测科技有限公司）

目 录

引言.....	(III)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(2)
4.1 试验电压.....	(2)
4.2 试验电流.....	(2)
4.3 运行行程.....	(2)
4.4 运行速度.....	(2)
4.5 负荷质量.....	(2)
4.6 滑轮直径.....	(2)
4.7 滑轮位置.....	(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 外观及功能检查.....	(3)
6.2 试验电压.....	(3)
6.3 试验电流.....	(4)
6.4 运行行程.....	(4)
6.5 运行速度.....	(4)
6.6 负荷质量.....	(4)
6.7 滑轮直径.....	(5)
6.8 滑轮位置.....	(5)
7 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 电线电缆曲绕试验机的电压测量结果不确定度分析.....	(6)
附录 B 电线电缆曲绕试验机的试验电流测量结果不确定度分析.....	(8)
附录 C 电线电缆曲绕试验机的小车运行速度测量结果不确定度分析.....	(10)
附录 D 电线电缆曲绕试验机的负荷质量测量结果不确定度分析.....	(13)
附录 E 电线电缆曲绕试验机的滑轮直径测量结果不确定度分析.....	(15)

附录 F	电线电缆曲挠试验机的滑轮位置测量结果不确定度分析.....	(17)
附录 G	校准原始记录格式.....	(19)
附录 H	校准证书内页格式.....	(21)

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》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范参照 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》、GB/T 5013.2—2008《额定电压 450/750 V 及以下橡皮绝缘电缆 第2部分：试验方法》和 GB/T 5023.2—2008《额定电压 450/750 V 及以下聚氯乙烯绝缘电缆 第2部分：试验方法》进行制定，采用了其中的基本原则，对具体方法和技术指标进行了补充和修改。

本规范为首次制定。



电线电缆曲挠试验机校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围在交流电压(0~400)V、交流电流(0~30)A、负荷质量(0.5~10)kg、运行速度(0~1)m/s的电线电缆曲挠试验机(以下简称曲挠试验机)的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件:

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

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

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

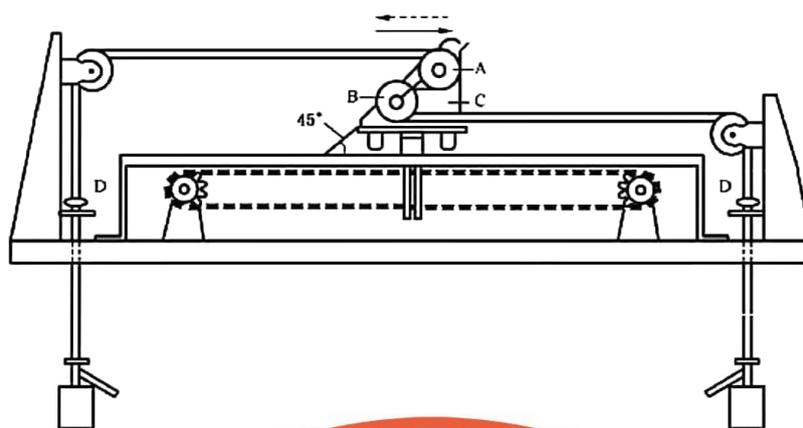
GB/T 5013.2—2008 额定电压450/750V及以下橡皮绝缘电缆 第2部分:试验方法

GB/T 5023.2—2008 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

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 概述

曲挠试验机用于电线电缆的动态曲挠试验。它由机械装置部分、重锤、可拆卸滑轮、电源控制及报警显示系统等组成,如图1所示。可移动的小车C上安装有直径相等的两个滑轮A和B,设备两端各有一个固定滑轮,四个滑轮的安装可使试样呈水平状态。小车以约0.33m/s的恒速在大于1000mm的距离内运动。滑轮应为金属材质,并有凹槽放置电缆。安装限位夹头D,以使小车远离重锤时,始终能借助重锤施加一个拉力使小车往返运动。



A—滑轮；B—滑轮；C—小车；D—限位夹头

图 1 曲绕试验机原理图

4 计量特性

4.1 试验电压

曲绕试验机应具备电压连续可调功能以及电压显示功能，可调范围单相电压（0~300）V、三相电压（0~400）V，试验电压相对最大允许误差为±2.5%。

4.2 试验电流

曲绕试验机应具备电流连续可调功能以及电流显示功能，并且三相需分别具备电流可调功能，可调范围每相电流（0~30）A，试验电流相对最大允许误差为±2.5%。

4.3 运行行程

小车的行程应不小于 1 000 mm；并且机械装置部分应有行程标尺。

4.4 运行速度

小车的运行速度应为 (0.33 ± 0.05) m/s。

4.5 负荷质量

应有表 1 所规定的或能组成表 1 所规定的成对负荷质量，并且每个负荷质量的最大允许误差为±1%。

表 1 负荷质量

负荷/g	500	1 000	1 500	2 000	3 000	3 500	4 000	6 000	7 000	7 500
------	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

4.6 滑轮直径

滑轮直径分别为 60 mm，80 mm，120 mm，160 mm，200 mm，最大允许误差为±2 mm。

4.7 滑轮位置

两滑轮轴心的连线与小车滑动轨道成 $(45 \pm 1)^\circ$ 角。

注：以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

- 5.1.1 环境温度：(10~35) °C；
 5.1.2 相对湿度：≤85%；
 5.1.3 校准现场无强电磁场或其他干扰。

5.2 测量标准及其他设备

表 2 校准项目及校准设备

序号	校准项目	校准设备	
		名称	技术要求
1	试验电压	交流数字电压表	测量范围：(0~400) V，准确度等级：0.5 级
2	试验电流	交流数字电流表	测量范围：(0~30) A，准确度等级：0.5 级
3	运行行程 (运行速度)	钢卷尺	测量范围：(0~2 000) mm，分度值：1 mm，II 级
		秒表	分辨力：0.1 s，MPE：±0.5 s/d
4	负荷质量	电子秤（或天平）	测量范围：(0~10) kg，准确度等级：III 级
5	滑轮直径	长爪游标卡尺	测量范围：(0~300) mm，MPE：±0.04 mm
6	滑轮位置	IV 型数显角度尺	测量范围：(0~360) °，MPE：±0.3°

允许使用满足技术要求的其他校准设备。

6 校准项目和校准方法

6.1 外观及功能检查

- 6.1.1 试验机开关、按钮、旋钮应操作灵活，各部分连接应牢固、可靠、无松动。通电后，电压表、电流表、计数器等仪表的数字显示清晰。
 6.1.2 在滑轮之间的试样应呈水平状态。
 6.1.3 目测检查曲挠试验机的计数器工作是否可靠，有无计数误差。
 6.1.4 分别将试样的 A、B、C、N 相断路、与其它相的试样短接，电线电缆曲挠试验机应有缺陷报警，并且计数装置能保持小车来回所计的次数。

6.2 试验电压

空载条件下调节电压调节器至零位，电流负载调节至零位。将交流数字电压表接在曲挠试验机试验电源输出端子上，打开曲挠试验机电源，调节调压器至相应示值并记录电压表测得值，校准点选择 220 V、380 V，每个校准点测量 2 次，取电压表示值平均值作为校准结果。按式 (1) 计算试验电压的相对误差：

$$\gamma_1 = \frac{U - U_0}{U_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

γ_1 —— 试验电压的相对误差, %;

U —— 试验电压指示仪表值, V;

U_0 —— 交流数字电压表读数, V。

注: 也可以按照客户要求选择校准点。

6.3 试验电流

空载条件下调节电压调节器至零位, 电流调节至零位。将交流数字电流表接在曲绕试验机试验电源输出端子上, 打开曲绕试验机电源, 校准单相时调节调压器至 220 V, 校准三相时调节调压器至 380 V。选择 1A、6A、10A、14A、20A、25A、30A 的电流值进行测量。测量 2 次, 取电流表示值平均值作为校准结果。按式 (2) 计算试验电流的相对误差:

$$\gamma_2 = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

γ_2 —— 试验电流的相对误差, %;

I —— 试验电流指示仪表值, A;

I_0 —— 交流数字电流表读数, A。

注: 也可以按照客户要求选择校准点。

6.4 运行行程

将小车置于行程的最左或最右侧, 记录起始位置; 然后启动小车至行程的最末端记录其位置; 使用钢卷尺测量间距 L 即为小车行程。测量 2 次, 取平均值作为校准结果。

6.5 运行速度

将小车置于行程的最左或最右侧, 启动小车运行键并同时开启秒表计时; 当小车运行 10 个行程停止秒表计时, 读取秒表时间 t 。测量 2 次, 取示值平均值作为校准结果。小车运行速度 v 按式 (3) 计算:

$$v = \frac{10 \cdot L}{1000 \cdot t} = \frac{L}{100t} \quad (3)$$

式中:

v —— 小车运行速度, m/s;

L —— 小车的行程, mm;

t —— 小车行驶 10 个行程所用的时间, s。

6.6 负荷质量

用电子秤 (或天平) 测量曲绕试验机的负荷质量, 每一个负荷质量测量 2 次, 取平均值作为校准结果。

6.7 滑轮直径

用游标卡尺测量曲挠试验机搭配的滑轮凹槽处的直径，在滑轮互相垂直的两个方向上各测量 1 次，取平均值作为校准结果。

6.8 滑轮位置

将数显角度尺的基尺置于小车的滑行轨道上，测量滑轮轴与轨道间角度，测量 2 次，取平均值作为校准结果。

7 复校时间间隔

曲挠试验机的复校时间间隔建议为 1 年。

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

电线电缆曲挠试验机的电压测量结果不确定度分析

A.1 测量过程简述

A.1.1 测量环境条件：温度 28.5℃，湿度 59%RH。

A.1.2 测量标准：交流数字电压表，AC (0~400) V，50 Hz，MPE：±0.5%×读数。

A.1.3 被测对象：电线电缆曲挠试验机（以下简称曲挠试验机），其电压示值最大允许误差为±2.5%×示值。

A.1.4 测量方法：交流数字电压表对曲挠试验机电压示值进行直接测量。

A.2 测量模型

曲挠试验机电压示值误差可写成如下模式：

$$\delta = U - U_0$$

式中：

δ ——电压示值误差，V；

U ——曲挠试验机电压示值，V；

U_0 ——交流数字电压表读数，V。

灵敏系数

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

$$c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial U_0} = -1$$

A.3 标准不确定度评定

A.3.1 交流数字电压表引入的不确定度 u_1

由交流数字电压表的误差引起，最大允许误差为±0.5%，则在 220 V 点，该误差分布遵从均匀分布，为 B 类不确定度，故：

$$u_1 = \frac{220 \times 0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.6351 \text{V}$$

A.3.2 测量重复性引入的不确定度 u_2

用交流数字电压表对曲挠试验机的电压示值进行测量，共测量 10 次，测得数据如下表：

表 A.1 测量数据一览表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电压/V	220.2	220.3	220.2	220.1	220.4	220.2	220.2	220.3	220.2	220.4

则

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0971\text{V}$$

在实际校准过程中测量 2 次，以平均值作为校准结果，则：

$$u_2 = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \frac{0.0971\text{V}}{\sqrt{2}} = 0.0687\text{V}$$

表 A.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i u(x_i)$
u_1	交流数字电压表	0.6351	1	0.6351
u_2	测量重复性	0.0687	-1	0.0687

A.4 合成标准不确定度计算

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可以按下式计算：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = 0.64\text{V}$$

A.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = u_c \times k = 0.64 \times 2 = 1.3\text{V}$$

附录 B

电线电缆曲挠试验机的试验电流测量结果不确定度分析

B.1 测量过程简述

B.1.1 测量环境条件：温度 28.5℃，湿度 59%RH。

B.1.2 测量标准：交流数字电流表，AC (0~30) A，50Hz，MPE：±0.5%×读数。

B.1.3 被测对象：电线电缆曲挠试验机（以下简称曲挠试验机），其电流示值最大允许误差为±2.5%×示值。

B.1.4 测量方法：交流数字电流表对曲挠试验机电流示值进行直接测量。

B.2 测量模型

曲挠试验机电流示值误差可写成如下模式：

$$\delta = I - I_0$$

式中：

δ —— 电流示值误差，A；

I —— 曲挠试验机电流示值，A；

I_0 —— 交流数字电流表读数，A。

灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial I} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial I_0} = -1$$

B.3 标准不确定度评定

B.3.1 交流数字电流表引入的不确定度 u_1

由交流数字电流表的误差引起，最大允许误差为±0.5%，则在 6 A 点，该误差分布遵从均匀分布，为 B 类不确定度，故：

$$u_1 = \frac{6 \times 0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.017\text{A}$$

B.3.2 测量重复性引入的不确定度 u_2

用交流数字电流表对曲挠试验机的电流示值进行测量，共测量 10 次，测得数据如下表：

表 B.1 测量数据一览表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电流/A	5.99	6.00	6.02	6.01	5.99	6.00	6.02	6.01	6.00	5.99

则

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.012\text{A}$$

在实际校准过程中测量 2 次，以平均值作为校准结果，则：

$$u_2 = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \frac{0.012\text{A}}{\sqrt{2}} = 0.0085\text{A}$$

表 B.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i u(x_i)$
u_1	交流数字电流表	0.017	1	0.017
u_2	测量重复性	0.0085	-1	0.0085

B.4 合成标准不确定度计算

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可以按下式计算：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = 0.019\text{A}$$

B.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = u_c \times k = 0.012 \times 2 = 0.04\text{A}$$

附录 C

电线电缆曲绕试验机的小车运行速度测量结果不确定度分析

C.1 测量过程简述

C.1.1 测量环境条件：温度 28.5℃，湿度 59%RH。

C.1.2 测量标准：小车行程测量使用钢卷尺，范围 (0~2000) mm，II 级，MPE：±(0.3 mm + 0.2 L)；小车行驶时间测量使用电子秒表，MPE：±0.5 s/d。

C.1.3 被测对象：电线电缆曲绕试验机(以下简称曲绕试验机)，其小车运行速度为 0.33 m/s，MPE：±0.05 m/s。

C.1.4 测量方法：用钢卷尺测量小车的行程，用电子秒表测量小车行驶 10 个行程所得时间，小车全部行程除以小车行驶用得时间，得到小车运行的平均速度。

C.2 测量模型

曲绕试验机小车运行速度测量模型可写成如下模式：

$$v = \frac{10 \cdot L}{1000t} = \frac{L}{100t}$$

式中：

v —— 曲绕试验机小车运行速度，m/s；

L —— 曲绕试验机小车行程，mm；

t —— 曲绕试验机小车行驶时间，s。

灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial v}{\partial L} = \frac{1}{100t}$$

$$c_2 = \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{L}{100t^2}$$

C.3 输入量标准不确定度评定

C.3.1 行程测量引入的不确定度 u_1

1) 小车行程测量所用钢卷尺的最大允许误差为 ±(0.3 + 0.2 L) mm，则在 1000 mm 点，最大允许误差为 ±0.5 mm，由钢卷尺误差引入的不确定度为 B 类不确定度，遵从均匀分布，故：

$$u_{11} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289 \text{ mm}$$

2) 用钢卷尺对曲绕试验机的小车行程进行测量，共测量 10 次，测得数据如下表：

表 C.1 测量数据一览表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
行程/mm	1000	1004	1002	1000	1003	1005	1000	1000	1000	1004

则

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.044 \text{ mm}$$

在实际校准过程中测量 2 次，以平均值作为校准结果，则：

$$u_{12} = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \frac{2.044 \text{ mm}}{\sqrt{2}} = 1.446 \text{ mm}$$

u_{11} 、 u_{12} 彼此独立不相关，所以标准不确定度 u_1 可以按下式计算：

$$u_1 = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2} = \sqrt{0.289^2 + 2.044^2} = 2.064 \text{ mm}$$

C.3.2 运行时间测量引入的不确定度 u_2

1) 小车运行时间测量所用秒表最大允许误差为 $\pm 0.5 \text{ s}$ ，由秒表误差引入的不确定度为 B 类不确定度，遵从均匀分布，故：

$$u_{21} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289 \text{ s}$$

2) 用秒表对小车运行时间进行直接测量，共测量 10 次，测得数据如下表：

表 C.2 测量数据一览表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
运行时间/s	30.31	30.42	30.39	30.36	30.42	30.28	30.32	30.33	30.40	30.28

则

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.178 \text{ s}$$

在实际的校准过程中测量两次，取平均值作为测量结果，则

$$u_{22} = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \frac{0.178 \text{ s}}{\sqrt{2}} = 0.126 \text{ s}$$

u_{21} 、 u_{22} 彼此独立不相关，所以标准不确定度 u_2 可以按下式计算：

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = \sqrt{0.289^2 + 0.126^2} = 0.315 \text{ s}$$

取小车行程 $L = 1\,000 \text{ mm}$ ，小车运行时间 $t = 30.35 \text{ s}$ ，则 $c_1 = 3.295 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ， $c_2 = -1.086 \times 10^{-2} \text{ m}^{-2}$ 。

表 C.3 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i u(x_i)$
u_1	行程测量	2.064	3.295×10^{-4}	6.801×10^{-4}
u_2	运行时间测量	0.316	-1.086×10^{-2}	0.343×10^{-2}

C.4 合成标准不确定度计算

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可以按下式计算：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = 0.004 \text{ m/s}$$

C.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = u_c \times k = 0.004 \times 2 \approx 0.01 \text{ m/s}$$

附录 D

电线电缆曲绕试验机的负荷质量测量结果不确定度分析

D.1 测量过程简述

D.1.1 测量环境条件：温度 28.5℃，湿度 59%RH。

D.1.2 测量标准：负荷质量测量使用电子秤，范围 (0~10) kg， $e = 1$ g。

D.1.3 被测对象：电线电缆曲绕试验机（以下简称曲绕试验机），负荷质量 (500~7 500) g，MPE：±1%。

D.1.4 测量方法：用电子秤测量曲绕试验机的负荷质量，每个负荷质量测量 2 次，取平均值作为校准结果。

D.2 测量模型

曲绕试验机负荷质量的示值误差可写成如下模式：

$$\delta = m - m_0$$

式中：

δ —— 负荷质量示值误差，g；

m —— 负荷质量标称值，g；

m_0 —— 负荷质量 2 次测量平均值，g。

灵敏系数

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

$$c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial m_0} = -1$$

D.3 标准不确定度评定

D.3.1 电子秤引入的不确定度 u_1

负荷质量测量所用电子秤在 3 000 g 点的最大允许误差为 ±1.5g，由电子称误差引入的不确定度为 B 类不确定度，遵从均匀分布，故：

$$u_1 = \frac{1.5}{\sqrt{3}} = 0.866\text{g}$$

D.3.2 测量重复性引入的不确定度 u_2

以校准 3 000 g 负荷质量为例，用电子秤对曲绕试验机的负荷质量进行测量，共测量 10 次，测得数据如下表：

表 D.1 测量数据一览表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
质量/g	2 999	2 999	2 999	3 000	2 999	2 999	3 000	3 000	2 999	2 999

则

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.483\text{g}$$

在实际校准过程中测量 2 次，以平均值作为校准结果，则：

$$u_2 = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \frac{0.483\text{g}}{\sqrt{2}} = 0.342\text{g}$$

表 D.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i u(x_i)$
u_1	电子秤	0.866	1	0.866
u_2	测量重复性	0.342	-1	0.342

D.4 合成标准不确定度计算

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可以按下式计算：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = 0.931\text{g}$$

D.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = u_c \times k = 0.931 \times 2 \approx 2\text{g}$$

附录 E

电线电缆曲挠试验机的滑轮直径测量结果不确定度分析

E.1 测量过程简述

E.1.1 测量环境条件：温度 28.5℃，湿度 59%RH。

E.1.2 测量标准：滑轮直径测量使用长爪游标卡尺，测量范围：（0~300）mm，MPE： ± 0.04 mm。

E.1.3 被测对象：电线电缆曲挠试验机（以下简称曲挠试验机），滑轮直径（60~200）mm，MPE： ± 2 mm。

E.1.4 测量方法：用长爪游标卡尺测量曲挠试验机的滑轮直径，每个滑轮直径测量 2 次，取平均值作为校准结果。

E.2 测量模型

曲挠试验机滑轮直径的示值误差可写成如下模式：

$$\delta = D - D_0$$

式中：

δ —— 滑轮直径示值误差，mm；

D —— 滑轮直径标称值，mm；

D_0 —— 滑轮直径 2 次测量平均值，mm。

灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial D} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial D_0} = -1$$

E.3 标准不确定度评定

E.3.1 长爪游标卡尺引入的不确定度 u_1

滑轮直径测量所用长爪游标卡尺的最大允许误差为 ± 0.04 mm，引入的不确定度为 B 类不确定度，遵从均匀分布，故：

$$u_1 = \frac{0.04}{\sqrt{3}} = 0.023 \text{ mm}$$

E.3.2 测量重复性引入的不确定度 u_2

以校准 160 mm 滑轮直径为例，用长爪游标卡尺对曲挠试验机的滑轮直径进行测量，共测量 10 次，测得数据如下表：

表 E.1 测量数据一览表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
滑轮直径/mm	159.94	159.96	159.98	159.96	159.98	159.96	159.96	159.96	159.96	159.94

则

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.013\text{mm}$$

在实际校准过程中测量 2 次，以平均值作为校准结果，则：

$$u_2 = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \frac{0.013\text{g}}{\sqrt{2}} = 0.009\text{mm}$$

表 E.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i u(x_i)$
u_1	长爪游标卡尺	0.023	1	0.023
u_2	测量重复性	0.009	-1	0.009

E.4 合成标准不确定度计算

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可以按下式计算：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = 0.025\text{mm}$$

E.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = u_c \times k = 0.025 \times 2 = 0.05\text{mm}$$

附录 F

电线电缆曲挠试验机的滑轮位置测量结果不确定度分析

F.1 测量过程简述

F.1.1 测量环境条件：温度 28.5℃，湿度 59%RH。

F.1.2 测量标准：滑轮位置测量使用 IV 型数显角度尺，测量范围：(0~360)°，MPE：±0.3°。

F.1.3 被测对象：电线电缆曲挠试验机（以下简称曲挠试验机），滑轮位置 45°，MPE：±1°。

F.1.4 测量方法：用 IV 型数显角度尺测量曲挠试验机的滑轮位置，测量 2 次取平均值作为校准结果。

F.2 测量模型

曲挠试验机滑轮位置的示值误差可写成如下模式：

$$\delta = \theta - \theta_0$$

式中：

δ —— 滑轮位置示值误差，°；

θ —— 滑轮位置标称值，°；

θ_0 —— 滑轮位置 2 次测量平均值，°。

灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial \theta} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial \theta_0} = -1$$

F.3 标准不确定度评定

F.3.1 数显角度尺引入的不确定度 u_1

滑轮位置测量所用数显角度尺的最大允许误差为 ±0.3°，引入的不确定度为 B 类不确定度，遵从均匀分布，故：

$$u_1 = \frac{0.3}{\sqrt{3}} = 0.173^\circ$$

F.3.2 测量重复性引入的不确定度 u_2

用数显角度尺对曲挠试验机的滑轮位置进行测量，共测量 10 次，测得数据如下表：

表 F.1 测量数据一览表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
滑轮位置/°	45.35	45.37	45.41	45.40	45.38	45.42	45.39	45.36	45.38	45.41

则

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.023^\circ$$

在实际校准过程中测量 2 次，以平均值作为校准结果，则：

$$u_2 = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \frac{0.023^\circ}{\sqrt{2}} = 0.016^\circ$$

表 F.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i u(x_i)$
u_1	IV型数显角度尺	0.173	1	0.173
u_2	测量重复性	0.016	-1	0.016

F.4 合成标准不确定度计算

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可以按下式计算：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = 0.174^\circ$$

F.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = u_c \times k = 0.174 \times 2 = 0.35^\circ$$

附录 G

校准原始记录格式

电线电缆曲挠试验机校准记录格式

客户名称: _____ 证书编号: _____ 记录编号: _____
 客户地址: _____ 型号规格: _____ 出厂编号: _____
 制造厂名: _____ 校准依据: _____ 建议复校时间: _____
 校准地点: _____ 环境条件: 温度: _____ 相对湿度: _____

主要校准设备

序号	标准器名称	型号规格	编号	不确定度或准确度等级 或最大允许误差	证书编号	有效期至

1. 试验电压

量程	被校显示值	实测值		平均值	不确定度 ($k=2$)
		1	2		

2. 试验电流

量程	被校显示值	实测值		平均值	不确定度 ($k=2$)
		1	2		

3. 小车行程及运行速度

小车行程/mm		小车运行时间/s		小车运行速度/m/s	不确定度($k=2$)
1		1			
2		2			
平均值		平均值			

4. 负荷质量

标称值/g		实测值/g		平均值/g	不确定度 ($k=2$)
	1				
	2				
	1				
	2				
	1				
	2				

5. 滑轮直径

标称值/mm		实测值/mm		平均值/mm	不确定度 ($k=2$)
	1				
	2				
	1				
	2				
	1				
	2				

6. 滑轮位置

滑轮轴与轨道间的角度	实测值		平均值

7. 缺陷报警

A 相	
B 相	
C 相	
N 相	

8. 计数器

计数器计数是否准确	
计数器断电是否保持	

校准员: _____

核验员: _____

校准日期: _____

附录 H

校准证书内页格式
校准结果

项目	校准结果					
	试验电压/V	被校显示值		实际值		不确定度 ($k=2$)
试验电流/A	被校显示值		实际值		不确定度 ($k=2$)	
小车行程/mm						
运行速度/m/s						
负荷质量/g	标称值	实际值	不确定度 ($k=2$)	标称值	实际值	不确定度 ($k=2$)
		1			1	
		2			2	
		1			1	
		2			2	
		1			1	
	2			2		
滑轮直径/mm	标称值	实际值	不确定度 ($k=2$)	标称值	实际值	不确定度 ($k=2$)
		1			1	
		2			2	
		1			1	
		2			2	
		1			1	
	2			2		
滑轮位置						
缺陷报警						

