



# 中华人民共和国纺织行业计量技术规范

JJF (纺织) 056—2023

## 毛细效应测试仪校准规范

Calibration Specification for Capillary Effect Testers

(报批稿)

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

# 毛细效应测试仪校准规范

Calibration Specification for  
Capillary Effect Testers

JJF（纺织）056—2023  
代替 JJF（纺织）056—2013

**归口单位：**中国纺织工业联合会

**起草单位：**广州纤维产品检测研究院

纺织工业科学技术发展中心

莱州元茂仪器有限公司

济宁市质量计量检验检测研究院

喀什地区纤维检验所

本规范委托全国纺织计量技术委员会负责解释

**本规范起草人：**

谭伟新（广州纤维产品检测研究院）

倪瑞龙（广州纤维产品检测研究院）

程 杰（山东省产品质量检验研究院）

张玉华（济宁市质量计量检验检测研究院）

王树军（喀什地区纤维检验所）

王国建（纺织工业科学技术发展中心）

李春钢（莱州元茂仪器有限公司）

# 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 )
5 校准条件	( 2 )
6 校准项目和校准方法	( 2 )
6.1 校准前准备	( 2 )
6.2 校准项目	( 3 )
6.3 校准方法	( 3 )
7 校准结果表达	( 4 )
8 复校时间间隔	( 4 )
附录 A 毛细效应测试仪校准记录参考格式	( 6 )
附录 B 毛细效应测试仪校准证书（内页）参考格式	( 8 )
附录 C 毛细效应测试仪校准规范不确定度评定（示例）	( 9 )

# 引 言

本规范是以 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》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编写。

本规范的计量特性主要参考了 FZ/T 01071—2008 (2015)《纺织品 毛细效应试验方法》相关技术内容。

本规范是对 JJF (纺织) 056—2013《毛细管效应仪校准规范》的修订,除结构调整和编辑性改动外,主要技术变化如下:

——规范名称:将原“毛细管效应仪校准规范”更改为“毛细效应测试仪校准规范”。

——范围:删除 2013 年版范围“新制造、首次使用、使用中和修理后”。

——引用文件:删除 2013 年版“JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》和 FZ/T 01071—2008《纺织品 毛细效应试验方法》”,增加 JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》和 GB/T 8170《数值修约规则与极限数值的表示和判定》。

——概述:增加毛细效应仪结构组成和示意图(见图 1)。

——计量特性:

1. 将 2013 年版计量特性 4.1 基本要求、4.2 安全保护性能、4.3 基本功能、4.4.1 长度标尺零位、4.4.2 长度标尺测量范围、4.4.3 张力夹宽度、4.4.4 水槽深度等属于外观检查项目调整为校准前检查项目(见 6.1);

2. 删除 2013 年版计量特性 4.4.5 横梁架升降距离:  $\geq 50\text{mm}$  和 4.4.7 试验液体温度计量特性。

——附录:更改校准记录表和校准结果测量不确定度评定(示例),增加校准证书内页参考格式。

本规范历次版本发布情况如下:

JJF (纺织) 067—1995 毛细管效应测定仪检定规程;

JJF (纺织) 056—2006 毛细管效应测定仪校准规范;

JJF (纺织) 056—2013 毛细管效应仪校准规范。

# 毛细效应测试仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于毛细效应测试仪（以下简称“毛细效应仪”）的校准，其他原理相同、结构类似的检测仪器校准可参照本规范执行。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1071—2010 国家计量校准规范编写规则

GB/T8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

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，其最新现行有效版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 概述

毛细效应仪用于长丝、纱线、绳索、织物及纺织品毛细效应的测定，由试样支架、标尺、容器、张力夹和定时器组成（见图 1）。测试原理：将试样垂直悬挂，其一端浸在容器的液体中，利用纤维毛细效应作用，测定液体经过规定时间沿试样吸升高度，利用液体芯吸高度评定织物毛细效应性能。

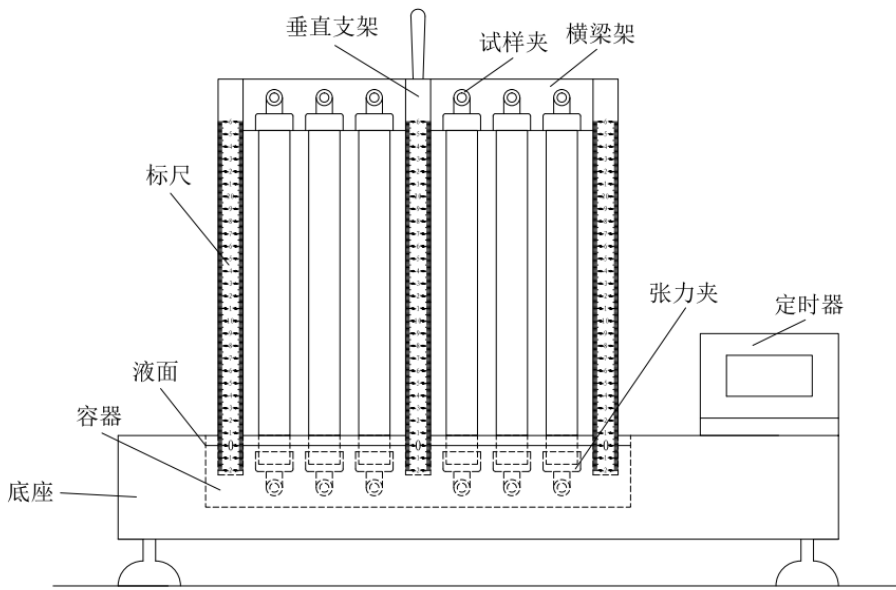


图 1 毛细效应仪示意图

## 4 计量特性

4.1 长度标尺示值允许误差： $\pm 0.5$  mm；

4.2 试验时间控制误差： $\pm 5$  s（设定 30min 时）；

4.3 张力夹质量： $(3 \pm 0.5)$  g。

注：以上指标不适用于仪器设备的合格性判定，仅供参考。

## 5 校准条件

### 5.1 环境条件

5.1.1 温度：室温。

5.1.2 其他条件：毛细效应仪应置于稳固的水平基础上，校准环境应清洁，周围无腐蚀性介质，无影响使用的震源。

### 5.2 主要测量标准及其他设备（见表 1）

表 1 主要测量标准及其他设备

序号	标准器名称	测量范围、分度值或分辨力	不确定度或准确度等级或最大允许误差	数量
1	卡尺	测量范围：(0~300) mm， 分度值：0.02mm	$\pm 0.04$ mm	1
2	秒表	测量范围：0.1 s~1 h， 分度值：0.01s	$\pm 0.10$ s	1
3	电子天平	测量范围：(0.2~50) g， 分度值：10 mg	中准确度级	1

注：校准用标准器可选用本表所列，也可以选用测量范围覆盖被校准量的测量范围，其测量结果不确定度  $U(k=2)$  不大于校准量最大允许误差绝对值的  $1/3$  的标准器。

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 校准前准备

校准前须使用目测方法对毛细效应仪进行外观检查，有不符合下列要求的，修复后方予校准：

6.1.1 毛细效应仪垂直固定在横梁架上的长度标尺安装可靠、无松动现象；长度标尺无明显弯曲，测量范围不小于  $(-10 \sim 250)$  mm，最小分度值不大于 1 mm，线纹刻度应清晰，垂直到侧边，不应有目测可见的断线现象存在。

6.1.2 毛细效应仪水槽容器深度应不小于 50 mm，水槽应无渗漏现象。

6.1.3 毛细效应仪应在适当部位装有水准器，底部应带有调节水平的螺旋脚，调整螺旋脚的高低，使毛细效应仪处于水平状态。

6.1.4 毛细效应仪横梁架能沿垂直支架上下调整，定位装置可靠，操作轻便、灵活。旋转升降手柄，缓慢放下支架，使左中右三条标尺零位与液面处于同一水平线上，标尺零位相差不大于 1mm。

6.1.5 固定在横梁架上试样夹和张夹应耐腐蚀，且能夹紧试样，试样夹和张夹宽度均应不小于 30mm。

6.1.6 定时器计时工作正常，能任意设定 30 s、1 min、5 min、10 min、20 min 和 30 min；当横梁下降至最低点时，计时器同时工作，当时间达到设定值时，应有自动报警功能。

## 6.2 校准项目

毛细效应仪校准项目对应本规范计量特性条款和校准方法条款见表 2。

表 2 毛细效应仪校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	长度标尺示值误差	4.1	6.3.1
2	试验时间控制误差	4.2	6.3.2
3	张力夹质量	4.3	6.3.3
注：根据被校准毛细效应仪的功能和客户要求选择校准项目。			

## 6.3 校准方法

### 6.3.1 长度标尺示值误差

用 (0~300) mm 游标卡尺测量标尺常用点 (如 50mm、100mm、150mm) 刻度线与该标尺零线之间的距离。测量时，将长度标尺拆下，放置在一个平台上，用游标卡尺直接测量，每个校准点分别测量三次，计算该校准点测量结果的算术平均值，该校准点的示值与实测值的算术平均值之差即为各校准点长度标尺示值误差值。

$$\Delta L = L_0 - \overline{L_s} \quad (1)$$

式中：

$\Delta L$  ——长度标尺校准点的示值误差，单位：mm；



$L_0$ ——长度标尺在校准点上标称值，单位：mm；

$\overline{L_s}$ ——标准器在校准点测量结果的算术平均值，单位：mm。

### 6.3.2 试验时间控制误差

定时器设定定时时间为 30min，当将横梁下降至最低点，定时器开始计时，同时启动秒表；当定时器计时时间达到设定值时，毛细效应仪发出报警信号，同时按停秒表，记录秒表显示时间。分别重复测量二次，计算时间实测值的算术平均值。定时器时间设定值与时间实测值算术平均值之差，即为试验时间控制误差。如委托方需求，则还需对其余时间设定点进行校准。

$$\Delta t = t_0 - \overline{t_s} \quad (2)$$

式中：

$\Delta t$ ——试验时间控制误差，单位：s；

$t_0$ ——定时器设定定时时间，单位：s；

$\overline{t_s}$ ——秒表实测值算术平均值，单位：s。

### 6.3.3 张力夹质量

用电子天平直接称量每个张力夹的质量，重复测量两次，两次测量结果算术平均值为张力夹质量。

## 7 校准结果表达

### 7.1 校准记录

校准记录应详尽记录测量数据和计算结果。数据修约按 GB/T 8170 执行，末位数修约到被校毛细效应仪各参数最大允许误差绝对值的 1/10 位。推荐的校准记录格式见附录 A。

### 7.2 校准证书

经校准的毛细效应仪应出具校准证书，校准结果应在校准证书上反映。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071—2010 中 5.12 的要求，推荐的校准证书内页格式见附录 B。

### 7.3 不确定度

校准证书应给出各校准项目测量结果的扩展不确定度，评定示例见附录 C。

## 8 复校时间间隔

在定期进行期间核查的条件下，建议复校时间间隔一般不超过 1 年。

注：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

毛细效应测试仪校准原始记录参考格式

委托方：设备编号： 原始记录号：  
型号规格： 产品编号： 出厂日期： 发证编号：  
制造厂： 温度： ℃湿度： %RH  
校准日期： 年 月 日 校准地点：

校准依据:JJF（纺织）056—2023 毛细效应测试仪校准规范

使用主要计量标准器具

标准器名称	型号	编号	证书号	有效期	技术特征	状态

一、校准前准备：☐工作正常 ☐工作不正常，不正常情况：

二、计量特性校准：

序号	校准项目	技术要求	实测结果				<i>U</i>
1	长度标尺 A 示值误差 (mm)	±0.5 mm	测量范围： mm，最小分度值： mm				
				50	100	150	
			1				
			2				
			3				
			平均				
			误差				
2	长度标尺 B 示值误差 (mm)	±0.5 mm	测量范围： mm，最小分度值： mm				
				50	100	150	
			1				
			2				
			3				
			平均				
			误差				

校准原始记录表(续)

序号	校准项目	技术要求	实测结果				U
3	长度标尺C示值误差 (mm)	±0.5 mm	测量范围:                      mm, 最小分度值:                      mm				
				50	100	150	
			1				
			2				
			3				
			平均				
			误差				
4	试验时间控制误差 (s)	时间设定: min ±5 s	1	2	平均	误差	
5	张力夹质量(g)	(3±0.5) g		1	2	平均值	
			1				
			2				
			3				
			4				
			5				
			6				
备注							

校准单位

校准员

审核员

附录 B

毛细效应测试仪校准证书（内页）参考格式

校 准 结 果

证书编号：XXXXXXX      原始记录编号：XXXXXXX      第×页，共×页

校准项目	技术要求	校准结果	测量结果 扩展不确定度 $U(k=2)$
长度标尺 A 示值误差	$\pm 0.5\text{ mm}$	测量范围：mm； 最小分度值：mm； 50mm 示值误差：mm； 100mm 示值误差：mm； 150mm 示值误差：mm。	
长度标尺 B 示值误差	$\pm 0.5\text{ mm}$	测量范围：mm； 最小分度值：mm； 50mm 示值误差：mm； 100mm 示值误差：mm； 150mm 示值误差：mm。	
长度标尺 C 示值误差	$\pm 0.5\text{ mm}$	测量范围：mm； 最小分度值：mm； 50mm 示值误差：mm； 100mm 示值误差：mm； 150mm 示值误差：mm。	
试验时间控制误差	$30\text{ min}\pm 5\text{ s}$		
张力夹质量	$(3\pm 0.5)\text{ g}$	张力夹 1： 张力夹 2： 张力夹 3： 张力夹 4： 张力夹 5： 张力夹 6：	

以下空白

## 附录 C

## 毛细效应测试仪校准不确定度评定 (示例)

## C.1 长度标尺示值误差校准不确定度的评定

## C.1.1 概述

用测量范围 (0~300) mm, 分度值 0.02mm, 最大允许示值误差  $\pm 0.04$ mm 游标卡尺校准长度标尺测量范围 (0~250) mm, 分度值 1 mm, 最大允许示值误差  $\pm 0.5$ mm 的长度标尺示值误差。校准的实验操作: 将长度标尺拆下, 放置在一个平台上, 用游标卡尺直接测量 100 mm 刻度线与该标尺零线之间的距离, 重复测量三次, 计算三次测量结果的算术平均值, 该校准点的示值与该校准点测量结果的算术平均值之差为该校准点长度标尺示值误差值。

## C.1.2 测量模型

$$\Delta L = L_0 - \overline{L}_s \quad (\text{C.1.1})$$

式中:

$\Delta L$  —— 长度标尺校准点 100 mm 的示值误差, 单位: mm;

$L_0$  —— 长度标尺在校准点上标称值, 单位: mm,  $L=100$  mm;

$\overline{L}_s$  —— 标准器在校准点 100 mm 测量结果的算术平均值, 单位: mm。

由于游标卡尺与长度标尺彼此独立, 互不相关, 因此, 长度标尺示值误差测量结果标准不确定度  $u_c(\Delta L)$  可由式 (C.1.2) 计算:

$$u_c^2(\Delta L) = c^2(\overline{L}_s) u^2(\overline{L}_s) \quad (\text{C.1.2})$$

灵敏系数:  $c(\overline{L}_s) = -1$

则:  $u_c^2(\Delta L) = u^2(\overline{L}_s)$  (C.1.3)

C.1.3 输入量  $\overline{L}_s$  的标准不确定度来源分析和评定

输入量  $\overline{L}_s$  的标准不确定度  $u(\overline{L}_s)$  来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项  $u_1(\overline{L}_s)$ 、游标卡尺示值误差引起的标准不确定度分项  $u_2(\overline{L}_s)$  和游标卡尺分度

值引起的标准不确定度  $u_3(\overline{L}_s)$ 。

#### C.1.3.1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(\overline{L}_s)$ 的评定

可采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度, 采用 A 类方法进行评定。

在重复性条件下用游标卡尺直接测量校准点与该标尺零线之间的距离, 连续 10 次测量, 得到一测量列 (单位: mm): 100.04、100.12、100.08、100.20、100.16、100.10、100.04、100.10、100.02、100.14。

$$\text{平均值} \quad \overline{L}_s = \frac{\sum_{i=1}^{10} L_{si}}{10} = 100.100 \text{ mm} \quad (\text{C. 1. 4})$$

$$\text{标准差} \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (L_{si} - \overline{L}_s)^2}{10-1}} = 0.057 \text{ mm} \quad (\text{C. 1. 5})$$

实际测量情况: 该校准点的实测值在重复性条件下连续测量 3 次 ( $m=3$ ), 以 3 次测量算术平均值为测量结果, 则可得到:

长度标尺 100mm 处校准点测量重复性引起的标准不确定度:

$$u_1(\overline{L}_s) = \frac{S_p}{\sqrt{m}} = \frac{0.057}{\sqrt{3}} = 0.033 \text{ mm} \quad (\text{C. 1. 6})$$

#### C.1.3.2 游标卡尺示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(\overline{L}_s)$ 的评定

游标卡尺示值误差引起的标准不确定度可根据检定证书或校准证书给出的该游标卡尺的最大允许误差来评定, 属均匀分布, 可采用 B 类方法评定。

游标卡尺最大允许误差为  $\pm 0.04 \text{ mm}$ , 即  $a = 0.04 \text{ mm}$ , 通常认为在区间内服从均匀分布, 即包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 则游标卡尺示值误差引起的标准不确定度  $u_2(\overline{L}_s)$ :

$$u_2(\overline{L}_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.04}{\sqrt{3}} = 0.023 \text{ mm} \quad (\text{C. 1. 7})$$

#### C.1.3.3 游标卡尺分度值引起的标准不确定度 $u_3(\overline{L}_s)$ 的评定

游标卡尺分度值为  $0.02 \text{ mm}$ , 其量化误差以等概率分布在半宽为  $a = 0.01 \text{ mm}$  的区间内, 属均匀分布, 即包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 故游标卡尺分度值引入的标准不确定度为:

$$u_3(\bar{L}_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ mm} \quad (\text{C. 1. 8})$$

因  $u_3(\bar{L}_s) = 0.006 \text{ mm} < u_1(\bar{L}_s) = 0.033 \text{ mm}$ ，重复性引入的标准不确定度分量  $u_1(\bar{L}_s)$  已包含分度值的影响，不再考虑游标卡尺分度值的影响。

#### C. 1. 3. 4 输入量 $\bar{L}_s$ 合成标准不确定度 $u(\bar{L}_s)$ 计算

由于游标卡尺与毛细效应仪彼此独立，互不相关，标准不确定度  $u_1(\bar{L}_s)$ 、 $u_2(\bar{L}_s)$  和  $u_3(\bar{L}_s)$  也相互独立，则输入量  $\bar{L}_s$  合成标准不确定度  $u(\bar{L}_s)$ ：

$$u(\bar{L}_s) = \sqrt{u_1^2(\bar{L}_s) + u_2^2(\bar{L}_s)} = \sqrt{0.033^2 + 0.023^2} = 0.040 \text{ mm} \quad (\text{C. 1. 9})$$

#### C. 1. 4 标准不确定度分量汇总

各分量的标准不确定度汇总如表 C. 1. 1 所示。

表 C. 1. 1 标准不确定度分量汇总一览表

序号	不确定度来源	符号	类别	分布	灵敏系数	标准不确定度(mm)	备注
1	测量重复性	$u_1(\bar{L})$	A	正态	-1	0.033	
2	游标卡尺示值误差	$u_2(\bar{L})$	B	均匀	-1	0.023	
3	游标卡尺分辨力	$u_3(\bar{L})$	B	均匀	-1	0.006	不考虑

#### C. 1. 5 合成标准不确定度计算

由公式 (C. 1. 3) 长度标尺 100mm 处校准点示值误差测量结果的标准不确定度  $u_c(\Delta L)$ ：

$$u_c(\Delta L) = u(\bar{L}_s) = 0.040 \text{ mm} \quad (\text{C. 1. 10})$$

#### C. 1. 6 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k = 2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\Delta L) = 2 \times 0.040 = 0.080 \text{ mm} \quad (\text{C. 1. 11})$$

#### C. 1. 7 测量结果不确定度的报告与表示



毛细效应仪长度标尺 100mm 处校准点示值误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U_{100mm} = 0.08\text{mm } k = 2。$$

## C.2 试验时间控制误差校准不确定度的评定

### C.2.1 概述

采用比较法，用测量范围为 0~1h，分辨力 0.01s，最大允许误差为  $\pm 0.10\text{ s}$  的电子秒表校准毛细效应仪定时器时间控制误差。校准的实验操作：定时器设定定时时间为 1800.0 s，当将横梁下降至最低点，定时器开始计时，同时启动秒表。当定时器计时时间达到设定值时，毛细效应仪发出报警信号，同时按停秒表，记录秒表显示时间。分别重复测量二次，计算时间实测值的算术平均值。定时器时间设定值与时间实测值算术平均值之差为试验时间控制误差。

### C.2.2 测量模型

$$\Delta t = t_0 - \bar{t}_s \quad (\text{C.2.1})$$

式中：

$\Delta t$  ——试验时间控制误差，单位：s；

$t_0$  ——定时器设定定时时间，单位：s；

$\bar{t}_s$  ——秒表实测值算术平均值，单位：s。

由于电子秒表与毛细效应仪彼此独立，互不相关，因此，试验时间控制误差标准不确定度  $u_c(\Delta t)$  可由式 (C.2.2) 计算：

$$u_c^2(\Delta t) = c^2(t_0)u^2(t_0) + c^2(t_s)u^2(t_s) \quad (\text{C.2.2})$$

灵敏系数：  $c(t_0) = 1$ ，  $c(t_s) = -1$

$$\text{则： } u_c^2(\Delta t) = u^2(t_0) + u^2(\bar{t}_s) \quad (\text{C.2.3})$$

### C.2.3 输入量 $t_0$ 的标准不确定度来源分析和评定

输入量  $t_0$  的标准不确定度  $u(t_0)$  来源主要是定时器设定时间分辨力引起的标

准不确定度  $u_1(t_0)$ 。

定时器设定时间分辨力引起的标准不确定度  $u_1(t_0)$  的评定

定时器设定时间分辨力为  $\delta_t = 0.1$  s, 则定时器设定时间分辨力引起的标准不确定度  $u_1(t_0)$ :

$$u_1(t_0) = 0.29\delta_t = 0.029 \text{ s} \quad (\text{C. 2. 4})$$

输入量  $t_0$  的标准不确定度

$$u(t_0) = u_1(t_0) = 0.029 \text{ s} \quad (\text{C. 2. 5})$$

#### C. 2. 4 输入量 $\bar{t}_s$ 的标准不确定度来源分析和评定

输入量  $\bar{t}_s$  的标准不确定度  $u(\bar{t}_s)$  来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项  $u_1(\bar{t}_s)$ 、电子秒表示值误差引起的标准不确定度分项  $u_2(\bar{t}_s)$  和电子秒表分辨力误差引起的标准不确定度  $u_3(\bar{t}_s)$ 。

##### C. 2. 4. 1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(\bar{t}_s)$ 的评定

可采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度, 采用 A 类方法进行评定。

毛细效应仪定时器设定 1800. 0s, 在重复性条件下用电子秒表直接测量定时器定时时间, 连续 10 次测量, 得到一测量列: 29min59. 82 s、29min59. 62 s、29min59. 12 s、29min59. 78 s、29min59. 64 s、29min59. 36 s、29min59. 53 s、29min59. 42 s、29min59. 87s、29min59. 75 s。

则测量结果的实验标准偏差  $s_t$  为:

$$\text{平均值} \quad \bar{t}_s = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_{si}}{10} = 29 \text{ min } 59.59 \text{ s} \quad (\text{C. 2. 6})$$

$$\text{标准差} \quad s_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_{si} - \bar{t}_s)^2}{10-1}} = 0.236 \text{ s} \quad (\text{C. 2. 7})$$

实际测量情况: 试验时间控制误差在重复性条件下连续测量 2 次 ( $m=2$ ), 以 2 次测量算术平均值为测量结果, 则可得到:

试验时间控制误差测量重复性引起的标准不确定度:

$$u_1(t_s) = \frac{S_t}{\sqrt{m}} = \frac{0.236}{\sqrt{2}} = 0.167 \text{ s} \quad (\text{C. 2. 8})$$

#### C. 2. 4. 2 电子秒表示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(\bar{t}_s)$ 的评定

电子秒表示值误差引起的标准不确定度可根据检定证书或校准证书给出的该电子秒表的最大允许误差来评定, 属均匀分布, 可采用 B 类方法评定。

电子秒表在 30min 测量间隔的最大允许误差为 $\pm 0.10 \text{ s}$ , 即 $a = 0.10 \text{ s}$ , 通常认为在区间内服从均匀分布, 即包含因子 $k = \sqrt{3}$ , 则电子秒表在 30min 测量间隔内示值误差引起的标准不确定度 $u_2(\bar{t}_s)$ :

$$u_2(\bar{t}_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ s} \quad (\text{C. 2. 9})$$

#### C. 2. 4. 3 电子秒表分辨力误差引起的标准不确定度 $u_3(\bar{t}_s)$ 的评定

电子秒表分辨力为 $0.01 \text{ s}$ , 其量化误差以等概率分布在半宽为 $a = 0.005 \text{ s}$ 的区间内, 属均匀分布, 即包含因子 $k = \sqrt{3}$ , 故引入的不确定度 $u_3(\bar{t}_s)$ 为:

$$u_3(\bar{t}_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ s} \quad (\text{C. 2. 10})$$

因 $u_3(\bar{t}_s) = 0.003 \text{ s} < u_1(\bar{t}_s) = 0.167 \text{ s}$ , 重复性引入的不确定度分量 $u_1(\bar{t}_s)$ 已包含分辨力的影响, 不再考虑电子秒表分辨力引起的标准不确定度 $u_3(\bar{t}_s)$ 。

#### C. 2. 4. 4 输入量 $\bar{t}_s$ 合成标准不确定度 $u(\bar{t}_s)$ 计算

由于电子秒表与毛细效应仪定时器彼此独立, 互不相关, 标准不确定度 $u_1(\bar{t}_s)$ 、 $u_2(\bar{t}_s)$ 和 $u_3(\bar{t}_s)$ 也相互独立, 则输入量 $\bar{t}_s$ 合成标准不确定度 $u(\bar{t}_s)$ :

$$u(\bar{t}_s) = \sqrt{u_1^2(\bar{t}_s) + u_2^2(\bar{t}_s)} = \sqrt{0.167^2 + 0.058^2} = 0.177 \text{ s} \quad (\text{C. 2. 11})$$

### C. 2. 5 标准不确定度分量汇总

各分量的标准不确定度汇总如表 C. 2. 1 所示。

表 C. 2. 1 标准不确定度分量汇总一览表

序号	不确定度来源	符号	类别	分布	灵敏系数	标准不确定度(s)	备注
----	--------	----	----	----	------	-----------	----

1	定时器设定时间分辨力	$u_1(t_0)$	B	均匀	1	0.029	
2	测量重复性	$u_1(\bar{t}_s)$	A	正态	-1	0.167	
3	秒表示值误差	$u_2(\bar{t}_s)$	B	均匀	-1	0.058	
4	秒表分辨力	$u_3(\bar{t}_s)$	B	均匀	-1	0.003	不考虑

### C.2.6 合成标准不确定度计算

由式 (C.2.3) 得试验时间误差标准不确定度:

$$u_c(\Delta t) = \sqrt{u^2(t_0) + u^2(\bar{t}_s)} = \sqrt{0.029^2 + 0.177^2} = 0.179 \text{ s} \quad (\text{C.2.12})$$

### C.2.7 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c(\Delta t) = 2 \times 0.179 = 0.358 \approx 0.4 \text{ s} \quad (\text{C.2.13})$$

### C.2.8 测量结果不确定度的报告与表示

试验时间 (1800.0 s) 控制误差校准的扩展不确定度为:

$$U_{30\min} = 0.4 \text{ s } k=2。$$

## C.3 张力夹质量校准不确定度的评定

### C.3.1 概述

用测量范围为 (0.2~810) g, 最小读数  $d=10\text{mg}$  电子天平直接称量  $(3 \pm 0.5)$  g 张力夹质量。校准的实验操作: 将张力夹放到电子天平称盘上直接称重, 待电子天平示值稳定后, 记录电子天平读数, 重复测量两次, 两次测量结果的算术平均值为张力夹质量。

### C.3.2 测量模型

$$M = \bar{M} \quad (\text{C.3.1})$$

式中:

$M$  ——张力夹质量, 单位: g;

$\overline{M}$  ——张力夹质量 2 次测量结果的算术平均值, 单位: g。

由于电子天平与毛细效应仪彼此独立, 互不相关, 因此, 张力夹质量的标准不确定度可由式 (C. 3. 2) 计算:

$$u_c^2(M) = c^2(\overline{M})u^2(\overline{M}) \quad (\text{C. 3. 2})$$

灵敏系数:  $c(\overline{M}) = 1$

$$\text{则 } u_c(M) = u(\overline{M}) \quad (\text{C. 3. 3})$$

### C. 3. 3 输入量 $\overline{M}$ 标准不确定度来源分析和评定

输入量  $\overline{M}$  的标准不确定度  $u(\overline{M})$  来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项  $u_1(\overline{M})$ 、电子天平最大允许误差引起的标准不确定度分项  $u_2(\overline{M})$  和电子天平分辨力引起的标准不确定度  $u_3(\overline{M})$ 。

#### C. 3. 3. 1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(\overline{M})$ 的评定

可采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度, 采用 A 类方法进行评定。

在重复性条件下用电子天平直接称量张力夹质量, 连续 10 次测量, 得到一测量列 (单位: g): 3. 26、3. 25、3. 25、3. 25、3. 26、3. 25、3. 25、3. 25、3. 26、3. 25。

则测量结果的实验标准偏差  $s_p$  为:

$$\text{平均值} \quad \overline{M} = \frac{\sum_{i=1}^{10} M_i}{10} = 3.253\text{g} \quad (\text{C. 3. 4})$$

$$\text{标准差} \quad s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (M_i - \overline{M})^2}{10-1}} = 0.0048\text{g} \quad (\text{C. 3. 5})$$

实际测量情况: 该张力夹质量在重复性条件下连续测量 2 次 ( $m=2$ ), 以 2 次测量结果算术平均值为测量结果, 则可得到:

张力夹质量测量重复性引起的标准不确定度:

$$u_1(\overline{M}) = \frac{s_p}{\sqrt{m}} = \frac{0.005}{\sqrt{2}} = 0.004\text{g} \quad (\text{C. 3. 6})$$

C.3.3.2 电子天平最大允许误差引起的标准不确定度分项  $u_2(\bar{M})$  的评定

电子天平最大允许误差引起的标准不确定度可根据检定规程或校准证书给出的该电子天平的最大允许误差来评定, 属均匀分布, 可采用 B 类方法评定。

依据 JJG 1036—2008《电子天平》检定规程, 最大称量  $Max=810g$ ,  $d=0.01g$ ,  $e=0.1g$ , 检定分度数  $n = \frac{Max}{e} = \frac{810g}{0.1g} = 8.1 \times 10^3$ , 该电子天平对应准确度等级为中准确度级, 最小称量  $20e = 20d = 0.2g$ 。在  $3g$  范围内中准确度级电子天平最大允许误差  $MPE = \pm 0.5e = \pm 0.05g$ , 即  $a = 0.05g$ , 通常认为在区间内服从均匀分布, 即包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 则电子天平在  $3g$  校准点最大允许误差引起的标准不确定度  $u_2(\bar{M})$ :

$$u_2(\bar{M}) = \frac{a}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029g \quad (C.3.7)$$

C.3.3.3 电子天平分辨力引起的标准不确定度  $u_3(\bar{M})$  的评定

电子天平最小读数  $d=0.01g$ , 以等概率分布在半宽为  $a = \frac{d}{2} = \frac{0.01}{2} = 0.005g$  的区间内, 服从均匀分布, 包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 则由电子天平分辨力引入的不确定度为:

$$u_3(\bar{M}) = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003g \quad (C.3.8)$$

因  $u_3(\bar{M})=0.003g < u_1(\bar{M})=0.004g$ , 重复性引入的不确定度分量已包含分辨力的影响, 不再考虑电子天平分辨力引起的标准不确定度  $u_3(\bar{M})$ 。

C.3.3.4 输入量  $\bar{M}$  合成标准不确定度  $u(\bar{M})$  计算

由于电子天平与毛细效应仪彼此独立, 互不相关, 标准不确定度  $u_1(\bar{M})$ 、 $u_2(\bar{M})$  和  $u_3(\bar{M})$  也相互独立, 则输入量  $\bar{M}$  合成标准不确定度  $u(\bar{M})$ :

$$u(\bar{M}) = \sqrt{u_1^2(\bar{M}) + u_2^2(\bar{M})} = \sqrt{0.004^2 + 0.029^2} = 0.029g \quad (C.3.9)$$

## C.3.4 标准不确定度分量汇总

各标准不确定度分量汇总如表 C. 3. 1 所示。

表 C. 3. 1 标准不确定度分量汇总一览表

序号	不确定度来源	符号	类别	分布	灵敏系数	标准不确定度 (g)	备注
1	测量重复性	$u_1(\overline{M})$	A	正态	1	0.004	
2	电子天平最大 允许误差	$u_2(\overline{M})$	B	均匀	1	0.029	
3	电子天平分辨 力	$u_3(\overline{M})$	B	均匀	1	0.003	不考虑

### C. 3. 5 合成标准不确定度来源计算

由式 (C. 3. 1. 3) 得张力夹质量的标准不确定度:

$$u_c(M) = u(\overline{M}) = 0.029 \text{ g}$$

### C. 3. 6 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k = 2$ ，扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c(M) = 2 \times 0.029 = 0.058 \approx 0.06 \text{ g} \quad (\text{C. 3. 10})$$

### C. 3. 7 测量结果不确定度的报告与表示

毛细效应仪张力夹质量测量扩展不确定度为:

$$U = 0.06 \text{ g } k = 2。$$