



中华人民共和国纺织行业计量技术规范

JJF(纺织)026—2023

耐洗色牢度试验机校准规范

Calibration Specification for Colour Fastness to Washing 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

耐洗色牢度试验机校准规范

Calibration Specification for
Colour Fastness Washing Testers

JJF（纺织）026—2023
代替 JJF（纺织）026—2010

归口单位：中国纺织工业联合会

起草单位：河北省纤维质量监测中心

广州检验检测认证集团有限公司

国家纺织计量站

济宁市质量计量检验检测研究院

喀什地区纤维检验所

温州方圆仪器有限公司

温州市大荣纺织仪器有限公司

泉州市美邦仪器有限公司

莱州元茂仪器有限公司

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：

王振国（河北省纤维质量监测中心）

黎智曦（广州检验检测认证集团有限公司）

刘 坤（济宁市质量计量检验检测研究院）

张玉冰（河北省纤维质量监测中心）

周炳顺（河北省纤维质量监测中心）

田勇亮（喀什地区纤维检验所）

王金平（国家纺织计量站）

徐华东（温州方圆仪器有限公司）

陈绍达（温州市大荣纺织仪器有限公司）

代志富（泉州市美邦仪器有限公司）

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	(1)
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	(2)
6.3 校准方法	(3)
7 校准结果表达	(6)
8 复校时间间隔	(6)
附录 A 耐洗色牢度试验机校准原始记录参考格式	(7)
附录 B 耐洗色牢度试验机校准证书（内页）参考格式	(9)
附录 C 耐洗色牢度试验机校准不确定度评定（示例）	(10)

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。

本规范是对 JJF (纺织) 026—2010《耐洗色牢度试验机校准规范》的修订。本规范的计量特性主要参考 GB/T 3921—2008《纺织品 色牢度试验 耐皂洗色牢度》相关技术内容,除结构调整和编辑性改动外,主要技术变化如下:

1. 范围:删除 2010 年版“新制造、首次使用、使用中和修理后”;
2. 引用文件:删除“JJF 1001—1998 通用计量术语及定义”、“JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示”、“GB/T 27025—2008 检测和校准实验室能力的通用要求”和 GB/T 3921—2008《纺织品 色牢度试验 耐皂洗色牢度》”,补充“JJF 1071—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》”;
3. 删除 2010 年版“4.1 温度显示值”、“4.2 温度设定值”、“4.3 温度实测值”、“4.4 温度示值误差”、“4.5 温度示值偏差”和“4.6 温度波动度”术语。
4. 将 2010 年版计量特性 5.1 外观及基本状态中 5.1.1 和 5.1.3 要求以及 5.2.8 试验杯密封性等属于外观检查项目调整为校准前检查项目;
5. 删除 2010 版本 5.1.2 铭牌、5.1.4 电器安全、5.2.1 试验杯口内径、1200ml 试验杯尺寸和 5.2.4 耐洗机工作室升温时间等要求;
6. 更改校准项目校准方法;
7. 更改附录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:

JJG (纺织) 035—1990;

JJF (纺织) 026—2006;

JJF (纺织) 026—2010。

耐洗色牢度试验机校准规范

1 范围

本规范适用于耐洗色牢度试验机（以下简称“耐洗机”）的校准，其他工作原理相同、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/T 8170 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

耐洗机用于评价纺织材料和纺织品的色牢度洗涤效果及检测染料的耐洗色牢度。耐洗机由试验杯、旋转轴杆支架、旋转轴杆支架驱动装置、加热与温度控制装置和定时器组成。其工作原理：装有试样、标准贴衬织物和试液的规定尺寸试验杯在规定温度条件下，通过旋转轴杆支架以一定转速进行机械搅动一定时间后，按要求对试样进行耐洗色牢度评级。

4 计量特性

4.1 试验杯容量： (550 ± 50) ml；

4.2 试验杯杯体深度： (125 ± 10) mm；

4.3 旋转轴杆轴心到试验杯底部距离： (45 ± 10) mm；

4.4 试验架和试验杯联合装置转速： (40 ± 2) r/min；

4.5 试验时间控制误差： ± 60.0 s（设定 30 min、45 min 时）；

4.6 水浴温度偏差： ± 2.0 °C；

4.7 水浴温度示值误差： ± 2.0 °C；

4.8 水浴温度波动度： ≤ 2.0 °C。

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：耐洗机应放置平稳，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	温度计	测量范围：(0~150)℃， 分度值：0.1℃	MPE ±0.5℃	1
2	秒表	测量范围：0.1s~1h， 分度值：0.1s	±0.10s	1
3	钢直尺	测量范围：(0~150)mm， 分度值：1mm	±0.10mm	1
4	天平	测量范围：(10~1000)g， 分度值：1g	普通准确度级	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耐洗机进行外观检查，有不符合下列要求的，修复后方可予校准：

6.1.1 耐洗机电源部分应安全可靠，应有可靠的接地端子，接地可靠。

6.1.2 耐洗机外壳整齐，水道无漏水等现象，机械部件动作灵活；控制面板各功能控制键工作正常，各显示工作正常、清晰。

6.1.3 每个试验杯表面光洁，杯口平齐完好，杯盖紧固有效密封，试验杯在旋转支架装卸灵活。空杯在室温条件下盖密后，置入95℃以上热水中1min内不应有气泡溢出。

6.2 校准项目

耐洗机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 耐洗机校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	试验杯容量	4.1	6.3.1
2	试验杯杯体深度	4.2	6.3.2
3	旋转轴杆轴心到试验杯底部距离	4.3	6.3.3
4	试验架和试验杯联合装置转速	4.4	6.3.4
5	试验时间控制误差	4.5	6.3.5
6	水浴温度偏差	4.6	6.3.6
7	水浴温度示值误差	4.7	6.3.7
8	水浴温度波动度	4.8	6.3.8
注：根据被校准耐洗机的功能和客户要求选择校准项目。			

6.3 校准方法

6.3.1 试验杯容量

任意抽取三个试验杯，分别用电子天平称量试验杯空杯质量，将试验杯装满水，再用电子天平称量装满水试验杯质量，重复测量两次，按公式（1）计算试验杯容量。

$$V = \frac{(m_s - m_0)}{\rho_{\text{水}}} = m_s - m_0 \quad (1)$$

式中：

V —— 试验杯容量，单位：ml；

m_s —— 两次称量试验杯装满水质量算术平均值，单位：g；

m_0 —— 两次称量试验杯空杯质量算术平均值，单位：g；

$\rho_{\text{水}}$ —— 水密度，单位：g/cm³（ $\rho_{\text{水}}=1\text{g}/\text{cm}^3=1\text{g}/\text{ml}$ ）。

6.3.2 试验杯杯体深度

任意抽取三个试验杯，分别用钢直尺测量试验杯体深度，重复测量两次，其两次测量结果的算术平均值为试验杯杯体深度。

6.3.3 旋转轴杆轴心到试验杯底部距离

用钢直尺测量旋转轴杆直径 D ；将试验杯置于旋转支架上，并固定锁好，用钢直尺

测量试验杯底部至旋转轴杆的距离 L_0 ；重复测量两次，按公式 (2) 计算旋转轴杆轴心到容器底部距离。

$$L = \frac{D}{2} + L_0 \quad (2)$$

式中：

L —— 旋转轴杆轴心到容器底部距离，单位：mm；

D —— 两次测量旋转轴杆直径算术平均值，单位：mm；

L_0 —— 两次测量试验杯底部至旋转轴杆距离算术平均值，单位：mm。

6.3.4 试验架和试验杯联合装置转速

在工作室注水至水位线，将两个试样杯对称安装到旋转支架上，启动旋转支架运行，选定其中一个试验杯接触水面时，启动秒表开始计时，当试验杯旋转 n 圈后，并接触水面时，按停秒表，秒表读数为试验杯旋转 n 圈所需时间 t ，按公式 (3) 计算试验杯旋转速度 v ，重复测量两次，两次测量结果的算术平均值为试验架和试验杯联合装置转速。

$$v = \frac{60 \times n}{t} \quad (3)$$

式中：

v —— 试验杯旋转速度，单位：r/min；

t —— 试验杯旋转 n 圈所需时间 t ，单位：s；

n —— 试验杯旋转 n 圈数，单位：r。

6.3.5 试验时间控制误差

耐洗机定时器设定试验时间 30min 或 45min，启动旋转支架运行，试验时间开始计时，同时启动秒表开始计时；当耐洗机定时器计时时间达到设定值时，耐洗机发出报警信号，同时按停秒表，记录秒表显示时间为时间实测值。分别重复测量两次，按公式 (4) 计算试验时间控制误差。

$$\Delta t = t_s - \bar{t}_0 \quad (4)$$

式中：

Δt —— 试验时间控制误差，单位：s；

t_s —— 定时器设定定时时间，单位：s；

\bar{t}_0 —— 秒表实测值算术平均值，单位：s。

6.3.6 水浴温度偏差

温度控制器设定试验温度（如 40℃、50℃、60℃、95℃时），关闭耐洗机工作室上盖，启动耐洗机加热装置和试验杯旋转支架；待水浴温度控制器使工作室的浴水温度达到温度控制器设定值并恒温稳定后，关停试验杯旋转支架，用温度计直接测量工作室前后对角两个测量点水温，待温度计示值稳定后，记录温度计读数；重新启动试验杯旋转支架，每间隔 2min 重复测量 1 次，共测量 3 次，按公式（5）计算水浴温度偏差。

$$\Delta T = \overline{T_0} - T_s \quad (5)$$

式中：

ΔT —— 水浴温度偏差，单位为℃；

$\overline{T_0}$ —— 温度计 3 次测量结果算术平均值，单位为℃；

T_s —— 耐洗机温控器温度设定值，单位为℃。

6.3.7 水浴温度示值误差

采用 6.3.6 校准方法，在记录温度计读数时，同时记录耐洗机温控器温度示值。按公式（6）计算水浴温度示值误差。

$$\Delta T_D = \overline{T_D} - \overline{T_0} \quad (6)$$

式中：

ΔT_D —— 水浴温度示值误差，单位为℃；

$\overline{T_D}$ —— 耐洗机温度示值 3 次测量结果算术平均值，单位为℃；

$\overline{T_0}$ —— 温度计 3 次测量结果算术平均值，单位为℃。

6.3.8 水浴温度波动度

采用 6.3.6 校准方法，记录温度计在两个测量点 3 次测量结果，按公式（7）计算每个测量点水浴温度波动度，取测量点温度波动度最大值为水浴温度波动度。

$$\Delta T_b = \max \{ T_{0i\max} - T_{0i\min} \} \quad (7)$$

式中：

ΔT_b —— 水浴温度波动度，单位：℃；

$T_{0i\max}$ —— 第 i 测量点温度计 3 次测量结果最大值，单位为℃；

$T_{0i\min}$ —— 第 i 测量点温度计 3 次测量结果最小值，单位为℃。

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，末位数修约到被校耐洗机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

经校准的耐洗机应出具校准证书，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

耐洗色牢度试验机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) 026—2023 耐洗色牢度试验机校准规范

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				U
1	试验杯容量	(550 ± 50) ml		1	2	平均值	
			1				
			2				
			3				
2	试验杯杯体深度	(125 ± 10) mm		1	2	平均值	
			1				
			2				
			3				
3	旋转轴杆轴心到试验杯底部距离	(45 ± 10) mm		旋转轴杆直径 D	试验杯底部至旋转轴杆的距离 L_0	$L = \frac{D}{2} + L_0$	
			1				
			2				
4	试验架和试验杯联合装置转速	(40 ± 2) r/min		1	2		
			旋转圈数 $n(r)$				
			时间 $t(s)$				
			转速 $v(r/min)$				

			平均值				
5	试验时间控制误差 (s)	± 60.0 s	设定	1	2	平均值	误差
			30min				
			45min				
水浴温度实测值 (°C)							
温度设定值	1		2		3		平均值
	1	2	1	2	1	2	
40							
50							
60							
95							
水浴温度校准计算 (°C)							
序号	校准项目	技术要求	实测结果			U	
6	水浴温度偏差 $\Delta T = \overline{T_0} - T_s$	± 2 °C	40				
			50				
			60				
			95				
7	水浴温度示值误差 $\Delta T_D = \overline{T_D} - \overline{T_0}$	± 2 °C	40				
			50				
			60				
			95				
8	水浴温度波动度 $\Delta T_b = \max \{T_{0i\max} - T_{0i\min}\}$	≤ 2 °C	40				
			50				
			60				
			95				
备注							

校准单位

校准员

审核员

附录 B

耐洗色牢度试验机校准证书（内页）参考格式

校 准 结 果

证书编号: XXXXXXXX

原始记录编号: XXXXXXXX

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 $U(k=2)$
试验杯容量	(550 ± 50) ml			
试验杯杯体深度	(125 ± 10) mm			
旋转轴杆轴心到试验杯底部距离	(45 ± 10) mm			
试验架和试验杯联合装置转速	(40 ± 2) r/min			
试验时间控制误差	± 60 s	30 min		
		45 min		
水浴温度偏差	± 2.0 °C	40 °C		
		50 °C		
		60 °C		
		95 °C		
水浴温度示值误差	± 2.0 °C	40 °C		
		50 °C		
		60 °C		
		95 °C		
水浴温度波动度	≤ 2.0 °C	40 °C		
		50 °C		
		60 °C		
		95 °C		

以下空白

附录 C

耐洗色牢度试验机校准不确定度评定 (示例)

C.1 试验杯容量校准不确定度评定

C.1.1 概述

用测量范围 (0~3200) g, 最小读数 1 g 电子天平测量试验杯容量 (550±50) ml。校准的实验操作: 用电子天平分别称量试验杯空杯时和装满水时的质量, 重复测量两次, 装满水试验杯两次称量结果平均值与试验杯两次称量结果平均值之差除以水的密度为试验杯容量。

C.1.2 测量模型

$$V = \frac{m_s - m_0}{\rho_{\text{水}}} \quad (\text{C. 1. 1})$$

式中:

V —— 试验杯容量, 单位: ml;

m_s —— 两次称量试验杯装满水质量算术平均值, 单位: g;

m_0 —— 两次称量试验杯空杯质量算术平均值, 单位: g;

$\rho_{\text{水}}$ —— 水密度, 单位: g/cm³ ($\rho_{\text{水}}=1\text{g}/\text{cm}^3=1\text{g}/\text{ml}$)。

由于电子天平与试验杯和水彼此独立, 互不相关, 且 $\rho_{\text{水}}=1.0\text{g}/\text{ml}$, 因此, 试验杯容量标准不确定度 $u_c(V)$ 可由式 (C. 1. 2) 计算:

$$u_c^2(V) = c^2(m_s)u^2(m_s) + c^2(m_0)u^2(m_0) \quad (\text{C. 1. 2})$$

灵敏系数: $c(m_s)=1$, $c(m_0)=-1$

则:

$$u_c^2(V) = u^2(m_s) + u^2(m_0) \quad (\text{C. 1. 3})$$

C.1.3 输入量 m_s 和 m_0 的标准不确定度来源分析和评定

输入量 m_s 和 m_0 的标准不确定度 $u(m_s)$ 和 $u(m_0)$ 来源主要是测量重复性引起

的标准不确定度分项 $u_1(m_s)$ 和 $u_1(m_0)$ 、电子天平示值最大允许误差引起的标准不确定度分项 $u_2(m_s)$ 和 $u_2(m_0)$ ，以及电子天平分辨力引起的标准不确定度 $u_3(m_s)$ 和 $u_3(m_0)$ 。

C.1.3.1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(m_s)$ 和 $u_1(m_0)$ 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测量试验杯装满水时的质量，连续 10 次测量，得到一测量列（单位：g）：847、841、846、849、848、842、844、846、847、845。

在重复性条件下用电子天平测量试验杯空杯时的质量，连续 10 次测量，得到一测量列（单位：g）：297、297、296、297、297、297、297、296、297、297。

$$\text{平均值} \quad m_s = \frac{\sum_{i=1}^{10} m_{si}}{10} = 845.5g \quad (\text{C.1.4})$$

$$m_0 = \frac{\sum_{i=1}^{10} m_{0i}}{10} = 296.8g \quad (\text{C.1.5})$$

$$\text{标准差} \quad S_{sp} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (m_{si} - \overline{m_s})^2}{10-1}} = 2.55g \quad (\text{C.1.6})$$

$$S_{0p} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (m_{0i} - \overline{m_0})^2}{10-1}} = 0.42g \quad (\text{C.1.7})$$

实际测量情况：试验杯装满水质量和试验杯空杯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：

试验杯装满水和空杯时质量测量重复性引起的标准不确定度：

$$u_1(m_s) = \frac{S_{sp}}{\sqrt{m}} = \frac{2.55}{\sqrt{2}} = 1.80g \quad (\text{C.1.8})$$

$$u_1(m_0) = \frac{S_{0p}}{\sqrt{m}} = \frac{0.42}{\sqrt{2}} = 0.30g \quad (\text{C.1.9})$$

C.1.3.2 电子天平最大允许误差引起的标准不确定度分项 $u_2(m_s)$ 和 $u_2(m_0)$ 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 $Max=3200g$, $d=1g$, $e=10g$, 检定分度数 $n=\frac{Max}{e}=\frac{3200g}{10g}=3.2\times 10^2$, 该电子天平对应准确度等级为普通准确度级。在 $845.5g$ 范围内电子天平最大允许误差 $MPE=\pm 1.0e=\pm 10g$, 在 $296.8g$ 范围内电子天平最大允许误差 $MPE=\pm 0.5e=\pm 5g$, 即 $a_s=10g$, $a_0=5g$, 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 $845.5g$ 和 $296.8g$ 校准点最大允许误差引起的标准不确定度 $u_2(m_s)$ 和 $u_2(m_0)$:

$$u_2(m_s)=\frac{a_s}{k}=\frac{10}{\sqrt{3}}=5.77g \quad (C.1.10)$$

$$u_2(m_0)=\frac{a_0}{k}=\frac{5}{\sqrt{3}}=2.89g \quad (C.1.11)$$

C.1.3.3 电子天平分辨力引起的标准不确定度 $u_3(m_s)$ 和 $u_3(m_0)$ 的评定

电子天平最小读数 $d=1g$, 以等概率分布在半宽为 $a=\frac{d}{2}=\frac{1}{2}=0.5g$ 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:

$$u_3(m_s)=u_3(m_0)=\frac{a}{k}=\frac{0.5}{\sqrt{3}}=0.289g \quad (C.1.12)$$

因 $u_3(m_s)=0.289g < u_1(m_s)=1.80g$, $u_3(m_0)=0.289g < u_1(m_0)=0.30g$, 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 $u_3(m_s)$ 和 $u_3(m_0)$ 。

C.1.3.4 输入量 m_s 和 m_0 合成标准不确定度 $u(m_s)$ 和 $u(m_0)$ 计算

由于电子天平与试验杯彼此独立, 互不相关, 标准不确定度 $u_1(m_s)$ 、 $u_2(m_s)$ 、 $u_3(m_s)$ 、 $u_1(m_0)$ 、 $u_2(m_0)$ 和 $u_3(m_0)$ 也相互独立, 则输入量 m_s 和 m_0 合成标准不确定度 $u(m_s)$ 和 $u(m_0)$:

$$u(m_s) = \sqrt{u_1^2(m_s) + u_2^2(m_s)} = \sqrt{1.80^2 + 5.77^2} = 6.04g \quad (\text{C. 1. 13})$$

$$u(m_0) = \sqrt{u_1^2(m_0) + u_2^2(m_0)} = \sqrt{0.30^2 + 2.89^2} = 2.91g \quad (\text{C. 1. 14})$$

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(g)	备注
1	输入量 m_s 测量重复性	$u_1(m_s)$	A	正态	1	1.80	
2	输入量 m_0 测量重复性	$u_1(m_0)$	A	正态	-1	0.30	
3	输入量 m_s 电子天平最大允许误差	$u_2(m_s)$	B	均匀	1	5.77	
4	输入量 m_0 电子天平最大允许误差	$u_2(m_0)$	B	均匀	-1	2.89	
5	电子天平分辨力	$u_3(m_s)$	B	均匀	1	0.289	不考虑
6	电子天平分辨力	$u_3(m_0)$	B	均匀	-1	0.289	不考虑

C. 1. 5 合成标准不确定度计算

由公式 (C. 1. 3) 试验杯容量的标准不确定度 $u_c(V)$:

$$u_c(V) = \sqrt{u^2(m_s) + u^2(m_0)} = \sqrt{6.04^2 + 2.91^2} = 6.70ml \quad (\text{C. 1. 15})$$

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：

$$U = k \times u_c(V) = 2 \times 6.70 = 13.41 \approx 14ml \quad (\text{C. 1. 16})$$

C. 1. 7 测量结果不确定度的报告与表示

试验杯容量测量结果的扩展不确定度为：

$$U = 14ml \quad k = 2。$$

C.2 耐洗机试验杯杯体深度校准不确定度的评定

C.2.1 概述

用测量范围(0~150) mm, 分度值 1mm, 最大允许示值误差 ± 0.10 mm 钢直尺测量 (125 ± 10) mm 试验杯杯体深度。校准的实验操作: 在试验杯口放置一把直尺, 将钢直尺零位端置于试验杯杯底, 钢直尺垂直, 将直尺靠近钢直尺刻度线, 读取直尺位于钢直尺的读数, 重复测量两次, 计算两次测量结果的算术平均值为试验杯杯体深度。

C.2.2 测量模型

$$H = \bar{h} \quad (\text{C.2.1})$$

式中: H —— 试验杯杯体深度, 单位: mm;

\bar{h} —— 钢直尺两次测量结果的算术平均值, 单位: mm。

由于钢直尺与试验杯彼此独立, 互不相关, 因此, 试验杯杯体深度标准不确定度 $u_c(H)$ 可由式 (C.2.2) 计算:

$$u_c^2(H) = c^2(\bar{h}) u^2(\bar{h}) \quad (\text{C.2.2})$$

灵敏系数: $c(\bar{h}) = 1$

$$\text{则: } u_c^2(H) = u^2(\bar{h}) \quad (\text{C.2.3})$$

C.2.3 输入量 \bar{h} 的标准不确定度来源分析和评定

输入量 \bar{h} 的标准不确定度 $u(\bar{h})$ 来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(\bar{h})$ 、钢直尺示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(\bar{h})$ 和钢直尺分度值引起的标准不确定度 $u_3(\bar{h})$ 。

C.2.3.1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(\bar{h})$ 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。

在重复性条件下用钢直尺直接测量试验杯杯体深度, 连续 10 次测量, 得到一测量列 (单位: mm): 122.0、122.0、121.5、122.0、121.5、121.5、122.0、

122.0、122.0、122.0。

$$\text{平均值} \quad \bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^{10} h_i}{10} = 121.85 \text{mm} \quad (\text{C.2.4})$$

$$\text{标准差} \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (h_i - \bar{h})^2}{10-1}} = 0.24 \text{mm} \quad (\text{C.2.5})$$

实际测量情况：用钢直尺直接测量试验杯杯体深度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：

用钢直尺直接测量试验杯杯体深度测量重复性引起的标准不确定度：

$$u_1(\bar{h}) = \frac{S_p}{\sqrt{m}} = \frac{0.24}{\sqrt{2}} = 0.17 \text{mm} \quad (\text{C.2.6})$$

C.2.3.2 钢直尺示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(\bar{h})$ 的评定

钢直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钢直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。

钢直尺最大允许误差为 $\pm 0.10 \text{mm}$ ，即 $a = 0.10 \text{mm}$ ，在区间内服从均匀分布，即包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则钢直尺直接测量试验杯杯体深度的标准不确定度 $u_2(\bar{h})$ ：

$$u_2(\bar{h}) = \frac{a}{k} = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{mm} \quad (\text{C.2.7})$$

C.2.3.3 钢直尺分度值引起的标准不确定度 $u_3(\bar{h})$ 的评定

钢直尺分度值为 1mm ，其量化误差以等概率分布在半宽为 $a = 0.5 \text{mm}$ 的区间内，属均匀分布，即包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，故引入的不确定度为：

$$u_3(\bar{h}) = \frac{a}{k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{mm} \quad (\text{C.2.8})$$

因 $u_3(\bar{h}) = 0.29 \text{mm} > u_1(\bar{h}) = 0.17 \text{mm}$ ，用分度值引入的不确定度分量代替重复性分量。

C.2.3.4 输入量 \bar{h} 合成标准不确定度 $u(\bar{h})$ 计算

由于钢直尺与试验杯彼此独立，互不相关，标准不确定度 $u_2(\bar{h})$ 和 $u_3(\bar{h})$ 也相互独立，则输入量 \bar{h} 合成标准不确定度 $u(\bar{h})$ ：

$$u(\bar{h}) = \sqrt{u_2^2(\bar{h}) + u_3^2(\bar{h})} = \sqrt{0.06^2 + 0.29^2} = 0.30\text{mm} \quad (\text{C. 2. 9})$$

C. 2. 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. 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(mm)	备注
1	测量重复性	$u_1(\bar{h})$	A	正态	1	0.17	忽略
2	钢直尺示值误差	$u_2(\bar{h})$	B	均匀	1	0.06	
3	钢直尺分度值	$u_3(\bar{h})$	B	均匀	1	0.29	

C. 2. 5 合成标准不确定度计算

由公式 (C. 2. 3) 试验杯杯体深度标准不确定度 $u_c(H)$ ：

$$u_c(H) = u(\bar{h}) = 0.30\text{mm} \quad (\text{C. 2. 10})$$

C. 2. 6 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(H) = 2 \times 0.30 = 0.60 \text{ mm} \approx 1\text{mm} \quad (\text{C. 2. 11})$$

C. 2. 7 测量结果不确定度的报告与表示

耐洗机试验杯杯体深度测量结果的扩展不确定度为：

$$U = 1 \text{ mm} \quad k = 2。$$

C. 3 耐洗机旋转轴杆心到试验杯底部距离测量结果不确定度的评定

C. 3. 1 概述

用测量范围 (0~150) mm，分度值 1mm，最大允许示值误差 $\pm 0.10\text{mm}$ 钢直尺测量耐洗机旋转轴杆轴心到试验杯底部距离 (45 \pm 10) mm。实验操作：用钢直尺测量旋转轴杆直径 D。将试验杯置于旋转支架上，并固定锁定好，用钢直尺测量试验杯底部至旋转轴杆的距离，重复测量两次，按公式 (2) 计算旋转轴杆轴心到容器底部距离。

$$L = \frac{D}{2} + L_0 \quad (\text{C. 3. 1})$$

式中:

L ——耐洗机旋转轴杆轴心到容器底部距离, 单位: mm

D ——两次测量旋转轴杆直径算术平均值, 单位: mm

L_0 ——两次测量试验杯底部至旋转轴杆距离算术平均值, 单位: mm

C. 3. 2 测量模型

$$L = \frac{D}{2} + L_0 \quad (\text{C. 3. 2})$$

式中:

L ——耐洗机旋转轴杆轴心到容器底部距离, 单位: mm;

D ——两次测量旋转轴杆直径算术平均值, 单位: mm;

L_0 ——两次测量试验杯底部至旋转轴杆距离算术平均值, 单位: mm。

由于钢直尺与耐洗机彼此独立, 互不相关, 因此, 耐洗机旋转轴杆轴心到容器底部距离标准不确定度 $u_c(L)$ 可由式 (C. 3. 3) 计算:

$$u_c^2(L) = \frac{1}{2} c^2(D) u^2(D) + c^2(L_0) u^2(L_0) \quad (\text{C. 3. 3})$$

灵敏系数: $c(D) = 1$, $c(L_0) = 1$

$$\text{则 } u_c^2(L) = \frac{1}{2} u^2(D) + u^2(L_0) \quad (\text{C. 3. 4})$$

C. 3. 3 输入量 D 的标准不确定度来源分析和评定

输入量 D 的标准不确定度 $u(D)$ 来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(D)$ 、钢直尺示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(D)$ 和钢直尺分度值引起的标准不确定度 $u_3(D)$ 。

C. 3. 3. 1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(D)$ 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。在重复性条件下用钢直尺直接测量旋转轴杆直径, 连续 10 次测量, 得到一

测量列 (单位: mm): 49.5、50.0、49.5、49.5、49.0、49.5、49.5、50.0、49.5、49.5。

$$\text{平均值} \quad D = \frac{\sum_{i=1}^{10} D_i}{10} = 49.55 \text{ mm} \quad (\text{C. 3.5})$$

$$\text{标准差} \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (D_i - \bar{D})^2}{10-1}} = 0.28 \text{ mm} \quad (\text{C. 3.6})$$

实际测量情况: 用钢直尺直接测量旋转轴杆直径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:

用钢直尺直接测量旋转轴杆直径测量重复性引起的标准不确定度:

$$u_1(D) = \frac{S_p}{\sqrt{m}} = \frac{0.28}{\sqrt{2}} = 0.20 \text{ mm} \quad (\text{C. 3.7})$$

C. 3.3.2 钢直尺示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(D)$ 的评定

钢直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钢直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。

钢直尺最大允许误差为 $\pm 0.10 \text{ mm}$, 即 $a = 0.10 \text{ mm}$, 在区间内服从均匀分布, 即包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则钢直尺直接测量旋转轴杆直径的标准不确定度 $u_2(D)$:

$$u_2(D) = \frac{a}{k} = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{ mm} \quad (\text{C. 3.8})$$

C. 3.3.3 钢直尺分度值引起的标准不确定度 $u_3(D)$ 的评定

钢直尺分度值为 1 mm , 其量化误差以等概率分布在半宽为 $a = 0.5 \text{ mm}$ 的区间内, 属均匀分布, 即包含因子 $k = \sqrt{3}$, 故引入的不确定度为:

$$u_3(D) = \frac{a}{k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ mm} \quad (\text{C. 3.9})$$

因 $u_3(D) = 0.29 \text{ mm} > u_1(D) = 0.20 \text{ mm}$, 需考虑钢直尺分度值的影响。

C. 3.3.4 输入量 D 合成标准不确定度 $u(D)$ 计算

由于钢直尺与耐洗机彼此独立, 互不相关, 标准不确定度 $u_1(D)$ 、 $u_2(D)$ 和 $u_3(D)$ 也相互独立, 则输入量 D 合成标准不确定度 $u(D)$:

$$u(D) = \sqrt{u_1^2(D) + u_2^2(D) + u_3^2(D)} = \sqrt{0.20^2 + 0.06^2 + 0.29^2} = 0.36\text{mm} \quad (\text{C. 3. 10})$$

C. 3. 4 输入量 L_0 的标准不确定度来源分析和评定

输入量 L_0 的标准不确定度 $u(L_0)$ 来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(L_0)$ 、钢直尺示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(L_0)$ 和钢直尺分度值引起的标准不确定度 $u_3(L_0)$ 。

C. 3. 4. 1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(L_0)$ 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。

在重复性条件下用钢直尺直接测量试验杯底部至旋转轴杆的距离，连续 10 次测量，得到一测量列（单位：mm）：24.0、24.5、24.5、24.0、24.0、24.0、24.0、24.5、24.0、24.0。

$$\text{平均值} \quad L_0 = \frac{\sum_{i=1}^{10} L_{0i}}{10} = 24.15\text{mm} \quad (\text{C. 3. 11})$$

$$\text{标准差} \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (L_{0i} - \bar{L}_0)^2}{10-1}} = 0.24\text{mm} \quad (\text{C. 3. 12})$$

实际测量情况：用钢直尺直接测量试验杯底部至旋转轴杆的距离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：

用钢直尺直接测量试验杯底部至旋转轴杆的距离测量重复性引起的标准不确定度：

$$u_1(L_0) = \frac{S_p}{\sqrt{m}} = \frac{0.24}{\sqrt{2}} = 0.17\text{mm} \quad (\text{C. 3. 13})$$

C. 3. 4. 2 钢直尺示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(L_0)$ 的评定

钢直尺示值误差引起的标准不确定度：

$$u_2(L_0) = u_2(D) = 0.06\text{mm} \quad (\text{C. 3. 14})$$

C. 3. 4. 3 钢直尺分度值引起的标准不确定度 $u_3(L_0)$ 的评定

钢直尺分度值引起的标准不确定度 $u_3(L_0)$

$$u_3(L_0) = u_3(D) = 0.29\text{mm} \quad (\text{C. 3. 15})$$

因 $u_3(L_0) = 0.29\text{mm} > u_1(L_0) = 0.17\text{mm}$ ，需考虑钢直尺分度值的影响。

C.3.4.4 输入量 L_0 合成标准不确定度 $u(L_0)$ 计算

由于钢直尺与耐洗机彼此独立，互不相关，标准不确定度 $u_1(L_0)$ 、 $u_2(L_0)$ 和 $u_3(L_0)$ 也相互独立，则输入量 L_0 合成标准不确定度 $u(L_0)$ ：

$$u(L_0) = \sqrt{u_1^2(L_0) + u_2^2(L_0) + u_3^2(L_0)} = \sqrt{0.17^2 + 0.06^2 + 0.29^2} = 0.34\text{mm} \quad (\text{C.3.16})$$

C.3.5 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.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(mm)	备注
1	测量测量旋转轴杆直径重复性	$u_1(D)$	A	正态	1	0.20	
2	测量试验杯底部至旋转轴杆的距离重复性	$u_1(L_0)$	A	正态	1	0.17	
3	钢直尺示值误差	$u_2(D)$ $u_2(L_0)$	B	均匀	1	0.06	
4	钢直尺分度值	$u_3(D)$ $u_3(L_0)$	B	均匀	1	0.29	

C.3.6 合成标准不确定度计算

由公式 (C.3.4) 钢直尺直接测量旋转轴杆轴心到试验杯底部距离标准不确定度 $u_c(L)$ ：

$$u_c(L) = \sqrt{\frac{1}{2}u^2(D) + u^2(L_0)} = \sqrt{\frac{0.36^2}{2} + 0.34^2} = 0.42\text{mm} \quad (\text{C.3.17})$$

C.3.7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(L) = 2 \times 0.42 = 0.84\text{mm} \approx 1\text{mm} \quad (\text{C.2.11})$$

C.3.7 测量结果不确定度的报告与表示

耐洗机旋转轴杆轴心到试验杯底部距离测量结果的扩展不确定度为:

$$U = 1\text{mm} \quad k = 2。$$

C. 4 试验架和试验杯联合装置转速校准不确定度的评定

C. 4. 1 概述

采用测量范围为 0~10h, 分辨力为 0.01s, 最大允许误差为 $\pm 0.10\text{s}$ 的电子秒表测量试验杯旋转一定圈数所需时间, 通过计算转化试验杯转速。校准的实验操作: 在工作室注水至水位线, 将一个试样杯安装到旋转支架上, 启动旋转支架运行, 当试验杯接触水面时, 启动秒表开始计时, 当试验杯旋转 n 圈后, 并接触水面时, 按停秒表, 秒表读数为试验杯旋转 n 圈所需时间 t , 计算试验杯每分钟试验杯旋转圈数, 重复测量两次, 两次测量结果的算术平均值为试验架和试验杯联合装置转速。

A. 4. 2 测量模型

$$\text{试验杯转速} \quad v = \frac{n \times 60}{t} \quad (\text{C. 4. 1})$$

式中:

v —— 试验杯转速, 单位: r/min;

n —— 试验杯旋转次数, 单位: r;

t —— 试验杯旋转 n 圈数所需时间, 单位: s。

由于电子秒表与耐洗机试验杯彼此独立, 互不相关, 因此, 耐洗机试验杯转速测量结果的标准不确定度 $u_c(v)$ 可由式 (C. 4. 2) 计算:

$$\text{方差: } u_c^2(v) = \left[\frac{\partial v}{\partial n} \right]^2 u^2(n) + \left[\frac{\partial v}{\partial t} \right]^2 u^2(t) \quad (\text{C. 4. 2})$$

$$\text{则: } \left[\frac{u_c(v)}{v} \right]^2 = \left[\frac{u(n)}{n} \right]^2 + \left[\frac{u(t)}{t} \right]^2$$

$$\text{即: } u_{\text{rel}}^2(v) = u_{\text{rel}}^2(n) + u_{\text{rel}}^2(t) \quad (\text{C. 4. 3})$$

C. 4. 3 输入量 n 相对标准不确定度评定

输入量 n 为试验杯实际转动圈数。本次实验方法: 测量试验杯旋转 $n = 40$ 所

需的时间, 输入量 n 为准确数, 是常量, 则输入量 n 相对标准不确定度 $u_{rel}(n)$:

$$u_{rel}(n) = 0 \quad (\text{C. 4. 4})$$

C. 4. 4 输入量 t 相对标准不确定度评定

C. 4. 4. 1 输入量 t 标准不确定度来源分析

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

(1) 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(t)$ 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秒表测量试验杯旋转 $n = 40$ 所需的时间 t , 连续 10 次测量, 得到一测量列 (单位: s): 58.28、58.23、58.45、58.32、58.35、58.33、58.37、58.29、58.34、58.30。

则单次测量结果的实验标准偏差 s_{pt} 为:

$$\text{单次平均值} \quad t = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_i}{10} = 58.326\text{s} \quad (\text{C. 4. 6})$$

$$\text{单次标准差} \quad S_{pt} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_i - \bar{t})^2}{10 - 1}} = 0.059\text{s} \quad (\text{C. 4. 7})$$

实际测量情况: 在重复性条件下用电子秒表连续测量两次 ($m = 2$), 测量试验杯旋转 $n = 40$ 转所需时间, 以 2 次测量结果的算术平均值为实测值, 则可得到试验杯旋转 $n = 40$ 转所需时间测量重复性引起的标准不确定度 $u_1(t)$:

$$u_1(t) = \frac{S_{pt}}{\sqrt{m}} = \frac{0.059}{\sqrt{2}} = 0.042\text{s} \quad (\text{C. 4. 8})$$

(2) 电子秒表示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(t)$ 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。

电子秒表最大允许误差为 $\pm 0.10\text{s}$, 即 $a = 0.10\text{s}$, 在区间内服从均匀分布,

即包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则电子秒表最大允许误差引起的标准不确定度 $u_2(t)$ ：

$$u_2(t) = \frac{a}{k} = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.058s \quad (\text{C. 4. 9})$$

(3) 电子秒表分辨力引起的标准不确定度 $u_3(t)$ 的评定

电子秒表分辨力为 $0.01s$ ，以等概率分布在半宽为 $a = \frac{0.01}{2} = 0.005s$ 区间内，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，电子秒表分辨力引入的标准不确定度 $u_3(t)$ 为：

$$u_3(t) = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003s \quad (\text{C. 4. 10})$$

因 $u_3(t) = 0.003s < u_1(t) = 0.042s$ ，重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(t)$ 已包含分辨力的影响，不考虑电子秒表分辨力的影响。

(4) 输入量 t 标准不确定度分量汇总

由于电子秒表与耐洗机试验杯彼此独立，互不相关，标准不确定度 $u_1(t)$ 、 $u_2(t)$ 和 $u_3(t)$ 也相互独立，则输入量 t 合成标准不确定度 $u(t)$ ：

$$u(t) = \sqrt{u_1^2(t) + u_2^2(t)} = \sqrt{0.042^2 + 0.058^2} = 0.072s \quad (\text{C. 4. 11})$$

(6) 输入量 t 在校准点引起的相对标准不确定度：

$$u_{rel}(t) = \frac{u(t)}{t} \times 100\% = \frac{0.072}{58.326} \times 100\% = 0.123\% \quad (\text{C. 4. 12})$$

C. 4. 5 相对标准不确定度分量汇总

各分量的相对标准不确定度汇总如表 C. 4. 1 所示。

表 C. 4. 1 相对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	备注
1	试验杯实际转动圈数	$u_{rel}(n)$	B	均匀	1	0%	
2	测量重复性	$u_1(t)$	A	正态	-1	0.042s	
3	电子秒表示值误差	$u_2(t)$	B	均匀	-1	0.058s	
4	电子秒表分辨力	$u_3(t)$	B	均匀	-1	0.003s	不考虑

C.4.6 合成相对标准不确定度计算

由式 (C.4.3) 得耐洗机试验杯旋转速度测量结果合成相对标准不确定度

$u_{crel}(v)$:

$$u_{crel}(v) = \sqrt{u_{rel}^2(n) + u_{rel}^2(t)} = \sqrt{0^2 + 0.123^2} = 0.123\% \quad (C.4.13)$$

C.4.7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，相对扩展不确定度为：

$$U_{rel} = k \times u_{crel}(v) = 2 \times 0.123\% = 0.25\% \quad (C.4.14)$$

扩展不确定度为：

$$U = U_{rel} \times v = 0.25\% \times \frac{40 \times 60}{58.326} = 0.103 \approx 0.2r / \min \quad (C.4.15)$$

C.4.8 测量结果不确定度的报告与表示

耐洗机试验杯旋转速度校准的扩展不确定度为：

$$U = 0.2r / \min \quad k = 2。$$

C.5 试验时间控制误差校准不确定度的评定

C.5.1 概述

采用比较法，用测量范围 0~10h，分辨力 0.01s，最大允许误差为 $\pm 0.10s$ 的电子秒表校准耐洗机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 30min00s，启动旋转支架运行，试验时间开始计时，同时启动秒表开始计时；当耐洗机定时器计时时间达到设定值时，耐洗机发出报警信号，同时按停秒表，记录秒表显示时间为时间实测值。分别重复测量两次，计算时间实测值的算术平均值。定时器试验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.5.2 测量模型

$$\Delta t = t_s - \bar{t}_0 \quad (C.5.1)$$

式中：

Δt —— 试验时间控制误差, 单位: s;

t_s —— 定时器设定定时时间, 单位: s;

\bar{t}_0 —— 秒表实测值算术平均值, 单位: s。

由于电子秒表与耐洗机定时器彼此独立, 互不相关, 因此, 试验时间控制误差测量结果的标准不确定度 $u_c(\Delta t)$ 可由式 (C.5.2) 计算:

$$u_c^2(\Delta t) = c^2(t_s)u^2(t_s) + c^2(\bar{t}_0)u^2(\bar{t}_0) \quad (\text{C.5.2})$$

灵敏系数: $c(t_s) = 1$, $c(\bar{t}_0) = -1$

$$\text{则: } u_c^2(\Delta t) = u^2(t_s) + u^2(\bar{t}_0) \quad (\text{C.5.3})$$

C.5.3 输入量 t_s 的标准不确定度来源分析和评定

输入量 t_s 的标准不确定度 $u(t_s)$ 来源主要是定时器设定时间分辨力引起的标准不确定度 $u_1(t_s)$ 。

定时器设定时间分辨力引起的标准不确定度 $u_1(t_s)$ 的评定

定时器设定时间分辨力为 $\delta_t = 0.01\text{s}$, 则定时器设定时间分辨力引起的标准不确定度 $u_1(t_s)$:

$$u_1(t_s) = 0.29\delta_t = 0.003\text{s} \quad (\text{C.5.4})$$

输入量 t_s 的标准不确定度

$$u(t_s) = u_1(t_s) = 0.003\text{s} \quad (\text{C.5.5})$$

C.5.4 输入量 \bar{t}_0 的标准不确定度来源分析和评定

输入量 \bar{t}_0 的标准不确定度 $u(\bar{t}_0)$ 来源主要是测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(\bar{t}_0)$ 、电子秒表示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(\bar{t}_0)$ 和电子秒表分辨力误差引起的标准不确定度 $u_3(\bar{t}_0)$ 。

C.5.4.1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(\bar{t}_0)$ 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。

耐洗机定时器设定 30min00s, 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: 29min59.64s、29min59.62s、29min59.78s、29min59.82s、29min59.22s、29min59.36s、29min59.53s、29min59.42s、29min59.87s、29min59.80s。

则测量结果的实验标准偏差 s_t 为:

$$\text{平均值} \quad \bar{t}_s = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_{si}}{10} = 29 \text{ min } 59.606 \text{ s} \quad (\text{C. 5. 6})$$

$$\text{标准差} \quad S_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_{0i} - \bar{t}_0)^2}{10-1}} = 0.22 \text{ s} \quad (\text{C. 5. 7})$$

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:

$$u_1(t_0) = \frac{S_t}{\sqrt{m}} = \frac{0.22}{\sqrt{2}} = 0.13 \text{ s} \quad (\text{C. 5. 8})$$

C. 5. 4. 2 电子秒表示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(\bar{t}_0)$ 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 $u_2(\bar{t}_0)$:

$$u_2(\bar{t}_0) = \frac{a}{k} = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{ s} \quad (\text{C. 5. 9})$$

C. 5. 4. 3 电子秒表分辨力误差引起的标准不确定度 $u_3(\bar{t}_0)$ 的评定

电子秒表分辨力为 0.01 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 $u_3(\bar{t}_0)$ 为:

$$u_3(\bar{t}_0) = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ s} \quad (\text{C. 5. 10})$$

因 $u_3(\bar{t}_0)=0.003s < u_1(\bar{t}_0)=0.13s$ ，重复性引入的不确定度分量 $u_1(\bar{t}_0)$ 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 $u_3(\bar{t}_0)$ 。

C.5.4.4 输入量 \bar{t}_0 合成标准不确定度 $u(\bar{t}_0)$ 计算

由于电子秒表与耐洗机定时器彼此独立，互不相关，标准不确定度 $u_1(\bar{t}_0)$ 、 $u_2(\bar{t}_0)$ 和 $u_3(\bar{t}_0)$ 也相互独立，则输入量 \bar{t}_0 合成标准不确定度 $u(\bar{t}_0)$ ：

$$u(\bar{t}_0) = \sqrt{u_1^2(\bar{t}_0) + u_2^2(\bar{t}_0)} = \sqrt{0.13^2 + 0.06^2} = 0.143s \quad (\text{C.3.11})$$

C.5.5 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.5.1 所示。

表 C.5.1 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	$u_1(\bar{t}_0)$	B	均匀	1	0.003	
2	测量重复性	$u_2(\bar{t}_0)$	A	正态	-1	0.13	
3	秒表示值误差	$u_2(\bar{t}_0)$	B	均匀	-1	0.06	
4	秒表分辨力	$u_3(\bar{t}_0)$	B	均匀	-1	0.003	不考虑

C.5.6 合成标准不确定度计算

由式 (C.5.3) 得试验时间误差标准不确定度：

$$u_c(\Delta t) = \sqrt{u^2(t_0) + u^2(\bar{t}_0)} = \sqrt{0.003^2 + 0.143^2} = 0.143s \quad (\text{C.5.12})$$

C.5.7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\Delta t) = 2 \times 0.143 = 0.286 \approx 0.3s \quad (\text{C.3.13})$$

C.5.8 测量结果不确定度的报告与表示

试验时间 30 min 控制误差校准的扩展不确定度为：

$$U = 0.3s \quad k = 2。$$

C.6 水浴温度偏差校准不确定度的评定

C.6.1 概述

用测量范围 (0~150) °C, 分辨率为 0.1 °C, 在 50 °C 校准扩展不确定度为 0.3 °C 的温度计测量水浴试验温度偏差 (50.0 ± 2.0) °C。校准实验操作: 温度控制器设定试验温度 50.0 °C。关闭耐洗机工作室上盖, 启动耐洗机加热装置和试验杯旋转支架; 待水浴温度控制器使工作室的浴水温度达到温度控制器设定值并恒温稳定后, 关停试验杯旋转支架, 用温度计直接测量工作室前后对角水温, 待温度计示值稳定后, 记录温度计读数, 每间隔 2min 重复测量 1 次, 共测量 3 次, 其 3 次测量结果算术平均值经相应温度修正后与耐洗机温控器温度设定值之差为水浴温度偏差。

C.6.2 测量模型

$$\text{水浴温度偏差: } \Delta T = \overline{T}_0 - T_s \quad (\text{C.6.1})$$

式中:

ΔT —— 水浴温度偏差, 单位为 °C;

\overline{T}_0 —— 温度计 3 次测量结果算术平均值, 单位为 °C;

T_s —— 耐洗机温控器温度设定值, 单位为 °C。

由于温度计与耐洗机温控器彼此独立, 互不相关, 因此, 水浴温度偏差标准不确定度 $u_c(\Delta T)$ 可由式 (C.6.2) 计算:

$$u_c^2(\Delta T) = c^2(\overline{T}_0)u^2(\overline{T}_0) + c^2(T_s)u^2(T_s) \quad (\text{C.6.2})$$

灵敏系数: $c(\overline{T}_0) = 1$, $c(T_s) = -1$

$$\text{则 } u_c^2(\Delta T) = u^2(\overline{T}_0) + u^2(T_s) \quad (\text{C.6.3})$$

C.6.3 输入量 \overline{T}_0 标准不确定度评定

输入量 \overline{T}_0 的标准不确定度 $u(\overline{T}_0)$ 来源主要是测量重复性引起的标准不确定度 $u_1(\overline{T}_0)$ 、温度计示值误差引入的标准不确定度 $u_2(\overline{T}_0)$ 和温度计分辨力引入的标准

不确定度 $u_3(\overline{T}_0)$ 。

C.6.3.1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(\overline{T}_0)$ 的评定

可采用连续重复多次测量直接求出标准不确定度,即采用 A 类方法进行评定。耐洗机温控器温度设定值为 50.0℃,待水浴温度控制器使工作室的浴水温度达到温度控制器设定值并恒温稳定后,关停试验杯旋转支架,用温度计直接测量工作室水浴温度,待温度计示值稳定后,记录温度计读数,每间隔 2min 重复测量 1 次,在重复性条件下连续 10 次测量工作室水浴温度,得到一测量列(单位:℃): 50.7、51.3、50.8、51.0、50.7、50.8、51.0、51.2、50.7、50.9。

则测量结果的实验标准偏差 s_0 为:

$$\text{平均值} \quad \overline{T}_{0i} = \frac{\sum_{i=1}^{10} T_{0i}}{10} = 50.91^\circ\text{C} \quad (\text{C.6.4})$$

$$\text{标准差} \quad S_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (T_{0i} - \overline{T}_0)^2}{10-1}} = 0.213^\circ\text{C} \quad (\text{C.6.5})$$

实际测量情况:耐洗机水浴温度偏差在重复性条件下连续测量 3 次($m=3$),以 3 次测量结果算术平均值为测量结果,则可得到:

水浴温度偏差测量重复性引起的标准不确定度:

$$u_1(\overline{T}_0) = \frac{S_0}{\sqrt{m}} = \frac{0.213}{\sqrt{3}} = 0.123^\circ\text{C} \quad (\text{C.6.6})$$

C.6.3.2 温度计示值误差引起的标准不确定度分项 $u_2(\overline{T}_0)$ 的评定

温度计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温度计最大允许误差来评定,属均匀分布,可采用 B 类方法评定。

温度计最大允许误差为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,即 $a=0.5^\circ\text{C}$,通常认为在区间内服从均匀分布,即包含因子 $k=\sqrt{3}$,则温度计示值误差引起的标准不确定度 $u_2(\overline{T}_0)$:

$$u_2(\overline{T}_0) = \frac{a}{k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289^\circ\text{C} \quad (\text{C.6.7})$$

C.6.3.3 温度计分辨力引起的标准不确定度分项 $u_3(\overline{T}_0)$ 的评定

温度计分辨力为 $\delta_0=0.1^\circ\text{C}$,则

$$u_2(\overline{T}_0)=0.29\delta_0=0.029\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 6. 8})$$

因 $u_3(\overline{T}_0)=0.029^{\circ}\text{C}<u_1(\overline{T}_0)=0.123^{\circ}\text{C}$ ，重复性引入的不确定度分量 $u_1(\overline{T}_0)$ 已包含分辨力的影响，不考虑分辨力的影响。

C. 6. 3. 3 输入量 \overline{T}_0 合成标准不确定度

$$u(\overline{T}_0)=\sqrt{u_1^2(\overline{T}_0)+u_2^2(\overline{T}_0)}=\sqrt{0.123^2+0.289^2}=0.314\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 6. 9})$$

C. 6. 4 输入量 T_s 标准不确定度评定

输入量 T_s 为耐洗机温控器温度设定值，其标准不确定度 $u(T_s)$ 主要是温控器设定值分辨力引起的标准不确定度 $u_1(T_s)$ 。

温控器设定值分辨力为 $\delta_s=0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，则

$$u(T_s)=u_1(T_s)=0.29\delta_0=0.029\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 6. 10})$$

C. 6. 5 标准不确定度分量汇总

各标准不确定度分量汇总如表 C. 6. 1 所示。

表 C. 6. 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($^{\circ}\text{C}$)	备注
1	测量重复性	$u_1(\overline{T}_0)$	A	正态	1	0.123	
2	温度计示值误差	$u_2(\overline{T}_0)$	B	均匀	1	0.289	
3	温度计分辨力	$u_3(\overline{T}_0)$	B	均匀	1	-----	不考虑
4	温控器设定值分辨力	$u_1(T_s)$	B	均匀	-1	0.029	

C. 6. 6 合成标准不确定度来源计算

由式 (C. 6. 3) 水浴温度偏差合成标准不确定度：

$$u_c(\Delta T)=\sqrt{u^2(\overline{T}_0)+u^2(T_s)}=\sqrt{0.314^2+0.029^2}=0.315\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 6. 11})$$

C. 6. 7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\Delta T) = 2 \times 0.315 = 0.630 \approx 0.6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{C. 6. 12})$$

C. 6. 8 测量结果不确定度的报告与表示

耐洗衣机水浴温度偏差测量扩展不确定度为：

$$U = 0.6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad k = 2。$$

C. 7 水浴温度示值误差校准不确定度的评定

C. 7. 1 概述

用测量范围（0～150）℃，分辨率为 0.1℃，在 50℃校准扩展不确定度为 0.3℃的温度计测量水浴试验温度示值误差（50.0±2.0）℃。校准实验操作：温度控制器设定试验温度 50.0℃。关闭耐洗衣机工作室上盖，启动耐洗衣机加热装置和试验杯旋转支架；待水浴温度控制器使工作室的浴水温度达到温度控制器设定值并恒温稳定后，关停试验杯旋转支架，用温度计直接测量工作室前后对角水温，待温度计示值稳定后，记录温度计读数和耐洗衣机温控器示值，每间隔 2min 重复测量 1 次，共测量 3 次。耐洗衣机温控器 3 次温度示值算术平均值与 3 次温度计读数算术平均值经相应温度修正后之差为水浴温度示值误差。

C. 7. 2 测量模型

水浴温度示值误差：

$$\Delta T_D = \overline{T_D} - \overline{T_0} \quad (\text{C. 7. 1})$$

式中：

ΔT_D —— 水浴温度示值误差，单位为℃；

$\overline{T_D}$ —— 耐洗衣机温度示值 3 次测量结果算术平均值，单位为℃；

$\overline{T_0}$ —— 温度计 3 次测量结果算术平均值，单位为℃。

由于温度计与耐洗衣机温控器彼此独立，互不相关，因此，水浴温度示值误差标准不确定度 $u_c(\Delta T_D)$ 可由式（C. 7. 2）计算：

$$u_c^2(\Delta T_D) = c^2(\overline{T_D})u^2(\overline{T_D}) + c^2(\overline{T_0})u^2(\overline{T_0}) \quad (\text{C. 7. 2})$$

灵敏系数： $c(\overline{T_D}) = 1$ ， $c(\overline{T_0}) = -1$

$$\text{则 } u_c^2(\Delta T_D) = u^2(\overline{T_D}) + u^2(\overline{T_0}) \quad (\text{C. 7. 3})$$

C. 7. 3 输入量 $\overline{T_D}$ 标准不确定度评定

输入量 $\overline{T_D}$ 的标准不确定度 $u(\overline{T_D})$ 来源主要是温控器测量重复性引起的标准不确定度 $u_1(\overline{T_D})$ 和温控器分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\overline{T_D})$ 。

C. 7. 3. 1 温控器测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(\overline{T_D})$ 的评定

按照 C. 6. 1 实验方法, 在记录温度计读数的同时记录耐洗机温控器示值读数, 每间隔 2min 重复测量 1 次, 在重复性条件下连续测量 10 次, 得到温控器示值一测量列 (单位: $^{\circ}\text{C}$): 50.0、50.1、50.0、50.0、50.0、50.0、50.1、50.1、50.0、50.0。

则测量结果的实验标准偏差 s_D 为:

$$\text{平均值 } \overline{T_{Di}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} T_{Di}}{10} = 50.03^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 7. 4})$$

$$\text{标准差 } S_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (T_{Di} - \overline{T_D})^2}{10-1}} = 0.048^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 7. 5})$$

实际测量情况: 耐洗机水浴温度示值误差在重复性条件下连续测量 3 次 ($m=3$), 以 3 次测量结果算术平均值为测量结果, 则可得到:

耐洗机温控器示值测量重复性引起的标准不确定度 $u_1(\overline{T_D})$:

$$u_1(\overline{T_D}) = \frac{S_D}{\sqrt{m}} = \frac{0.048}{\sqrt{3}} = 0.028^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 7. 6})$$

C. 7. 3. 2 温控器分辨力引起的标准不确定度分项 $u_2(\overline{T_D})$ 的评定

温控器温度示值分辨力为 $\delta_D = 0.1^{\circ}\text{C}$, 则

$$u_2(\overline{T_D}) = 0.29\delta_D = 0.029^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 7. 7})$$

因 $u_2(\overline{T_D}) = 0.029^{\circ}\text{C} > u_1(\overline{T_D}) = 0.028^{\circ}\text{C}$, 应考虑分辨力的影响。

C. 7. 3. 3 输入量 $\overline{T_D}$ 合成标准不确定度 $u(\overline{T_D})$

$$u(\overline{T_D}) = \sqrt{u_1^2(\overline{T_D}) + u_2^2(\overline{T_D})} = \sqrt{0.028^2 + 0.029^2} = 0.040^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 7. 8})$$

C.7.4 输入量 $\overline{T_0}$ 标准不确定度评定

输入量 $\overline{T_0}$ 的标准不确定度 $u(\overline{T_0})$ 按 C.6.1 校准方法, 由公式 (C.6.9) 得:

$$u(\overline{T_0}) = \sqrt{u_1^2(\overline{T_0}) + u_2^2(\overline{T_0})} = \sqrt{0.123^2 + 0.289^2} = 0.314 \text{ } ^\circ\text{C}$$

C.7.5 标准不确定度分量汇总

各标准不确定度分量汇总如表 C.7.1 所示。

表 C.7.1 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($^\circ\text{C}$)	备注
1	温控器测量重复性	$u_1(\overline{T_D})$	A	正态	1	0.028	
2	温控器设定值分辨力	$u_2(\overline{T_D})$	B	均匀	1	0.029	
3	温度计测量重复性	$u_1(\overline{T_0})$	A	正态	-1	0.123	
4	温度计示值误差	$u_2(\overline{T_0})$	B	均匀	-1	0.289	
5	温度计分辨力	$u_3(\overline{T_0})$	B	均匀	-1	-----	不考虑

C.7.6 合成标准不确定度来源计算

由式 (C.7.3) 得水浴温度示值误差合成标准不确定度 $u_c(\Delta T_D)$:

$$u_c(\Delta T_D) = \sqrt{u^2(\overline{T_D}) + u^2(T_0)} = \sqrt{0.040^2 + 0.314^2} = 0.317 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{C.7.9})$$

C.7.7 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c(\Delta T_D) = 2 \times 0.317 = 0.633 \approx 0.6^\circ\text{C} \quad (\text{C.7.10})$$

C.7.9 测量结果不确定度的报告与表示

耐洗机水浴温度示值误差测量扩展不确定度为:

$$U = 0.6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad k = 2。$$

C.8 水浴温度波动度校准不确定度的评定

C.8.1 概述

用测量范围 (0~150) °C, 分辨率为 0.1°C, 在 50°C 校准扩展不确定度为 0.3°C 的温度计测量水浴试验温度波动度 ($\leq 2.0^\circ\text{C}$)。校准实验操作: 温度控制器设定试验温度 50.0°C。关闭耐洗机工作室上盖, 启动耐洗机加热装置和试验杯旋转支架; 待水浴温度控制器使工作室的浴水温度达到温度控制器设定值并恒温稳定后, 关停试验杯旋转支架, 用温度计直接测量工作室某一校准点水浴温度, 待温度计示值稳定后, 记录温度计读数, 每间隔 2min 重复测量 1 次, 共测量 3 次。温度计三次测量结果最大值与最小值之差为水浴温度波动度。

C.8.2 测量模型

$$\Delta T_b = T_{0\max} - T_{0\min} \quad (\text{C.8.1})$$

式中:

ΔT_b ——水浴温度波动度, 单位: °C;

$T_{0\max}$ ——温度计某一校准点 3 次测量结果最大值, 单位: °C;

$T_{0\min}$ ——温度计某一校准点 3 次测量结果最小值, 单位: °C。

由于温度计与耐洗机彼此独立, 互不相关, 因此, 上水浴温度波动度的标准不确定度 $u_c(\Delta T_b)$ 可由式 (C.8.2) 计算:

$$u_c^2(\Delta T_b) = c^2(T_{0\max})u^2(T_{0\max}) + c^2(T_{0\min})u^2(T_{0\min}) \quad (\text{C.8.2})$$

灵敏系数: $c(T_{0\max})=1$, $c(T_{0\min})=-1$

因 $u(T_{0\max})=u(T_{0\min})=u(T_0)$

则 $u_c^2(\Delta T_b) = 2u^2(T_{0\max}) = 2u^2(T_{0\min}) = 2u^2(T_0) \quad (\text{C.8.3})$

C.8.3 输入量 T_0 标准不确定度评定

输入量 T_0 的标准不确定度 $u(T_0)$ 来源主要是测量重复性引起的标准不确定度 $u_1(T_0)$ 和温度计分辨力引入的标准不确定度 $u_2(T_0)$ 。

C.8.3.1 测量重复性引起的标准不确定度分项 $u_1(T_0)$ 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。

耐洗机温控器温度设定值为 50.0°C, 待水浴温度控制器使工作室的浴水温

度达到温度控制器设定值并恒温稳定后, 关停试验杯旋转支架, 用温度计直接测量工作室某一校准点水浴温度, 待温度计示值稳定后, 记录温度计读数, 每间隔 2min 重复测量 1 次, 在重复性条件下连续 10 次测量工作室水浴温度, 得到一测量列 (单位: $^{\circ}\text{C}$): 50.7、51.3、50.8、51.0、50.7、50.8、51.0、51.2、50.7、50.9。

则测量结果的实验标准偏差 s_0 为:

$$\text{平均值} \quad \overline{T_{0i}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} T_{0i}}{10} = 50.91^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 8. 4})$$

$$\text{标准差} \quad S_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (T_{0i} - \overline{T_0})^2}{10-1}} = 0.213^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 8. 5})$$

水浴温度测量重复性引起的标准不确定度:

$$u_1(T_0) = S_0 = 0.213^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 8. 6})$$

C. 8. 3. 2 温度计分辨力引起的标准不确定度分项 $u_2(T_0)$ 的评定

温度计分辨力为 $\delta_0 = 0.1^{\circ}\text{C}$, 则

$$u_2(T_0) = 0.29\delta_0 = 0.029^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 8. 7})$$

因 $u_2(T_0) = 0.029^{\circ}\text{C} < u_1(T_0) = 0.213^{\circ}\text{C}$, 重复性引入的不确定度分量 $u_1(T_0)$ 已包含分辨力的影响, 不应再考虑分辨力的影响。

C. 8. 3. 3 输入量 T_0 合成标准不确定度

$$u(T_0) = u_1(T_0) = 0.213^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 8. 8})$$

C. 8. 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. 8. 1 所示。

表 C. 8. 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 ($^{\circ}\text{C}$)	备注
1	测量重复性	$u_1(T_0)$	A	正态	1	0.213	
2	温度计分辨力	$u_2(T_0)$	B	均匀	1	-----	不考虑

C.8.5 合成标准不确定度来源计算

由式 (C.8.3) 得水浴温度波动度合成标准不确定度 $u_c(\Delta T_b)$:

$$u_c(\Delta T_b) = \sqrt{2u^2(T_0)} = \sqrt{2}u(T_0) = \sqrt{2} \times 0.213 = 0.30 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{C.8.9})$$

C.8.6 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c(\Delta T_b) = 2 \times 0.30 = 0.6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{C.8.10})$$

C.8.7 测量结果不确定度的报告与表示

耐洗机水浴温度波动度测量扩展不确定度为:

$$U = 0.6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad k = 2。$$
