



中华人民共和国纺织行业计量技术规范

JJF(纺织)059—202X

通风式纺织烘箱校准规范

Calibration Specification for Ventilated Textile Ovens

(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

通风式纺织烘箱校准规范

Calibration Specification for Ventilated
Textile Ovens

JJF（纺织）059—202X
代替 JJF（纺织）059—2010

归口单位：中国纺织工业联合会

起草单位：广州高铁计量检测股份有限公司

杭州市临平区质量计量监测中心

德州市纤维检验所

浙江土工仪器制造有限公司

喀什地区纤维检验所

常州市第一纺织设备有限公司

义乌市产品（商品）质量检验研究院

本规范委托纺织计量技术委员会负责解释

本规范起草人：

黄智文（广州高铁计量检测股份有限公司）

陈 铭（广州高铁计量检测股份有限公司）

赵永钢（杭州市临平区质量计量监测中心）

李镇浩（广州高铁计量检测股份有限公司）

于 杰（德州市纤维检验所）

陈志明（浙江土工仪器制造有限公司）

冯玉杰（喀什地区纤维检验所）

张 哲（常州市第一纺织设备有限公司）

朱斌超（义乌市产品（商品）质量检验研究院）

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.....	(1)
6 校准项目和校准方法.....	(2)
7 校准结果表达.....	(6)
8 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 通风式纺织烘箱校准记录参考格式.....	(7)
附录 B 通风式纺织烘箱校准证书内页参考格式.....	(10)
附录 C 通风式纺织烘箱测量不确定度评定示例.....	(11)

引 言

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》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列文件。

本规范参考了 GB/T 9995—1997《纺织材料含水率和回潮率的测定 烘箱干燥法》、FZ/T 98010—2011《通风式纺织烘箱》、JJF 1101—2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》等标准的相关技术内容。

本规范是对 JJF (纺织) 059—2010《通风式纺织烘箱校准规范》的修订。与 JJF (纺织) 059—2010《通风式纺织烘箱校准规范》相比,除结构调整和编辑性改动外,主要的技术变化如下:

- 增加“引言”;
- 删除了范围中“新制造、首次使用、使用中和修理后”的表述;
- 删除了 GB/T 9995—1997 引用文件,增加了 JJF 1071—2010 引用文件(见第 2 章);
- 删除了术语章节;
- 删除了温度示值误差的计量特性和校准方法;
- 更改了概述的表述(见第 3 章);
- 将原 2010 年版计量特性中属于目测检查项目调整为校准前准备检查项目(见 6.1);
- 更改了温度偏差、温度均匀度、温度波动度的计算公式;
- 更改了附录校准记录表格式和测量结果测量不确定度评定示例,增加校准证书内页参考格式(见附录 A、附录 B 和附录 C)。

本规范历次版本发布情况:

JJG (纺织) 070—1999;

JJF (纺织) 059—2006;

JJF (纺织) 059—2010。

通风式纺织烘箱校准规范

1 范围

本规范适用于强制热风对流式通风式纺织烘箱（以下简称“烘箱”）的校准。其他原理相同、结构类似的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

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

烘箱用于测定棉、毛、麻、丝、化纤、羽绒等纺织材料和纺织品含水率和回潮率。烘箱主要由加热恒温控制装置、离心风机系统、烘篮和称重装置等组成。工作原理：烘箱采用强制热风对流方式，强迫一定温度高温低湿热风通过烘篮内一定量试样，使试样中的水分蒸发，直至试样达到恒重，并通过称重装置称量试样烘干前质量与试样烘干后质量，计算出试样含水率和回潮率。

4 计量特性

- 4.1 各烘篮内气流速度： ≥ 0.8 m/s。
- 4.2 烘箱内外换气次数： ≥ 15 次/小时。
- 4.3 温度偏差： ± 2 °C。
- 4.4 温度均匀度： ≤ 2 °C。
- 4.5 温度波动度： ± 2 °C。
- 4.6 烘篮质量极差： ≤ 10 mg。

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：（5~40）℃。

5.1.2 湿度：≤85 %RH。

5.1.3 其他条件：校准环境应清洁，周围无腐蚀性介质，无强烈振动，无强烈气流，无阳光直射或其他热源直接辐射。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 1。

表 1 测量标准及其他设备

序号	测量标准名称	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	多通道数字测温仪	测量范围：（0~200）℃， 分辨力：0.01℃	MPE： $\pm (0.15^{\circ}\text{C} + 0.002 t)$	1
2	热式风速仪	测量范围：（0.15~5）m/s， 分辨力：0.01 m/s	MPE：±(5 %R+0.1 m/s) 其中 R 为示值读数	1
3	游标卡尺	测量范围：（0~150）mm， 分度值：0.02 mm	MPE：±0.03 mm	1
4	钢卷尺	测量范围：（0~2）m， 分度值：1 mm	I 级	1
5	电子天平	测量范围：（0~500）g， 分度值 $d=1$ mg	Ⅱ级	1
6	电子秒表	测量范围：（0~1）h， 分度值：0.01 s		1
注：校准用测量标准可选用本表所列，也可选用测量范围覆盖被校准量的测量范围，其测量结果扩展不确定度 $U(k=2)$ 不大于校准量最大允许误差绝对值 1/3 的测量标准。				

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烘箱结构外观及工作状态进行检查，确定没有影响计量特性因素后再进行校准。

6.1.1 烘箱应在适当部位装有铭牌。铭牌上须标明仪器名称、型号、制造厂、出厂编号和出厂日期等。

6.1.2 烘箱电源部分应安全可靠，应接地可靠。烘箱外观及功能完好正常。

6.1.3 烘箱门密封可靠，进气孔和排气孔启闭工作正常、灵活，当烘篮进行称重

时,能关断气流装置,避免空气扰动对称重装置示值稳定性的影响。

6.1.4 烘箱和烘篮内壁光滑,没有勾缠纤维现象。烘篮转盘旋转时无产生擦碰、无明显卡顿,无异常声响及振动等现象。

6.1.5 烘箱称重装置应依据现行的计量技术规范要求进行有效溯源,并在溯源有效期内。

6.1.6 升温时间:用电子秒表测量烘箱温度示值自 50℃升温至 105℃所需时间应 ≤ 25 min。

6.1.7 烘箱保温性能:将烘箱设定温度为 105.0℃,待烘箱内温度达到稳定状态后,记录标准器显示温度。关闭烘箱加热功能并确保风机停止运行,观察 5 min 后,标准器显示温度下降幅度应 ≤ 7 ℃。

6.1.8 超温保护:当烘箱试验温度超过超温保护温度 5℃时,烘箱应能自动停止加热,并有相关信号指示(如声光报警等),或切断烘箱主电源。

6.2 校准项目

烘箱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 烘箱校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	各烘篮内气流速度	4.1	6.3.1
2	烘箱内外换气次数	4.2	6.3.2
3	温度偏差	4.3	6.3.3
4	温度均匀度	4.4	6.3.4
5	温度波动度	4.5	6.3.5
6	烘篮质量极差	4.6	6.3.6
注:可根据被校准烘箱的功能和客户要求选择校准项目。			

6.3 校准方法

6.3.1 各烘篮内气流速度

各烘篮保持空载无试样状态。将热式风速仪探头分别固定在每个烘篮内中心距烘篮底部约 5cm 位置,探头风速传感器应对准烘篮内气流流动方向。关闭烘箱

门并启动烘箱风机系统后,分别测量各烘篮内气流速度,每个烘篮气流速度重复测量2次,2次测量结果的算术平均值为烘篮内气流速度。

6.3.2 烘箱内外换气次数

(1) 用钢卷尺测量烘箱工作室长度、宽度和高度,按公式(1)计算烘箱工作室容积 V 。

$$V = L \times B \times H \times 10^{-9} \quad (1)$$

式中:

V ——烘箱工件室内容积, m^3 ;

L ——烘箱工作室长度, mm ;

B ——烘箱工作室宽度, mm ;

H ——烘箱工作室高度, mm 。

(2) 用游标卡尺和钢卷尺分别测量烘箱各排气出风口尺寸,如排气出风口为圆形,用游标卡尺测量圆形排气出风口直径 d ,在直径垂直方向重复测量2次;如排气出风口为圆柱面上长槽孔,用游标卡尺测量长槽孔高度 b ,用钢卷尺测量长槽孔弧长 a (见图1),重复测量2次。分别计算烘箱各排气出风口面积 S_1 、 S_2 、…… S_n ,单位为 m^2 。

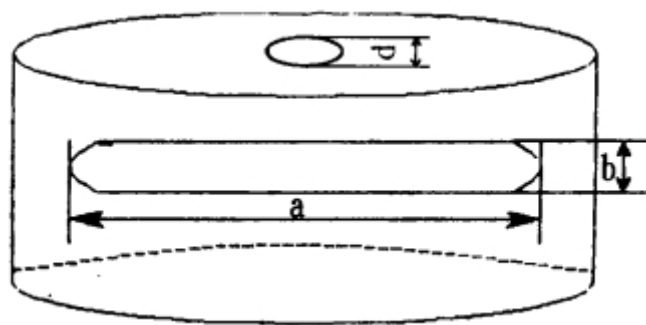


图1 烘箱排风口面积测量

(3) 烘箱工作室温度处于常温未加热状态。关闭烘箱门与称重孔,烘箱所有排气出风口完全打开,启动烘箱风机系统,待离心风机系统运行稳定后,用热式风速仪分别测量各排气出风口的气流速度:

a) 圆形排气出风口: 在圆孔横截面中心区域内用热式风速仪测量紧靠出风口处的气流风速并记录读数,重复测量3次,取3次测量气流速度的算术平均值,作为该圆孔的排气速度,单位为 m/s 。

b) 圆柱面上长槽孔气出风口: 在长槽孔面中心均匀选取左、中、右3个测量

点, 用热式风速仪分别测量各测量点紧靠出风口处的气流风速, 取 3 个测量点气流速度的算术平均值, 作为该长槽孔的排气速度, 单位为 m/s。

(4) 烘箱内外换气次数按公式 (2) 计算。

$$N = \frac{3600 \times \sum_{i=1}^n (S_i \cdot v_i)}{V} \quad (2)$$

式中:

N ——烘箱内外换气次数, 次/小时;

S_i ——烘箱第 i 个排气出风口面积, m^2 ;

v_i ——烘箱第 i 个排气出风口排气速度平均值, m/s;

n ——烘箱排气出风口数量, 个;

V ——烘箱工作室容积, m^3 。

6.3.3 温度偏差

温度校准点根据客户需要选择常用温度点 (如 77°C 、 105°C 、 110°C 、 140°C), 将多通道数字测温仪探头从称重孔进入烘箱内, 分别插入各烘篮内中央, 探头离烘篮底约 5 cm 处并固定。启动烘箱加热和风机系统, 当烘箱内温度达到稳定状态后开始记录各测量点温度, 记录时间间隔为 2 min, 30min 内共记录 16 组数据。按公式 (3) 计算烘箱各烘篮温度上偏差, 按公式 (4) 计算烘箱各烘篮温度下偏差。

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (3)$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s \quad (4)$$

式中:

$\Delta t_{\max}$ ——温度上偏差, $^\circ\text{C}$;

$\Delta t_{\min}$ ——温度下偏差, $^\circ\text{C}$;

$t_{\max}$ ——各测量点规定时间内测量的最高温度, $^\circ\text{C}$;

$t_{\min}$ ——各测量点规定时间内测量的最低温度, $^\circ\text{C}$;

t_s ——设备设定温度, $^\circ\text{C}$ 。

6.3.4 温度均匀度

按 6.3.3 步骤得到 16 组数据, 按公式 (5) 计算烘箱内温度均匀度。

$$\Delta t_u = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{i\max} - t_{i\min})}{n} \quad (5)$$

式中:

Δt_u ——温度均匀度, $^\circ\text{C}$;

t_{imax} ——各测量点在第 i 次测得的最高温度, °C;

t_{imin} ——各测量点在第 i 次测得的最低温度, °C;

n —— 测量次数, $n = 16$ 。

6.3.5 温度波动度

按 6.3.3 步骤得到 16 组数据, 按公式 (6) 计算烘箱内温度波动度。

$$\Delta t_f = \pm \max \left[\frac{t_{j\max} - t_{j\min}}{2} \right] \quad (6)$$

式中:

Δt_f —— 温度波动度, °C;

$t_{j\max}$ ——测量点 j 在 n 次测量中的最高温度, °C;

$t_{j\min}$ ——测量点 j 在 n 次测量中的最低温度, °C。

6.3.6 烘篮质量极差

从烘箱取出全部烘篮, 在烘篮冷态时, 将烘篮分别置于电子天平称盘上, 待电子天平示值稳定后读取其读数为烘篮质量实测值, 每个烘篮质量重复测量 2 次, 按公式 (7) 计算烘篮质量极差。

$$\Delta m = \frac{m_{\max} - m_{\min}}{1000} \quad (6)$$

式中:

Δm —— 烘篮质量极差, mg;

$m_{\max}$ —— 烘篮质量 2 次实测值平均值最大值, g;

$m_{\min}$ —— 烘篮质量 2 次实测值平均值最小值, g。

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。推荐的校准记录格式见附录 A。

7.2 校准证书

经校准的烘箱应出具校准证书, 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

通风式纺织烘箱校准记录格式

委托方: 设备编号: 原始记录号:
 型号规格: 产品编号: 出厂日期: 校准证书编号:
 制造厂: 环境温度: °C 环境湿度: %RH
 校准日期: 年 月 日 校准地点:
 校准员: 核验员:

校准依据: JJF（纺织）059—202X 通风式纺织烘箱校准规范

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:

称重装置溯源情况: ☐ 有效期内 ☐ 有效期外

二、计量特性校准:

1. 烘篮内气流速度 (各烘篮内气流速度: $\geq 0.8 \text{ m/s}$)

序号	气流速度实测值 (m/s)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
L_{01}								
L_{02}								
平均值								
$U (k=2)$								

2. 烘箱内外换气次数(换气次数: ≥ 15 次/时)

实测值						
烘箱工作室尺寸		长（mm）	宽（mm）	高（mm）		容积 V（m ³ ）
排气口	排气口尺寸 （mm）	排气口面积 （m ² ）	排气口气流速度(m/s)			
			1	2	3	平均值
1						
2						
3						
烘箱内外换气次数		$N = \frac{3600 \times \sum_{i=1}^n (S_i \cdot v_i)}{V}$			U（k=2）	

3. 烘箱温度性能(温度偏差: ± 2 °C, 温度均匀度: ≤ 2 °C, 温度波动度: ± 2 °C),
温度设定值: °C。

次数	温度实测值 (°C)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

13								
14								
15								
16								
温度上 偏差 (℃)								
温度下 偏差 (℃)								
温度均匀度 (℃)					温度波动度 (℃)			
U (k=2) (℃)		温度偏差：						

4. 烘篮质量极差 (各烘篮质量值极差: ≤ 10 mg)

序号	各烘篮质量实测值 (g)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2								
平均值								
各烘篮质量极差 (mg)		$\Delta m = \frac{m_{max} - m_{min}}{1000}$						

附录 B

通风式纺织烘箱校准证书内页格式

校 准 结 果

校准项目	技术要求	校准结果				测量结果扩展不确定度 $U(k=2)$
烘篮内气流速度	$\geq 0.8 \text{ m/s}$	1		5		
		2		6		
		3		7		
		4		8		
烘箱内外换气次数	$\geq 15 \text{ 次/小时}$					
温度上偏差	$\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1		5		
		2		6		
		3		7		
		4		8		
温度下偏差	$\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1		5		
		2		6		
		3		7		
		4		8		
温度均匀度	$\leq 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$					
温度波动度	$\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$					
各烘篮质量极差	$\leq 10 \text{ mg}$					/

以下空白

附录 C

通风式纺织烘箱测量不确定度评定示例

C.1 烘篮内气流速度测量不确定度的评定

C.1.1 被测对象

通风式纺织烘箱烘篮内气流速度 ≥ 0.8 m/s。

C.1.2 测量标准

热式风速仪，测量范围：（0.15~5）m/s，分辨力：0.01 m/s，最大允许误差： $\pm(5\%R+0.1\text{ m/s})$ （其中 R 为示值读数）。

C.1.3 校准方法

用热式风速仪直接测量烘篮口中心气流速度，重复测量 2 次，2 次测量结果的算术平均值为烘篮内气流速度。

C.1.4 测量模型

$$v = \overline{v_0} \quad (\text{C.1})$$

式中：

v ——烘篮内气流速度，m/s；

$\overline{v_0}$ ——热式风速仪 2 次测量结果算术平均值，m/s。

C.1.5 标准不确定度分量

不确定度来源：烘篮内气流速度测量重复性引入的标准不确定度分量，测量标准分辨力引入的标准不确定度分量，测量标准最大允许误差引入的标准不确定度分量。

C.1.5.1 烘篮内气流速度测量重复性引入的标准不确定度分量的评定

用热式风速仪直接测量烘篮口中心气流速度，重复测量 10 次，测量结果见表 C.1。

表 C.1 烘篮内气流速度重复测量结果

单位：m/s

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

1	1.87	1.55	1.88	1.62	2.11	1.92	2.30	2.22	1.78	1.65
2	1.86	1.54	1.82	1.58	2.01	1.90	2.28	2.17	1.82	1.64
平均值	1.87	1.55	1.85	1.60	2.06	1.91	2.29	2.20	1.80	1.65

气流速度标准偏差 s_2 为:

$$\text{平均值} \quad \overline{v_0} = \frac{\sum_{i=1}^{10} v_{0i}}{10} = 1.88 \text{ m/s} \quad (\text{C.2})$$

$$\text{标准偏差} \quad S_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (v_{0i} - \overline{v_0})^2}{10-1}} = 0.248 \text{ m/s} \quad (\text{C.3})$$

实际测量情况: 烘篮内气流速度在重复性条件下连续 2 次($m=2$), 以 2 次测量结果算术平均值为测量结果, 则气流速度测量重复性引入的标准不确定度分量:

$$u_1(v) = \frac{S_2}{\sqrt{m}} = \frac{0.248}{\sqrt{2}} = 0.175 \text{ m/s} \quad (\text{C.4})$$

C.1.5.2 热式风速计分辨力引入的标准不确定度分量评定

热式风速计示值分辨力为 0.01 m/s, 不确定度区间半宽为 $a_4=0.005$ m/s, 服从均匀分布, 则热式风速计分辨力引入的标准不确定度分量:

$$u_2(v_0) = \frac{a_4}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ m/s} \quad (\text{C.5})$$

根据以上测量重复性引入的标准不确定度分量与分辨力引入的标准不确定度分量的计算结果, 分辨力引入的标准不确定度分量小于测量重复性引入的标准不确定度分量, 故可忽略不计。

C.1.5.3 热式风速计最大允许误差引入的标准不确定度分量评定

热式风速计最大允许误差: $\pm(5\%R+0.1)$ m/s, 示值读数 $R = v_0=3.066$ m/s 测量点误差为: ± 0.253 m/s, 区间半宽 $a_5=0.253$ m/s, 服从均匀分布, 测量标准最大允许误差引入的标准不确定度分量:

$$u_3(v_0) = \frac{a_5}{k} = \frac{0.253}{\sqrt{3}} = 0.146 \text{ m/s} \quad (\text{C.6})$$

C.1.6 标准不确定度分量汇总

烘篮内气流速度标准不确定度分量汇总表见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度分量汇总表

单位: m/s

不确定度来源	标准不确定度分量符号	灵敏系数 C_i	标准不确定度 $u(x)$	$ C_i u(x)$	备注
烘篮内气流速度测量重复性	$u_1(v)$	1	0.175	0.175	
热式风速计分辨力	$u_2(v_0)$	1	0.0029	0.003	可忽略
热式风速计最大允许误差	$u_3(v_0)$	1	0.146	0.146	

C.1.7 合成标准不确定度计算

由于 $u_1(v)$ 、 $u_3(v_0)$ 互不相关，则烘篮内气流速度校准合成标准不确定度 $u_c(v)$ 按公式 (C.7) 计算得到：

$$\begin{aligned}
 u_c(v) &= \sqrt{u_1^2(v) + u_3^2(v_0)} \\
 &= \sqrt{0.175^2 + 0.146^2} \\
 &= 0.228 \text{ m/s}
 \end{aligned} \tag{C.7}$$

C.1.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$ ，烘篮内气流速度校准扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(v) = 2 \times 0.228 = 0.456 \approx 0.46 \text{ m/s} \tag{C.8}$$

C.2 通风式纺织烘箱换气次数测量不确定度的评定

C.2.1 被测对象

通风式纺织烘箱换气次数 ≥ 15 次/时。

C.2.2 测量标准

热式风速仪，测量范围：(0.15~5) m/s，分辨力：0.01 m/s，最大允许误差： $\pm(5\%R+0.1 \text{ m/s})$ (R 为示值读数)。

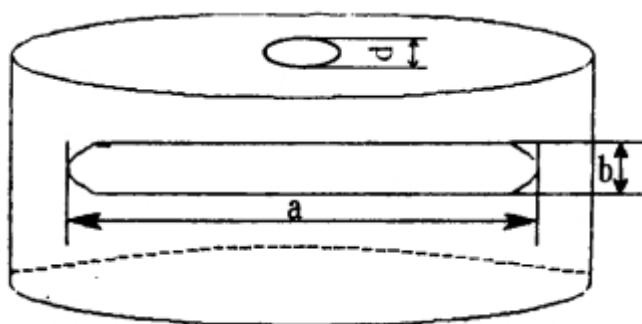
游标卡尺，测量范围：(0~150) mm，分辨力：0.02 mm，最大允许误差： $\pm 0.03 \text{ mm}$ 。

钢卷尺，测量范围：(0~2) m，分辨力：1 mm，最大允许误差： $\pm 0.2 \text{ mm}$ 。

C.2.3 校准方法

用钢卷尺测量烘箱工作室长、宽和高等尺寸，计算烘箱工作室容积 V ；用游标卡尺测量烘箱圆形排气出风口直径，在直径垂直方向重复测量 2 次，计算排气口面积 S ；用热式风速仪测量排气出风口的气流速度，重复测量 2 次；计算烘箱排气出风口每小时排出的气体总量与烘箱内体积之比为烘箱排气次数。

通风式纺织烘箱排气出风口包括圆柱顶部的圆孔和圆柱面上长槽孔（见下图），用游标卡尺测量顶部圆孔直径 d 和长槽孔高度 b ，用钢卷尺测量长槽孔弧长 a ，重复测量 2 次。排气出风口面积计算公式分别为顶部圆孔面积 $S_1 = \frac{\pi d^2}{4}$ ，长槽孔面积 $S_2 = a \times b$ 。



C.2.4 测量模型

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{3600 \times \sum_{i=1}^n (S_i \cdot v_i)}{V} \\
 &= \frac{3.6 \times 10^3 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \times 10^{-6} \cdot v_1 + a \cdot b \times 10^{-6} \cdot v_2 \right)}{L \cdot B \cdot H \times 10^{-9}} \\
 &= \frac{9.0 \times 10^5 \times \pi d^2 \times v_1 + 3.6 \times 10^6 \times a \times b \times v_2}{L \times B \times H} \\
 &= \frac{9.0 \pi \times 10^5 \times d^2 \times v_1}{L \cdot B \cdot H} + \frac{3.6 \times 10^6 \times a \times b \times v_2}{L \cdot B \cdot H} \quad (C.9)
 \end{aligned}$$

式中：

N ——烘箱内外换气次数，次/小时；

d ——烘箱排气出风口圆柱顶部圆孔直径实测值，mm；

a ——烘箱排气出风口圆柱面上长槽孔弧长实测值，mm；

b ——烘箱排气出风口圆柱面上长槽孔高实测值，mm；

v_1 ——烘箱排气出风口圆柱顶部圆孔气流速度实测值平均值，m/s；

v_2 ——烘箱排气出风口圆柱面上长槽孔气流速度实测值平均值，m/s；

L 、 B 、 H ——烘箱工作室长度、宽度、高度，mm；

π ——圆周率, $\pi=3.1416$ 。

由于换气次数的标准不确定度分量和输入量的标准不确定度分量彼此独立, 各不相关, 根据不确定度传播定律, 换气次数合成标准不确定度由下式 (C.10) 计算:

$$u_c^2(N) = c^2(d)u^2(d) + c^2(v_1)u^2(v_1) + c^2(a)u^2(b) + c^2(v_2)u^2(v_2) + c^2(L)u^2(L) + c^2(B)u^2(B) + c^2(H)u^2(H) \quad (\text{C.10})$$

由测量模型可得灵敏系数 (C.11) :

$$\begin{aligned} c(d) &= \frac{\partial N}{\partial d} = \frac{1.8\pi \times 10^6 \times d \times v_1}{L \times B \times H} \\ c(a) &= \frac{\partial N}{\partial a} = \frac{3.6 \times 10^6 \times b \times v_2}{L \times B \times H}, \quad c(b) = \frac{\partial N}{\partial b} = \frac{3.6 \times 10^6 \times a \times v_2}{L \times B \times H} \\ c(v_1) &= \frac{\partial N}{\partial v_1} = \frac{9.0\pi \times 10^5 \times d^2}{L \times B \times H}, \quad c(v_2) = \frac{\partial N}{\partial v_2} = \frac{3.6 \times 10^6 \times a \times b}{L \times B \times H} \\ c(L) &= \frac{\partial N}{\partial L} = -\frac{9.0 \times 10^5 \times \pi d^2 \times v_1 + 3.6 \times 10^6 \times a \times b \times v_2}{B \times H \times L^2} \\ c(B) &= \frac{\partial N}{\partial B} = -\frac{9.0 \times 10^5 \times \pi d^2 \times v_1 + 3.6 \times 10^6 \times a \times b \times v_2}{L \times H \times B^2} \\ c(H) &= \frac{\partial N}{\partial H} = -\frac{9.0 \times 10^5 \times \pi d^2 \times v_1 + 3.6 \times 10^6 \times a \times b \times v_2}{L \times B \times H^2} \end{aligned} \quad (\text{C.11})$$

C.2.5 标准不确定度分量

不确定度来源: 通风式纺织烘箱换气次数测量重复性引入的标准不确定度分量, 测量标准分辨力或分度值引入的标准不确定度分量, 测量标准最大允许误差引入的标准不确定度分量。

C.2.5.1 通风式纺织烘箱换气次数测量重复性引入的标准不确定度分量的评定按 C.2.3 校准方法, 重复测量 10 次, 测量结果见表 C.3 和表 C.4。

表 C.3 烘箱换气次数重复测量结果

长度 (直径、长度、宽度、高度) 单位: mm, 气流速度: m/s, 换气次数: 次/小时

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
工作室长度 L	640.5	640.5	640.0	640.5	640.5	640.5	640.0	640.0	640.5	640.5
工作室宽度 B	641.0	640.5	640.5	641.0	641.0	640.5	641.0	641.0	640.5	640.5
工作室高度 H	361.0	361.0	360.5	361.0	361.0	361.0	360.5	361.0	361.0	360.5
排气口圆孔 直径 d	20.54	20.52	20.56	20.50	20.50	20.56	20.54	20.48	20.52	20.54

排气口长槽孔弧长 a	81.0	81.0	80.5	81.0	81.0	81.0	80.5	81.0	81.0	81.0
排气口长槽孔高度 b	8.32	8.46	8.38	8.26	8.30	8.32	8.30	8.24	8.34	8.36
排气口圆孔气流速度 v_1	3.12	3.10	2.86	3.22	3.12	2.88	3.16	3.14	2.92	3.18
排气口长槽孔气流速度 v_2	2.64	2.58	2.52	2.60	2.64	2.66	2.58	2.64	2.60	2.64
换气次数 N	68.33	67.90	64.54	68.07	68.12	66.82	67.45	67.98	66.17	69.17

表 C.4 烘篮换气次数重复测量结果统计值

各分量	平均值	标准偏差	标准不确定度
工作室长度 L(mm)	640.35	0.242	0.139
工作室宽度 B(mm)	640.75	0.264	0.152
工作室高度(mm)	360.85	0.242	0.139
排气口圆孔直径 d(mm)	20.526	0.027	0.015
排气口长槽孔高度 b (mm)	8.328	0.063	0.036
排气口长槽孔弧长 a (mm)	80.90	0.211	0.122
排气口圆孔气流速度 v_1 (m/s)	3.07	0.132	0.076
排气口圆孔气流速度 v_2 (m/s)	2.61	0.043	0.024

换气次数标准偏差 s_3 为:

$$\text{平均值} \quad \bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^{10} N_i}{10} = 67.46 \quad \text{次/小时} \quad (\text{C.12})$$

$$\text{标准偏差} \quad s(N) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (N_i - \bar{N})^2}{10-1}} = 1.313 \quad \text{次/小时} \quad (\text{C.13})$$

换气次数测量重复性引入的标准不确定度分量:

$$u_1(N) = \frac{s(N)}{\sqrt{3}} = 0.758 \quad \text{次/小时} \quad (\text{C.14})$$

C.2.5.2 分辨力或分度值引入的标准不确定度分量

C.2.5.2.1 游标卡尺分度值引入的标准不确定度分量评定

游标卡尺分度值为 0.02 mm, 不确定度区间半宽为 $a_6=0.01$ mm, 服从均匀分布,

则游标卡尺分度值引入的标准不确定度分量:

$$u_2(d) = u_2(b) = \frac{a_6}{k} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ mm} \quad (\text{C.15})$$

C.2.5.2.2 钢卷尺分度值引入的标准不确定度分量评定

钢卷尺分度值为 1 mm, 按分度值的 1/2 进行估读, 不确定度区间半宽为 $a_7=0.25$ mm, 服从均匀分布, 则钢卷尺分度值引入的标准不确定度分量:

$$u_2(L) = \frac{a_7}{k} = \frac{0.25}{\sqrt{3}} = 0.144 \text{ mm} \quad (\text{C.16})$$

因烘箱工作室长度、宽度、高度、烘箱排气出风口圆柱面上长槽孔弧长均选用同一钢卷尺测量, 则:

$$u_2(b) = u_2(B) = u_2(H) = u_2(L) = 0.144 \text{ mm}$$

C.2.5.2.3 热式风速计分辨力引入的标准不确定度分量评定

热式风速计分辨力为 0.01 m/s, 引入的标准不确定度分量参照 C.1.5.2 公式(C.5) 评定。

$$u_2(v_1) = u_2(v_2) = \frac{a_4}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ m/s}$$

根据以上分辨力或分度值引入的标准不确定度分量与测量重复性引入的标准不确定度分量的计算结果, 游标卡尺、钢卷尺分度值和热式风速计分辨力引入的标准不确定度分量小于测量重复性引入的标准不确定度分量, 故可忽略不计。

C.2.5.3 测量标准最大允许误差引入的标准不确定度分量

C.2.5.3.1 游标卡尺最大允许误差引入的标准不确定度分量评定

游标卡尺最大允许误差: ± 0.03 mm, 区间半宽 $a_8=0.03$ mm, 服从均匀分布, 游标卡尺最大允许误差引入的标准不确定度分量:

$$u_3(d) = u_3(b) = \frac{a_8}{k} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.017 \text{ mm} \quad (\text{C.17})$$

C.2.5.3.2 钢卷尺最大允许误差引入的标准不确定度分量评定

钢卷尺最大允许误差: ± 0.2 mm, 区间半宽 $a_9=0.2$ mm, 服从均匀分布, 钢卷尺最大允许误差引入的标准不确定度分量:

$$u_3(L) = \frac{a_9}{k} = \frac{0.20}{\sqrt{3}} = 0.115 \text{ mm} \quad (\text{C.18})$$

因烘箱工作室长度、宽度、高度和烘箱排气出风口圆柱面上长槽孔弧长均选用同一钢卷尺测量, 则:

$$u_3(b) = u_3(B) = u_3(H) = u_3(L) = 0.115 \text{ mm}$$

C.2.5.3.3 热式风速计最大允许误差引入的标准不确定度分量评定

热式风速计最大允许误差： $\pm(5\%R+0.1)$ m/s, $R = v_1 = 3.07$ m/s, 对应 v_1 测量点最大允许误差： ± 0.254 m/s, 其区间半宽 $a_{10}=0.254$ m/s。 $R = v_2=2.61$ m/s, 对应 v_2 测量点最大允许误差： ± 0.231 m/s, 其区间半宽 $a_{11}=0.231$ m/s。服从均匀分布, 测量标准最大允许误差引入的标准不确定度分量:

$$\begin{aligned} u_3(v_1) &= \frac{a_{10}}{k} = \frac{0.254}{\sqrt{3}} = 0.147 \text{ m/s} \\ u_3(v_2) &= \frac{a_{11}}{k} = \frac{0.231}{\sqrt{3}} = 0.133 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (\text{C.19})$$

C.2.6 标准不确定度分量汇总

通风式纺织烘箱换气次数标准不确定度分量汇总表见表 C.5。

表 C.5 标准不确定度分量汇总表

长度（直径、长度、宽度、高度）单位：mm，气流速度：m/s，换气次数：次/小时

不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏系数 $ c_i $	$ c_i \times u_i$ (次/时)	备注
烘箱换气次数 测量重复性	$u_1(N) = 0.758$ 次/小时	1	0.758	
游标卡尺误差	$u_3(d) = 0.017$ mm	$ c(d) = 2.407$	0.041	
游标卡尺误差	$u_3(b) = 0.017$ mm	$ c(b) = 5.134$	0.087	
钢卷尺误差	$u_3(a) = 0.115$ mm	$ c(a) = 0.529$	0.061	
钢卷尺误差	$u_3(L) = 0.115$ mm	$ c(L) = 0.105$	0.012	
钢卷尺误差	$u_3(B) = 0.115$ mm	$ c(B) = 0.105$	0.012	
钢卷尺误差	$u_3(H) = 0.115$ mm	$ c(H) = 0.187$	0.022	
热式风速仪最大 允许误差	$u_3(v_1) = 0.147$ m/s	$ c(v_1) = 8.046$	1.183	
热式风速仪最大 允许误差	$u_3(v_2) = 0.133$ m/s	$ c(v_2) = 16.382$	2.179	
游标卡尺分度 值	$u_3(d) = 0.006$ mm	$ c(d) = 2.407$	0.014	可忽略
游标卡尺分度 值	$u_3(b) = 0.006$ mm	$ c(b) = 5.134$	0.031	可忽略
钢卷尺分度值	$u_3(a) = 0.144$ mm	$ c(a) = 0.529$	0.076	可忽略

钢卷尺分度值	$u_3(L) = 0.144 \text{ mm}$	$ c(L) = 0.105$	0.015	可忽略
钢卷尺分度值	$u_3(B) = 0.144 \text{ mm}$	$ c(B) = 0.105$	0.015	可忽略
钢卷尺分度值	$u_3(H) = 0.144 \text{ mm}$	$ c(H) = 0.187$	0.027	可忽略
热式风速计分辨力	$u_2(v_1) = 0.003 \text{ m/s}$	$ c(v_1) = 8.046$	0.024	可忽略
热式风速计分辨力	$u_2(v_2) = 0.003 \text{ m/s}$	$ c(v_2) = 16.382$	0.049	可忽略

C.2.7 合成标准不确定度计算

由于 $u_1(N)$ 、 $u(L)$ 、 $u(B)$ 、 $u(H)$ 、 $u(d)$ 、 $u(a)$ 、 $u(b)$ 、 $u(v)$ 互不相关，则烘箱换气次数校准合成相对标准不确定度 $u_c(N)$ 按公式 (C.19) 计算得到：

$$\begin{aligned}
 u_c(N) &= \sqrt{u_1^2(N) + c^2(d)u_2^2(d) + c^2(v_1)u_2^2(v_1) + c^2(a)u_2^2(b) +} \\
 &\quad \sqrt{+ c^2(v_2)u_2^2(v_2) + c^2(L)u_2^2(L) + c^2(B)u_2^2(B) + c^2(H)u_2^2(H)} \\
 &= \sqrt{0.758^2 + 2.407^2 \times 0.017^2 + 5.134^2 \times 0.017^2 + 0.529^2 \times 0.115^2 + 0.105^2 \times 0.115^2 +} \\
 &\quad \sqrt{+ 0.105^2 \times 0.115^2 + 0.187^2 \times 0.115^2 + 8.046^2 \times 0.147^2 + 16.382^2 \times 0.133^2} \\
 &= 2.595 \text{ 次/时}
 \end{aligned}$$

C.2.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$ ，烘箱换气次数校准扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(N) = 2 \times 2.595 = 5.191 \text{ 次/时} \approx 6 \text{ 次/时} \quad (\text{C.20})$$

C.3 通风式纺织烘箱温度偏差测量不确定度的评定

C.3.1 被测对象

通风式纺织烘箱温度设定值 $105.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ，分辨力为 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ，温度偏差： $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

C.3.2 测量标准

测量标准：多路数字测温仪，温度显示分辨力 $0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ ，MPE: $\pm (0.15^\circ\text{C} + 0.002|t|)$ 。

C.3.3 校准方法

将多通道数字测温仪 8 组探头从称重孔进入烘箱内，分别插入各烘篮内中央，

探头离烘篮底约 5 cm 处并固定。温度设定值为 105 °C，当烘箱内温度达到稳定状态后，每间隔 2 min，记录各温度探头的读数为一组数据，记录约 30 min 内共 16 组温度实测值。

C.3.4 测量模型

温度偏差公式：

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (\text{C.21})$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s \quad (\text{C.22})$$

式中：

$\Delta t_{\max}$ ——温度上偏差，°C；

$\Delta t_{\min}$ ——温度下偏差，°C；

$t_{\max}$ ——各测量点规定时间内测量的最高温度，°C；

$t_{\min}$ ——各测量点规定时间内测量的最低温度，°C；

t_s ——设备设定温度，°C。

由于烘箱温度上偏差与烘箱温度下偏差不确定度来源和数值相同，因此，仅以烘箱内 1 号烘篮温度上偏差为例进行不确定度分析。

C.3.5 标准不确定度分量

不确定度来源：烘箱内 1 号烘篮温度上偏差测量重复性引入的标准不确定度分量，测量标准温度分辨力引入的标准不确定度分量，测量标准温度误差引入的标准不确定度分量，测量标准温度稳定性引入的标准不确定度分量。

C.3.5.1 烘箱内 1 号烘篮温度上偏差测量重复性引入的标准不确定度分量的评定

在 105 °C 校准点，烘箱内 1 号烘篮温度上偏差按 C.3.3 校准方法重复测量 10 次，测量结果见表 C.6。

表 C.6 烘箱温度上偏差重复测量结果

单位：°C

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度设定值	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0
标准实测值最大值	106.25	106.36	106.44	106.42	106.22	106.13	106.11	106.56	106.24	106.38
温度上偏差	1.25	1.36	1.44	1.42	1.22	1.13	1.11	1.56	1.24	1.38

温度上偏差标准偏差 s_1 为:

$$\text{平均值 } \overline{\Delta t_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_{\max i}}{10} = 1.311 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.23})$$

$$\text{标准偏差 } s_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta t_{\max i} - \overline{\Delta t_{\max}})^2}{10-1}} = 0.144 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.24})$$

烘箱 1 号烘篮温度上偏差测量重复性引入的标准不确定度分量

$$u_1(\Delta t_{\max}) = 0.144 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

C.3.5.2 测量标准温度分辨力引入的标准不确定度分量评定

测量标准多通道数字测温仪温度分辨力为 $0.01 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 不确定度区间半宽为 $a_{12} = 0.005 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 服从均匀分布, 则分辨力引入的标准不确定度分量:

$$u_2(t_0) = \frac{a_{12}}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.25})$$

根据以上测量重复性引入的标准不确定度分量与分辨力引入的标准不确定度分量的计算结果, 分辨力引入的标准不确定度分量远远小于测量重复性引入的标准不确定度分量, 故可忽略不计。

C.3.5.3 测量标准温度误差引入的标准不确定度分量评定

多通道数字测温仪在 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度误差 $\pm (0.15 + 0.002|t|) \text{ }^{\circ}\text{C} = \pm 0.35 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 区间半宽 $a_{13} = 0.35 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 服从均匀分布, 则测量标准温度误差引入的标准不确定度分量:

$$u_3(t_0) = \frac{a_{13}}{k} = \frac{0.35}{\sqrt{3}} = 0.202 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.26})$$

C.3.5.4 测量标准温度稳定性引入的标准不确定度分量评定

测量标准多通道数字测温仪在 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 测量点相邻两个周期温度修正值的最大变化为 $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 即 $a_{14} = 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 按均匀分布考虑, 则由测量标准温度稳定性引入的标准不确定度分量:

$$u_4(t_0) = \frac{a_{14}}{k} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.27})$$

C.3.6 标准不确定度分量汇总

烘箱温度上偏差标准不确定度分量汇总表见表 C.7。

表 C.7 标准不确定度分量汇总表

单位: $^{\circ}\text{C}$

不确定度来源	标准不确定度分量符号	灵敏系数 C_i	标准不确定度 $u(x)$	$ C_i u(x)$	备注
温度上偏差测量重复性	$u_1(\Delta t_{\max})$	1	0.144	0.144	
测量标准温度分辨力	$u_2(t_0)$	1	0.003	0.003	可忽略
测量标准温度误差	$u_3(t_0)$	1	0.202	0.202	
测量标准温度稳定性	$u_4(t_0)$	1	0.058	0.058	

C.3.7 合成标准不确定度计算

由于 $u_1(\Delta t_{\max})$ 、 $u_2(t_0)$ 、 $u_3(t_0)$ 、 $u_4(t_0)$ 互不相关, 则 1 号烘篮温度上偏差校准合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_{\max})$ 按公式 (C.28) 计算得到:

$$\begin{aligned}
 u_c(\Delta t_{\max}) &= \sqrt{u_1^2(\Delta t_{\max}) + u_3^2(t_0) + u_4^2(t_0)} \\
 &= \sqrt{0.144^2 + 0.202^2 + 0.058^2} \\
 &= 0.255 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}
 \tag{C.28}$$

C.3.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$, 烘箱 1 号烘篮温度上偏差校准扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c(\Delta t_{\max}) = 0.510 \text{ } ^\circ\text{C} \approx 0.6 \text{ } ^\circ\text{C} \tag{C.29}$$