



中华人民共和国纺织行业计量技术规范

JJF(纺织)XXX—202X

蓬松类非织造布厚度仪 (厚度 20 mm 及以下) 校准规范

Calibration Specification for Bulky Nonwovens Thickness Testers

(Thickness of 20 mm and Below)

(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

蓬松类非织造布厚度仪
（厚度20 mm及以下）校准规范
Calibration Specification for Bulky
Nonwovens Thickness Testers (Thickness
of 20 mm and Below)

JJF（纺织） XXX—202X

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

广州检验检测认证集团有限公司

江苏省纺织产品质量监督检验研究院

聊城市检验检测中心

浙江省质量科学研究院

本规范委托纺织计量技术委员会负责解释

本规范起草人：

陈宛珍（广州高铁计量检测股份有限公司）
李进明（广州检验检测认证集团有限公司）
孙俊华（江苏省纺织产品质量监督检验研究院）
李镇浩（广州高铁计量检测股份有限公司）
张爱民（聊城市检验检测中心）
宫家宁（浙江省质量科学研究院）

目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(2)
5 校准条件.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(3)
7 校准结果表达.....	(5)
8 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 蓬松类非织造布厚度仪（厚度 20 mm 及以下）校准记录参考格式..	(6)
附录 B 蓬松类非织造布厚度仪（厚度 20 mm 及以下）校准证书内页参考格式	(8)
附录 C 蓬松类非织造布厚度仪（厚度 20 mm 及以下）测量不确定度评定示例	(9)

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 24218.2—2009《纺织品 非织造布试验方法 第2部分：厚度的测定》、GB/T 3820—1997《纺织品和纺织制品厚度的测定》等标准的相关技术内容。

本规范为首次发布。

蓬松类非织造布厚度仪（厚度 20 mm 及以下）校准规范

1 范围

本规范适用于蓬松类非织造布厚度仪（厚度 20 mm 及以下）（以下简称“厚度仪”）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

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

厚度仪用于测量在一定压力下蓬松类非织造布厚度（厚度不大于 20 mm）。厚度仪主要由基准板、压脚、压力平衡装置、压力重锤、厚度测量装置和试样悬挂支架等组成（见图 1）。工作原理：试样悬挂在基准板和压脚之间，经一定面积基准板对试样施加一定压力和一定时间后，测量压脚与基准板之间的水平距离（即试样厚度值）。

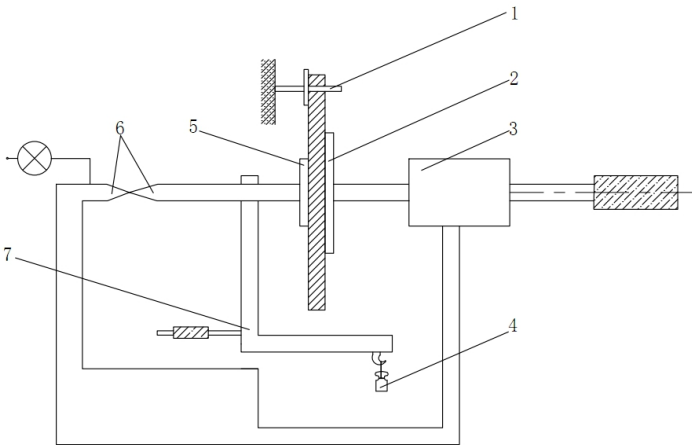


图 1 厚度仪示意图

1——试样悬挂支架；2——压脚；3——厚度测量装置；
4——压力重锤；5——基准板；6——接触点；7——压力平衡装置

4 计量特性

4.1 工作面积：基准板面积为 $(1000 \pm 10) \text{ mm}^2$ ，压脚面积为 $(2500 \pm 25) \text{ mm}^2$ 。

4.2 压力重锤质量： $(2.05 \pm 0.05) \text{ g}$ 。

4.3 压重时间： $(10 \pm 2) \text{ s}$ 。

4.4 厚度示值最大允许误差： $\pm 0.06 \text{ mm}$ 。

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： $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$ 。

5.1.2 湿度： $\leq 85 \% \text{RH}$ 。

5.1.3 校准前，厚度仪和测量标准及其他设备等温平衡时间不少于 2 h。

5.1.4 其他条件：厚度仪应水平放置在稳固工作台上，校准环境应清洁，周围无腐蚀性介质，无明显强烈振动，无强烈气流。

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	量块	测量范围： $(1 \sim 20) \text{ mm}$	5 等 3 级	1
2	游标卡尺	测量范围： $(0 \sim 150) \text{ mm}$ ， 分度值： 0.02 mm	$\pm 0.03 \text{ mm}$	1
3	电子秒表	测量范围： $(0.1 \sim 3600) \text{ s}$ ， 分辨力： 0.01 s	$\pm 0.10 \text{ s/h}$	1
4	电子天平	测量范围： $(0.2 \sim 50) \text{ g}$ ， 分度值： 0.001 g	Ⅱ 级	1
5	塞尺	0.03 mm	$\pm 0.005 \text{ mm}$	1
6	砝码	50 mg	M_1 等级	1
7	升降工作台	/	/	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厚度仪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 厚度仪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 厚度仪基准板和压脚工作面应平整光滑，不应有影响使用的碰伤、缺损、锈蚀或其他缺陷。

6.1.3 压力平衡装置两个等长的杆臂检查：用绘图直角尺检查压力平衡装置两杆臂应处于垂直直角状态。用游标卡尺分别测量两杆臂有效长度（杆臂有效长度是指杆臂支点中心到力点中心直线距离），两杆臂有效长度实测值之差应不大于 0.10 mm。

6.1.4 压力平衡装置检查：压力平衡装置配有两个等长杆臂与基准板相连。取下压力重锤，调整杆臂平衡装置使杆臂随遇平衡。

6.1.4.1 手动式：随遇平衡时，接触点闭合，指示灯发亮。在原压力重锤处轻放 50 mg 砝码时，随遇平衡状态应被打破，接触点分离，指示灯应熄灭。

6.1.4.2 自动式：放置压力重锤，启动厚度仪，使压脚向基准板进给移动，当两者相接触达到规定压力时，压脚应自动停止进给，厚度示值应为零，且基准板与水平面呈垂直状态。

6.1.5 压脚与基准板平行度检查：当厚度仪压脚接触基准板时，用塞尺检查压脚与基准板之间周围间隙，其间隙应 ≤ 0.03 mm。

6.1.6 厚度指示器

6.1.6.1 显示数字不应有缺划和小数点缺失现象。

6.1.6.2 显示有效位数的数值不能有跳动和漂移现象，清零按钮功能有效。用量块置于厚度仪压脚与基准板之间，施加压力重锤，观察厚度显示值在 15 min 内的漂移应不大于其分辨力。

6.2 校准项目

厚度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 厚度仪校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	工作面积	4.1	6.3.1
2	压力重锤质量	4.2	6.3.2
3	压重时间	4.3	6.3.3
4	厚度示值误差	4.4	6.3.4

6.3 校准方法

6.3.1 工作面积

厚度仪工作面积由基准板面积和压脚面积组成。在基准板工作面和压脚工作面相互垂直的直径方向上，各选取 2 个校准点，使用游标卡尺分别测量每个校准点的直径，每个校准点测量 1 次。其中，基准板面积按公式（1）计算，压脚面积按公式（2）计算。

$$S_1 = \pi \cdot \left(\frac{\overline{D_1}}{2} \right)^2 \quad (1)$$

$$S_2 = \pi \cdot \left(\frac{\overline{D_2}}{2} \right)^2 \quad (2)$$

式中：

S_1 ——基准板面积， mm^2 ；

S_2 ——压脚面积， mm^2 ；

$\overline{D_1}$ ——基准板直径 2 次测量结果算术平均值， mm ；

$\overline{D_2}$ ——压脚直径 2 次测量结果算术平均值， mm 。

6.3.2 压力重锤质量

从厚度仪取下压力重锤，将压力重锤在电子天平上称量其质量，重复测量 2 次，2 次测量结果算术平均值为压力重锤质量。

6.3.3 压重时间

厚度仪设置压重时间为“10 s”，启动厚度仪，运行时间开始计时的同时启

动秒表。当厚度仪读数指示灯亮时或厚度仪运行时间停止计时，按停秒表，记录秒表读数。重复测量 2 次，2 次测量结果算术平均值为压重时间。

6.3.4 厚度示值误差

在 (0~10) mm 测量范围内，按 2 mm 间隔设定校准点；在 (10~20) mm 测量范围内，按 5 mm 间隔设定校准点。加载压力重锤，在压脚与基准板下方放置高度可调的升降工作台，将量块垂直置于该平台上，且使量块处于压脚与基准板之间。启动厚度仪（手动式厚度仪需人工转动压脚进给螺旋），压脚向基准板方向移动并压紧量块；当量块承受压力达到规定值时，压脚自动停止进给（手动式厚度仪指示灯亮时须立即停止转动）。读取厚度测量装置示值，对同一量块重复测量 2 次，按公式（3）计算厚度示值误差。

$$\Delta L = \overline{L_0} - L_s \quad (3)$$

式中：

ΔL ——厚度示值误差，mm；

$\overline{L_0}$ ——厚度仪 2 次测量示值平均值，mm；

L_s ——量块标称值，mm。

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

经校准的厚度仪应出具校准证书，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

蓬松类非织造布厚度仪（厚度 20 mm 及以下）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：℃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）XXX—202X 蓬松类非织造布厚度仪（厚度 20 mm 及以下）

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	实测值				
1	基准板面积	$(1000 \pm 10) \text{ mm}^2$	直径 1 (mm)	直径 2 (mm)	平均 (mm)	面积 (mm ²)	$U(k=2)$ (mm ²)
2	压脚面积	$(2500 \pm 25) \text{ mm}^2$	直径 1 (mm)	直径 2 (mm)	平均 (mm)	面积 (mm ²)	$U(k=2)$ (mm ²)
3	压力重锤质量	$(2.05 \pm 0.05) \text{ g}$	1 (g)	2 (g)	平均 (g)	$U(k=2)$ (g)	
4	压重时间	$(10 \pm 2) \text{ s}$	1 (s)	2 (s)	平均 (s)	$U(k=2)$ (s)	

5	厚度示值 误差	分辨力： _____mm MPE： ±0.06 mm	校准点 (mm)	1 (mm)	2 (mm)	平均 (mm)	误差 (mm)	$U(k=2)$ (mm)
			2					
			4					
			6					
			8					
			10					
			15					
			20					
备注								

附录 B

蓬松类非织造布厚度仪（厚度 20 mm 及以下）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 $U(k=2)$
基准板面积	$(1000 \pm 10) \text{ mm}^2$			
压脚面积	$(2500 \pm 25) \text{ mm}^2$			
压力重锤质量	$(2.05 \pm 0.05) \text{ g}$			
压重时间	$(10 \pm 2) \text{ s}$			
厚度示值误差	$\pm 0.06 \text{ mm}$	2 mm		
		4 mm		
		6 mm		
		8 mm		
		10 mm		
		15 mm		
		20 mm		

以下空白

附录 C

蓬松类非织造布厚度仪（厚度 20 mm 及以下）

测量不确定度评定示例

C.1 基准板面积测量不确定度的评定

C.1.1 被测对象

蓬松类非织造布厚度仪（厚度 20 mm 及以下）基准板面积为 $(1000 \pm 10) \text{ mm}^2$ 。

C.1.2 测量标准

游标卡尺，测量范围为 $(0 \sim 150) \text{ mm}$ ，分度值为 0.02 mm ，最大允许误差为 $\pm 0.03 \text{ mm}$ 。

C.1.3 校准方法

在基准板工作面相互垂直的直径方向选取 2 个校准点，使用游标卡尺分别测量 2 个校准点的直径，每个校准点测量 1 次。用圆形面积公式计算基准板面积。

C.1.4 测量模型

$$S = \pi \cdot \left(\frac{\overline{D_0}}{2} \right)^2 \quad (\text{C.1})$$

式中：

S ——基准板面积， mm^2 ；

$\overline{D_0}$ ——游标卡尺 2 次测量结果算术平均值， mm 。

由于游标卡尺与基准板彼此独立，互不相关，基准板面积合成标准不确定度可由式（C.2）计算：

$$u_c(S) = c(\overline{D_0})u(\overline{D_0}) \quad (\text{C.2})$$

$$\text{灵敏系数：} c(\overline{D_0}) = \frac{\partial S}{\partial \overline{D_0}} = \frac{\pi \cdot \overline{D_0}}{2} \quad (\text{C.3})$$

C.1.5 标准不确定度分量

不确定度来源：基准板面积测量重复性引入的标准不确定度分量，游标卡尺分度值引入的标准不确定度分量，游标卡尺最大允许误差引入标准不确定度分量。

C.1.5.1 基准板面积测量重复性引入的标准不确定度分量的评定

采用 C.1.3 校准方法测量基准板面积，重复测量 10 次，测量结果见表 C.1。

表 C.1 基准板面积重复测量结果

测量次数		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
直径实测值 (mm)	1	35.84	35.80	35.82	35.84	35.84	35.84	35.82	35.82	35.80	35.86
	2	35.78	35.76	35.76	35.74	35.72	35.72	35.74	35.76	35.78	35.72
	平均	35.81	35.78	35.78	35.79	35.79	35.78	35.79	35.79	35.79	35.79
面积(mm ²)		1006.65	1004.96	1004.96	1005.53	1005.53	1004.96	1005.53	1005.53	1005.53	1005.53

基准板面积平均值 $\bar{S}$ 和标准偏差 s_1 为：

$$\text{平均值} \quad \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^{10} S_i}{10} = 1005.47 \text{ mm}^2 \quad (\text{C.4})$$

$$\text{标准偏差} \quad s_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (S_i - \bar{S})^2}{10-1}} = 0.492 \text{ mm}^2 \quad (\text{C.5})$$

实际测量情况：基准板面积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，则基准板面积测量重复性引入的标准不确定度分量：

$$u_1(S) = \frac{s_1}{\sqrt{m}} = \frac{0.492}{\sqrt{2}} = 0.348 \text{ mm}^2 \quad (\text{C.6})$$

C.1.5.2 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 $a_1=0.01$ 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：

$$u_2(\bar{D}_0) = \frac{a_1}{k} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ mm} \quad (\text{C.7})$$

游标卡尺测量基准板工作面直径测量重复性引入的标准不确定度分量为 0.015 mm，游标卡尺分度值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，故游标卡尺分度值引入的标准不确定度分量可忽略不计。

C.1.5.3 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为 ± 0.03 mm，区间半宽 $a_2=0.03$ 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：

$$u_3(\bar{D}_0) = \frac{a_2}{k} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.017 \text{ mm} \quad (\text{C.8})$$

C.1.6 标准不确定度分量汇总

基准板面积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

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
基准板面积测量重复性	$u_1(S)$	1	0.348 mm ²	0.348 mm ²	
游标卡尺分度值	$u_2(\overline{D_0})$	56.19 mm	0.006 mm	0.337 mm ²	可忽略
游标卡尺最大允许误差	$u_3(\overline{D_0})$	56.19 mm	0.017 mm	0.955 mm ²	

注：灵敏系数： $c(\overline{D_0}) = \frac{\pi \cdot \overline{D_0}}{2} = \frac{3.14 \times 35.79}{2} = 56.19 \text{ mm}$

C.1.7 合成标准不确定度计算

由于 $u_1(S)$ 、 $u_3(\overline{D_0})$ 互不相关，则基准板面积校准合成标准不确定度：

$$\begin{aligned}
 u_c(S) &= \sqrt{u_1^2(S) + [c(\overline{D_0})u_3(\overline{D_0})]^2} \\
 &= \sqrt{0.348^2 + 0.955^2} \\
 &= 1.016 \text{ mm}^2
 \end{aligned} \tag{C.9}$$

C.1.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$ ，基准板面积校准扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(S) = 2 \times 1.016 = 2.033 \text{ mm}^2 \approx 2.1 \text{ mm}^2 \tag{C.10}$$

C.2 压力重锤质量测量不确定度的评定

C.2.1 被测对象

压力重锤质量：(2.05 ± 0.05) g。

C.2.2 测量标准

电子天平，测量范围为 (0.2 ~ 330) g，分度值为 0.001 g，准确度等级为 ②，在 (0.02 ~ 50) g 范围内最大允许误差为 ±0.005 g。

C.2.3 校准方法

用电子天平直接称量压力重锤，重复测量 2 次，2 次测量结果的算术平均值为

压力重锤质量。

C.2.4 测量模型

$$M = \overline{M_0} \quad (\text{C.11})$$

式中：

M —— 压力重锤质量，g；

$\overline{M_0}$ —— 电子天平 2 次测量结果算术平均值，g。

由于电子天平与压力重锤彼此独立，互不相关，因此，压力重锤质量测量结果的标准不确定度 $u_c(M)$ 可由式 (C.12) 计算：

$$u_c^2(M) = c^2(\overline{M_0})u^2(\overline{M_0}) \quad (\text{C.12})$$

$$\text{灵敏系数： } c(\overline{M_0}) = \frac{\partial M}{\partial \overline{M_0}} = 1$$

$$\text{则： } u_c(M) = u(\overline{M_0}) \quad (\text{C.13})$$

C.2.5 标准不确定度分量

不确定度来源：压力重锤质量测量重复性引入的标准不确定度分量，电子天平分度值引入的标准不确定度分量，电子天平最大允许误差引入的标准不确定度分量。

C.2.5.1 压力重锤质量测量重复性引入的标准不确定度分量的评定

用电子天平直接称量压力重锤质量，重复测量 10 次，测量结果见表 C.3。

表 C.3 压力重锤质量重复测量结果

单位：g

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
重锤质量	2.044	2.045	2.045	2.045	2.046	2.045	2.044	2.045	2.045	2.045

压力重锤质量平均值 $\overline{M}$ 和标准偏差 s_2 为：

$$\text{平均值 } \overline{M_0} = \frac{\sum_{i=1}^{10} M_{0i}}{10} = 2.045 \text{ g} \quad (\text{C.14})$$

$$\text{标准偏差 } s_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (M_{0i} - \overline{M_0})^2}{10-1}} = 0.0006 \text{ g} \quad (\text{C.15})$$

实际测量情况：压力重锤质量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，则压力重锤质量测量重复性引入标准不确定度分量：

$$u_1(\overline{M_0}) = \frac{S_2}{\sqrt{m}} = \frac{0.0006}{\sqrt{2}} = 0.0004 \text{ g} \quad (\text{C.16})$$

C.2.5.2 电子天平分度值引入的标准不确定度分量评定

电子天平分度值为 0.001 g，不确定度区间半宽为 $a_3=0.0005 \text{ g}$ ，服从均匀分布，则电子天平分度值引入的标准不确定度分量：

$$u_2(\overline{M_0}) = \frac{a_3}{k} = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} = 0.0003 \text{ g} \quad (\text{C.17})$$

根据以上测量重复性引入的标准不确定度分量与电子天平分度值引入的标准不确定度分量的计算结果，电子天平分度值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，故电子天平分度值引入的标准不确定度分量可忽略不计。

C.2.5.3 电子天平最大允许误差引入的标准不确定度分量评定

电子天平在压力重锤质量 2.05 g 处的最大允许误差为 $\pm 0.005 \text{ g}$ ，区间半宽 $a_4=0.005 \text{ g}$ ，服从均匀分布，电子天平最大允许误差引入的标准不确定度分量：

$$u_3(\overline{M_0}) = \frac{a_4}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ g} \quad (\text{C.18})$$

C.2.6 标准不确定度分量汇总

压力重锤质量标准不确定度分量汇总表见表 C.4。

表 C.4 标准不确定度分量汇总表

单位：g

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
压力重锤质量测量重复性	$u_1(\overline{M_0})$	1	0.0004	0.0004	
电子天平分度值	$u_2(\overline{M_0})$	1	0.0003	0.0003	可忽略
电子天平最大允许误差	$u_3(\overline{M_0})$	1	0.0029	0.0029	

C.2.7 合成标准不确定度计算

由于 $u_1(\overline{M_0})$ 、 $u_3(\overline{M_0})$ 互不相关，则压力重锤质量校准合成标准不确定度：

$$u_c(M) = \sqrt{u_1^2(\overline{M_0}) + u_3^2(\overline{M_0})} \quad (\text{C.19})$$

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{0.004^2 + 0.0029^2} \\
&= 0.00494 \text{ g}
\end{aligned}$$

C.2.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$ ，压力重锤质量校准扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(M) = 2 \times 0.00494 = 0.00988 \approx 0.010 \text{ g} \quad (\text{C.20})$$

C.3 压重时间测量不确定度的评定

C.3.1 被测对象

压重时间： $(10 \pm 2) \text{ s}$ 。

C.3.2 测量标准

电子秒表，测量范围为 $(0.01 \sim 3600) \text{ s}$ ，分辨力为 0.01 s ，最大允许误差为 $\pm 0.10 \text{ s/h}$ 。

C.3.3 校准方法

厚度仪设置压重时间为“10 s”，转动螺旋使压脚向左移动，当压脚与基准板接触，接触点闭合，指示灯发亮，启动秒表。当厚度仪读数指示灯亮时，按停秒表，记录秒表读数，重复测量 2 次，2 次测量结果算术平均值为压重时间。

C.3.4 测量模型

$$t = \bar{t}_0 \quad (\text{C.21})$$

t ——压重时间，s；

$\bar{t}_0$ ——电子秒表 2 次测量结果算术平均值，s。

由于电子秒表与厚度仪时间控制器彼此独立，互不相关，因此，压重时间测量结果的标准不确定度 $u_c(t)$ 可由式 (C.21) 计算：

$$u_c^2(t) = c^2(\bar{t}_0) u^2(\bar{t}_0) \quad (\text{C.22})$$

灵敏系数： $c(\bar{t}_0) = 1$

$$\text{则： } u_c(t) = u(\bar{t}_0) \quad (\text{C.23})$$

C.3.5 标准不确定度分量

不确定度来源：压重时间测量重复性引入的标准不确定度分量，电子秒表分辨率引入的标准不确定度分量，电子秒表示值误差引入的标准不确定度分量。

C.3.5.1 压重时间测量重复性引入的标准不确定度分量的评定

按 C.3.3 校准方法，重复测量 10 次，测量结果见表 C.5。

表 C.5 压重时间重复测量结果

单位：s

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
压重时间	10.06	9.98	10.12	10.01	10.10	10.04	10.14	10.08	10.01	10.16

压重时间平均值 $\bar{t}_0$ 和标准偏差 s_3 为：

$$\text{平均值} \quad \bar{t}_0 = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_{0i}}{10} = 10.070 \text{ s} \quad (\text{C.24})$$

$$\text{标准偏差} \quad s_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_{0i} - \bar{t}_0)^2}{10-1}} = 0.0604 \text{ s} \quad (\text{C.25})$$

实际测量情况：压重时间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，则压重时间测量重复性引入的标准不确定度分量：

$$u_1(\bar{t}_0) = \frac{s_3}{\sqrt{m}} = \frac{0.0604}{\sqrt{2}} = 0.043 \text{ s} \quad (\text{C.26})$$

C.3.5.2 电子秒表分辨率引入的标准不确定度分量评定

电子秒表分辨力为 0.01 s，不确定度区间半宽为 $a_5=0.005 \text{ s}$ ，服从均匀分布，则电子秒表分辨力引入的标准不确定度分量：

$$u_3(\bar{t}_0) = \frac{a_5}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ s} \quad (\text{C.27})$$

根据以上测量重复性引入的标准不确定度分量与电子秒表分辨力引入的标准不确定度分量的计算结果，电子秒表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，故电子秒表分辨力引入的标准不确定度分量可忽略不计。

C.3.5.3 电子秒表示值误差引入的标准不确定度分量评定

电子秒表在 10 s 测量间隔的最大允许误差为 $\pm 0.10 \text{ s/h}$ ，即 $a_6=0.10 \text{ s}$ ，区间半宽 $a_4=0.005 \text{ g}$ ，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则电子秒表在 10 s 测量间隔内示

值误差引起的标准不确定度 $u_3(\bar{t}_0)$ ：

$$u_3(\bar{t}_0) = \frac{a_6}{k} = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ s} \quad (\text{C.28})$$

C.3.6 标准不确定度分量汇总

压重时间标准不确定度分量汇总表见表 C.6。

表 C.6 标准不确定度分量汇总表

单位：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
测量重复性	$u_1(\bar{t}_0)$	1	0.043	0.043	
电子秒表分辨力	$u_2(\bar{t}_0)$	1	0.003	0.003	可忽略
电子秒表示值误差	$u_3(\bar{t}_0)$	1	0.058	0.058	

C.3.7 合成标准不确定度计算

由于 $u_1(\bar{t}_0)$ 、 $u_3(\bar{t}_0)$ 互不相关，则压重时间校准合成标准不确定度：

$$\begin{aligned}
 u(\bar{t}_0) &= \sqrt{u_1^2(\bar{t}_0) + u_3^2(\bar{t}_0)} \\
 &= \sqrt{0.043^2 + 0.058^2} \\
 &= 0.072 \text{ s}
 \end{aligned} \quad (\text{C.29})$$

C.3.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$ ，压重时间校准扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(t) = 2 \times 0.072 = 0.144 \approx 0.15 \text{ s} \quad (\text{C.30})$$

C.4 厚度示值误差测量不确定度的评定

C.4.1 被测对象

以厚度仪示值校准点为 15 mm 为例评定，厚度示值最大允许误差为 $\pm 0.06 \text{ mm}$ 。

C.4.2 测量标准

量块，标称长度为 15 mm，准确度为 3 级，量块长度极限偏差为 $\pm 1.2 \mu\text{m}$ 。

C.4.3 校准方法

将标称 15 mm 长度量块置于压脚与基准板之间, 读取厚度测量装置厚度示值, 对同一量块重复测量 2 次, 2 次测量结果的算术平均值与量块标称值之差为厚度示值误差。

C.4.4 测量模型

$$e = \overline{L_0} - L_s \quad (\text{C.31})$$

式中:

e —— 厚度示值误差, mm;

$\overline{L_0}$ —— 厚度仪 2 次测量示值平均值, mm;

L_s —— 量块标称值, mm。

由于量块与厚度仪彼此独立, 互不相关, 因此, 厚度示值误差测量结果合成标准不确定度 $u_c(e)$ 可由式 (C.37) 计算:

$$u_c^2(e) = c^2(\overline{L_0})u^2(\overline{L_0}) + c^2(L_s)u^2(L_s) \quad (\text{C.32})$$

灵敏系数: $c(\overline{L_0}) = 1$, $c(L_s) = -1$

$$u_c^2(e) = u^2(\overline{L_0}) + u^2(L_s) \quad (\text{C.33})$$

C.4.5 标准不确定度分量

不确定度来源: 厚度示值误差测量重复性引入的标准不确定度分量, 厚度仪示值分辨力引入的标准不确定度分量, 量块长度极限偏差引入的标准不确定度分量。

C.4.5.1 厚度示值误差测量重复性引入的标准不确定度分量的评定

校准点: 15 mm, 将标称值为 15 mm 的量块放置在厚度仪压脚与基准板之间, 按 C.4.3 校准方法重复测量 10 次, 测量结果见表 C.7。

表 C.7 厚度示值误差重复测量结果

单位: mm

测量次数		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
量块标称值		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
示值	1	15.03	15.04	15.01	15.02	15.02	15.03	15.02	15.03	15.02	15.01
	2	15.02	15.03	15.03	15.04	15.05	15.04	15.04	15.03	15.04	15.05

平均	15.025	15.035	15.020	15.030	15.035	15.035	15.030	15.030	15.030	15.030
厚度示值误差	0.015	0.025	0.035	0.020	0.030	0.035	0.035	0.030	0.030	0.030

厚度示值误差平均值 $\bar{e}$ 和标准偏差 s_4 为:

$$\text{平均值} \quad \bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^{10} e_i}{10} = 0.030 \text{ mm} \quad (\text{C.34})$$

$$\text{标准偏差} \quad S_4 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (e_i - \bar{e})^2}{10-1}} = 0.0047 \text{ mm} \quad (\text{C.35})$$

实际测量情况: 厚度示值误差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, 则厚度示值误差测量重复性引入的标准不确定度分量:

$$u_1(e) = \frac{S_4}{\sqrt{m}} = \frac{0.0047}{\sqrt{2}} = 0.0033 \text{ mm} \quad (\text{C.36})$$

C.4.5.2 厚度示值分辨力引入的标准不确定度分量评定

厚度仪厚度示值分辨力为 0.01 mm, 不确定度区间半宽为 $a_7=0.005$ mm, 服从均匀分布, 则分辨力引入的标准不确定度分量:

$$u_2(\bar{L}_0) = \frac{a_7}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ mm} \quad (\text{C.37})$$

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, 故厚度仪厚度示值分辨力引入的标准不确定度分量可忽略。

C.4.5.3 量块长度极限偏差引入的标准不确定度分量评定

量块标称值 15 mm, 准确度为 3 级, 其长度极限偏差为 $\pm 1.2 \mu\text{m}$, 区间半宽 $a_8=1.2 \mu\text{m}$, 服从均匀分布, 量块长度极限偏差引入的标准不确定度分量:

$$u_3(L_s) = \frac{a_8}{k} = \frac{0.0012}{\sqrt{3}} = 0.0007 \text{ mm} \quad (\text{C.38})$$

C.4.6 标准不确定度分量汇总

厚度示值误差标准不确定度分量汇总表见表 C.8。

表 C.8 标准不确定度分量汇总表

单位: mm

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 $u(x)$	备注
厚度示值误差测量重复性	$u_1(e)$	1	0.0033	
厚度仪示值分辨力	$u_2(\overline{L}_0)$	1	0.0029	可忽略
量块长度极限偏差	$u_3(L_s)$	-1	0.0007	

C.4.7 合成标准不确定度计算

由于 $u_1(e)$ 、 $u_2(\overline{L}_0)$ 和 $u_3(L_s)$ 互不相关，则厚度示值误差校准合成标准不确定度：

$$u_c(e) = \sqrt{u_1^2(e) + u_3^2(L_s)} = \sqrt{0.0033^2 + 0.0007^2} = 0.0034 \text{ mm} \quad (\text{C.39})$$

C.4.8 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k = 2$ ，厚度示值误差校准扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(e) = 2 \times 0.0034 = 0.0068 \text{ mm} \approx 0.01 \text{ mm} \quad (\text{C.40})$$