

JJF (皖)

安徽省地方计量技术规范

JJF (皖) 169—2023

塑料 薄膜和薄片

摩擦系数测定仪校准规范

Calibration Specification of Friction meter for

Plastic Film and Sheet

2023-08-03 发布

2023-10-01 实施

安徽省市场监督管理局 发布

塑料 薄膜和薄片 摩擦系数
测定仪校准规范

JJF (皖) 169-2023

Calibration Specification of Friction

meter for Plastic Film and Sheet

归口单位：安徽省力值计量技术委员会

主要起草单位：黄山市计量检定测试所

参加起草单位：黄山永新股份有限公司

黄山源点新材料科技有限公司

本规范委托安徽省力值计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

吴向葵（黄山市计量检定测试所）

冯芙蓉（黄山市计量检定测试所）

程存隆（黄山市计量检定测试所）

参与起草人：

胡继超（黄山源点新材料科技有限公司）

俞 宙（黄山源点新材料科技有限公司）

方泰然（黄山永新股份有限公司）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
3.1 静摩擦力	(1)
3.2 静摩擦系数	(1)
3.3 动摩擦力	(1)
3.4 动摩擦系数	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其他设备	(2)
7 校准项目和方法	(2)
7.1 外观检查	(2)
7.2 滑块质量示值误差	(3)
7.3 静摩擦系数相对误差	(3)
7.4 动摩擦系数相对误差	(4)
7.5 滑块的移动速度示值误差	(5)
8 校准结果的处理	(5)
8.1 校准记录	(5)
8.2 校准证书	(5)
8.3 校准结果测量不确定度评定	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 塑料 薄膜和薄片 摩擦系数测定仪校准原始记录格式	(7)
附录 B 校准证书内页格式(推荐)	(8)
附录 C 测量不确定度评定示例	(9)

引 言

本规范编制依据 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》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、和 JJF 1094-2002《测量仪器特性评定》为基础性规范进行制定。

本规范在制定中参照 GB/T 10006—2021《塑料 薄膜和薄片 摩擦系数的测定》、GB/T 22895-2008《纸和纸板静态和动态摩擦系数的测定平面法》等文件的基本要求和编写方法。

本规范为首次发布。

塑料 薄膜和薄片 摩擦系数测定仪校准规范

1 范围

本规范规定了采用测定平面法的摩擦系数测定仪的校准。

本规范适用于最大厚度为 0.5mm 的非粘性塑料薄膜和薄片摩擦系数测定仪（以下简称摩擦系数测定仪）的校准，其他使用相同原理测定摩擦系数的试验仪器可以参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 10006—2021 塑料 薄膜和薄片 摩擦系数的测定

GB/T 22895—2008 纸和纸板 静态和动态摩擦系数的测定 平面法

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 术语

3.1 静摩擦力 static friction force

相互接触的两个物体相对静止，当存在着相对运动趋势时接触面之间产生阻碍运动的力。

3.2 静摩擦系数 coefficient of static friction

最大静摩擦力与正压力的比值。

3.3 动摩擦力 dynamic friction force

两物体产生相对滑动时产生的摩擦力。

3.4 动摩擦系数 coefficient of dynamic friction

相互接触的两个物体做相对运动时摩擦力和正压力之间的比值。

4 概述

摩擦系数测定仪是测量塑料薄膜和薄片滑动时的静摩擦系数和动摩擦系数的仪器。利用已知质量滑块施加垂直压力，测试非粘性塑料薄膜和薄片在相对静止到相对滑动过程中的摩擦力值，即静摩擦力和动摩擦力，再通过自带软件计算出静摩擦系数和动摩擦系数。摩擦系数测定仪结构见图 1：

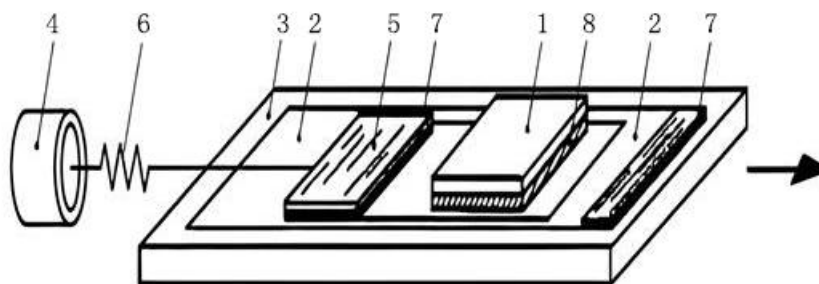


图1 塑料 薄膜和薄片摩擦系数测定仪结构示意图

1-滑块；2-试样；3-活动平台；4-传感器；5-加固板；6-弹簧；7-双面胶带；8-毛毡。

5 计量特性

- 5.1 摩擦系数测定仪滑块质量示值误差不超过 $\pm 2\text{g}$ 。
- 5.2 摩擦系数测定仪静摩擦系数相对误差不超过 $\pm 2.5\%$ 。
- 5.3 摩擦系数测定仪动摩擦系数相对误差不超过 $\pm 2.5\%$ 。
- 5.4 滑块移动速度示值误差不超过 $\pm 10\text{mm}/\text{min}$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

- 6.1.1 室温应在 $(15\sim 35)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内，湿度在 $(20\%\sim 70\%)$ RH。
- 6.1.2 应在无振动、无腐蚀、无电磁干扰的条件下进行校准。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备应符合表1的要求。

表1 测量标准及其他设备

序号	测量标准名称	技术要求	校准项目
1	天平	D 级	滑块质量
2	秒表	MPE: $\pm 0.5\text{s}/\text{d}$	滑块移动速度
3	游标卡尺	MPE: $\pm 0.03\text{mm}$	滑块移动速度
4	标准测力仪	0.5级	静摩擦系数和动摩擦系数
5	定位支架和Z轴高精度微调平台（或称定位调整装置）	Z轴: $\pm 0.01\text{mm}$	静摩擦系数和动摩擦系数
6	框式水平仪	分度值: $0.02\text{mm}/\text{m}$	/

7 校准项目和方法

7.1 外观检查

- 7.1.1 摩擦系数测定仪应有名称、型号、规格、制造厂名、出厂编号等标识。应附有操作使用说明书或其他技术资料，包含测定仪的技术指标及参数。

7.1.2 摩擦系数测定仪各部件表面应光滑, 无明显划痕、裂纹、锈蚀、滑动部位(如滑轮)无毛刺和损伤, 没有影响摩擦系数测定仪正常使用或明显影响外观质量的缺陷。

7.1.3 滑块应具有 40cm^2 面积的正方形底面, 边长应为 63mm , 滑块质量应为 200g 时, 产生的法向力值为 1.96N 。

7.2 滑块质量示值误差

使用天平测量滑块质量 3 次, 取其平均值作为质量测量值。滑块质量示值误差按照公式(1)计算。

$$\Delta m = M - \bar{M} \quad (1)$$

式中:

Δm —滑块质量的示值误差, g;

M —滑块质量标称值, g;

\bar{M} —滑块测量 3 次的平均值, g。

7.3 静摩擦系数相对误差

调整摩擦系数测定仪四角使平台处于水平位置, 用分度值 0.02mm/m 框式水平仪在平台水平和垂直两个方向调整, 使水平泡居中。启动摩擦系数测定仪, 开始对同一批试验样品在短时间内分别三次测得静摩擦系数平均值 $\bar{\mu}_s$ 。将非导磁材料制成的定位支架和 Z 轴高精度精密微调平台(见图 2)固定在摩擦系数测力仪上并进行微调, 与测力装置保持同一水平位置。

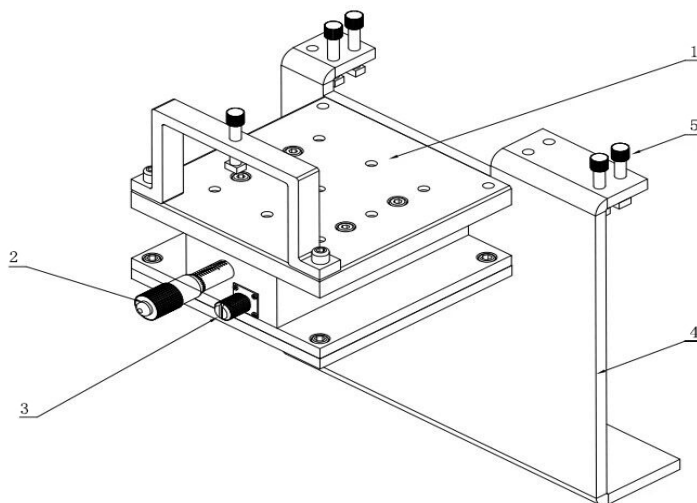


图 2 定位支架和 Z 轴高精度微调平台结构示意图

1-Z 轴高精度精密微调平台; 2-微调手柄; 3-微调锁紧; 4-定位支架; 5-定位钉。

将标准测力仪连接到滑块组件上，启动摩擦系数测定仪，在滑块从相对静止到相对滑动时，在短时间内对同一批试验样品分别三次测试得出拉力值平均值 $\overline{F_s}$ ，按公式（2）计算得静摩擦系数 $\overline{\mu_b}$ 。

$$\overline{\mu_b} = \frac{\overline{F_s}}{Mg} \quad (2)$$

式中：

$\overline{\mu_b}$ ——标准测力仪测得静摩擦系数；

$\overline{F_s}$ ——标准测力仪测得滑块从相对静止到相对滑动时拉力峰值的平均值。

静摩擦系数的相对误差按公式（3）计算：

$$\Delta\mu_s = \frac{\overline{\mu_s} - \overline{\mu_b}}{\overline{\mu_b}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$\Delta\mu_s$ ——静摩擦系数相对误差；

$\overline{\mu_s}$ ——摩擦系数测定仪测得静摩擦系数平均值。

7.4 动摩擦系数相对误差

将同一批试验样品按设定速度100mm/min（或按实际工作速度）滑动，摩擦系数测定仪分别三次测得动摩擦系数平均值 $\overline{\mu_d}$ 。再将标准测力仪连接到滑块组件上，分别三次测得拉力平均值 $\overline{F_d}$ ，按公式（4）计算得动摩擦系数 $\overline{\mu_c}$ 。

$$\overline{\mu_c} = \frac{\overline{F_d}}{Mg} \quad (4)$$

式中：

$\overline{\mu_c}$ ——标准测力仪测得动摩擦系数；

$\overline{F_d}$ ——标准测力仪测得拉力平均值。

动摩擦系数的相对误差按公式（5）计算：

$$\Delta\mu_d = \frac{\overline{\mu_d} - \overline{\mu_c}}{\overline{\mu_c}} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

$\Delta\mu_d$ ——动摩擦系数相对误差；

$\overline{\mu_d}$ ——摩擦系数测定仪测得动摩擦系数平均值。

7.5 滑块的移动速度示值误差

在设定的滑块移动速度范围内，以常用的试验速度为校准点，选择1min的滑块移动距离，每个速度点测3次，滑块移动速度示值误差按公式（6）计算：

$$\Delta v = v - \bar{v} = v - \left(\frac{\bar{L}}{\bar{T}} \right) \quad (6)$$

式中：

Δv ——滑块移动速度示值误差，mm/min；

v ——摩擦系数测定仪设定滑块移动速度值，mm/min；

\bar{v} ——3次试验测得算术平均值，mm/min

\bar{L} ——滑块移动距离3次测量的平均值，mm；

\bar{T} ——滑块移动3次测量的时间平均值，min。

8 校准结果的处理

8.1 校准记录

校准记录格式见附录A。

8.2 校准证书

校准后应出具校准证书，校准证书格式参见附录B，校准证书至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接受日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称和代号；
- i) 校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；

- k) 测量结果和测量不确定度以及外观、功能检查结果的说明;
- l) 对校准规范的偏离的说明;
- m) 校准证书签发人的签名或等效标识, 以及签发日期;
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- o) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书或报告的声明;
- p) 必要时, 对校准结果的意见或解释, 或者是有关被校对象的使用指南等。

8.3 校准结果测量不确定度评定

校准结果测量不确定度按JJF1059.1评定, 摩擦系数测定仪校准结果不确定度评定示例见附录C。

9 复校时间间隔

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。建议复校时间间隔为一年。

附录 A

摩擦系数测定仪校准原始记录格式 (参考格式)

一、基本信息记录

编号:

送校单位				单位地址			
仪器名称				型号/规格			
制造厂				出厂编号			
校准主标准器	器具名称	测量范围	规格型号	器具编号	不确定度/准确度等级/最大允许误差	有效期至	
校准依据				温度	湿度	校准日期	
校准人员				核验人员			

二、校准项目和校准结果

1	外观检查	<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求						
2	滑块质量	标称值 g	实测值/g			平均值	示值误差/g	
			1	2	3			
3	静摩擦力系数	序号	力实测值/N	静摩擦系数 实测值	静摩擦系数 示值	静摩擦力系数相对误差/%		
		1						
		2						
		3						
4	动摩擦力系数	序号	力实测值/N	动摩擦系数 实测值	动摩擦系数 示值	动摩擦力系数相对误差/%		
		1						
		2						
		3						
5	滑块移动速度示值误差	设定速度 mm/min	移动距离/mm			实测值 mm/min	误差 mm/min	
			1	2	3			平均值
		移动时间 (s)						平均值
		1	2	3				
6	校准结果扩展不确定度	滑块质量示值误差扩展不确定度:						
		静摩擦系数相对误差扩展不确定度:						
		滑块移动速度示值误差扩展不确定度:						
备注								

附录 B

校准证书内页格式 (推荐)

证书编号: XXXXXXXX-XXXXXXX

校准机构授权说明					
校准环境条件及地点					
温 度	℃		地 点		
湿 度	%		其 他		
标准器具					
器具名称	规格型号	测量范围	器具编号	不确定度/准确度等级/最大允许误差	有效期至
序 号	校准项目		误差	校准值	不确定度 U ($k=2$)
1	外观检查				
2	滑块质量				
3	静摩擦系数 (%)				
4	动摩擦系数 (%)				
5	滑块的移动速度				

第 X 页, 共 X 页

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 摩擦系数测定仪的滑块质量示值误差不确定度评定

C.1.1 概述

C.1.1.1 校准条件：室温应在（15~35）℃范围内，湿度（20%~70%）RH。

C.1.1.2 测量原理

由电子天平对摩擦系数测定仪的滑块组件进行 10 次测量，取其平均值作为标准值，并计算滑块质量示值误差。

C.1.2 测量模型

$$\Delta m = M - \bar{M} \quad (\text{C.1})$$

式中：

Δm —— 滑块质量示值误差，g；

M —— 滑块质量标称值，g；

\bar{M} —— 滑块测量 3 次的平均值，g。

C.1.3 滑块质量示值误差不确定度评定

C.1.3.1 由电子天平测量重复性引起的标准不确定度 $u(\bar{M}_1)$

由电子天平对测定仪滑块组件进行 10 次重复性测量，示值分别为 200.508g、200.508g、200.509g、200.508g、200.509g、200.510g、200.509g、200.508g、200.509g、200.509g，采用 A 类方法进行评定。

$$\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 200.5087g$$

单次实验标准差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.00067g$$

实际工作中以 3 次测量的平均值作为校准结果，故重复性引入的标准不确定度：

$$u(\overline{M}_1) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.38 \times 10^{-3} \text{ g}$$

C.1.3.2 由电子天平引起的不确定度 $u(\overline{M}_2)$ 的评定

电子天平分度值为 0.001g，则认为其均匀分布，可用 B 类评定其标准不确定度：

$$u(\overline{M}_2) = \frac{0.001 \text{ g}}{2\sqrt{3}} = 0.29 \times 10^{-3} \text{ g}$$

C.1.4 合成标准不确定度评定

输入量 $u(\overline{M}_1)$ 、 $u(\overline{M}_2)$ 彼此独立不相关，则合成标准不确定度：

$$u(\Delta m) = \sqrt{u(\overline{M}_1)^2 + u(\overline{M}_2)^2} = 0.47 \times 10^{-3} \text{ g}$$

C.1.5 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U(\Delta m) = k \cdot u(\Delta m) = 0.94 \times 10^{-3} \text{ g}$$

C.2 摩擦系数测定仪的静摩擦系数相对误差标准不确定度评定

C.2.1 概述

C.2.1.1 校准条件：室温应在 (15~35) °C 范围内，湿度 (20%~70%) RH。

C.2.1.2 测量方法

摩擦系数测定仪对同一批试验样品在短时间内分别三次测得静摩擦系数平均值 $\overline{\mu}_s$ 。将标准测力仪连接到滑块组件上，启动摩擦系数测定仪，在滑块从相对静止到相对滑动时，在短时间内对同一批试验样品分别三次测试得出拉力值平均值 \overline{F}_s ，按公式 (2) 计算得静摩擦系数 $\overline{\mu}_b$ 。

C.2.2 测量模型

$$\Delta \mu = \frac{\overline{\mu}_s - \overline{\mu}_b}{\overline{\mu}_b} \times 100\% = \left(\frac{\overline{\mu}_s \cdot \overline{M}g}{\overline{F}_s} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{C.2})$$

式中：

$\Delta\mu_s$ —静摩擦系数相对误差;

$\overline{\mu}_s$ —由摩擦系数测定仪数据得到的静摩擦系数;

$\overline{\mu}_b$ —由标准测力仪数据得到的静摩擦系数;

\overline{F}_s —标准测力仪测得滑块从相对静止到相对滑动时拉力峰值的平均值;

\overline{M} —滑块质量平均值;

g —当地重力加速度。

C. 2. 3 静摩擦系数相对误差不确定度评定

标准不确定度来源包括：摩擦系数测定仪测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 、标准测力仪测量重复性引入的标准不确定度分量 u_2 、标准测力仪准确度等级引入的标准不确定度分量 u_3 、滑块质量示值误差引入的标准不确定度分量 u_4 。当地重力加速度引入的不确定度分量太小，因此可忽略不计。

C. 2. 3. 1 摩擦系数测定仪测量重复性引入的标准不确定度 u_1

在相同的测量条件下，重复性测量 10 次，摩擦系数测定仪示值分别为：0.5252、0.5186、0.5222、0.5201、0.5201、0.5201、0.5237、0.5217、0.5186、0.5166。采用 A 类方法进行评定。

因此，经计算得，摩擦系数测定仪算术平均值为：

$$\overline{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 0.5207$$

单次实验标准差：

$$s(\overline{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \overline{x})^2}{n-1}} = 2.567 \times 10^{-3}$$

实际工作中以 3 次测量的平均值作为校准结果，故实测值静摩擦系数引入的标准不确定度：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 1.482 \times 10^{-3}$$

C. 2. 3. 2 由标准测力仪引入的不确定度 u_2

标准测力仪引起的不确定度来源是由标准测力仪测量重复性引入的标准不确定度 u_{21} 和标准测力仪准确度等级引入的标准不确定度分量 u_{22} 。

C. 2. 3. 2. 1 标准测力仪测量重复性引入的标准不确定度 u_{21}

根据在相同的测量条件下, 标准测力仪重复性测量 10 次, 示值分别是: 1. 032、1. 019、1. 026、1. 022、1. 022、1. 022、1. 029、1. 025、1. 019、1. 015 (单位: N)。采用 A 类方法进行评定。经计算得, 标准测力仪算术平均值为:

$$\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 1.023 N$$

单次实验标准差:

$$s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 5.0 \times 10^{-3} N$$

实际工作中以 3 次测量的平均值作为校准结果, 故标准测力仪测量重复性引入的标准不确定度 u_{21}

$$u_{21} = \frac{s}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-3} N$$

C. 2. 3. 2. 2 由标准测力仪准确度等级引入的不确定度 u_{22}

由标准测力仪检定证书可知其准确度等级为 0.5 级, 采用 B 类方法进行评定, 按均匀分布考虑, 取 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_{22} = \frac{0.5\% \times 1.023 N}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-3} N$$

故由标准测力仪引入的不确定度 u_2 为:

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = 4.1 \times 10^{-3} N$$

C. 2. 3. 3 由静摩擦系数测定仪滑块组件质量引起的不确定度 u_3

$$u_3 = 0.47 \times 10^{-3} g$$

C.2.4 合成标准不确定度评定

C.2.4.1 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta\mu)}{\partial(\mu_s)} = 1.91 \quad c_2 = \frac{\partial(\Delta\mu)}{\partial(F_s)} = -\frac{\bar{u}_s \cdot \bar{M}g}{F_s^2} = -0.97N^{-1}$$

$$c_3 = \frac{\partial(\Delta\mu)}{\partial(M)} = \frac{\bar{\mu}_s \cdot g}{F_s} = 4.97kg^{-1}$$

C.2.4.2 各不确定度分量汇总，如下表：

u_i	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 c_i	输出量标准 不确定度分量 $ c_i u_i $
u_1	摩擦系数测定仪 测量重复性引入 的不确定度	1.482×10^{-3}	1.91	2.83×10^{-3}
u_2	标准测力仪引入的 不确定度	$4.10 \times 10^{-3} \text{ N}$	$-0.97N^{-1}$	3.98×10^{-3}
u_3	滑块质量允差	$0.47 \times 10^{-6} \text{ kg}$	$4.97kg^{-1}$	2.34×10^{-6} (可忽略不计)

C.2.4.3 合成标准不确定度

$$u(\Delta\mu) = \sqrt{(c_1 u_1)^2 + (c_2 u_2)^2 + (c_3 u_3)^2} = 0.48\%$$

C.2.5 扩展不确定度评定

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U(\Delta\mu) = k \cdot u(\Delta\mu) = 2 \times 0.48\% = 0.96\%$$

C.3 摩擦系数测定仪的滑块移动速度示值误差不确定度评定

C.3.1 概述

C.3.1.1 校准条件：室温应在 $(15 \sim 35)^\circ\text{C}$ 范围内，湿度 $(20\% \sim 70\%) \text{ RH}$ 。

C.3.1.2 测量方法

在设置滑块移动速度的范围内，选择常用的试验速度为校准点，移动距离选择1min的滑块移动距离。

C.3.2 测量模型

$$\Delta v = v - \bar{v} = v - \left(\frac{\bar{L}}{\bar{T}} \right) \quad (\text{C.3})$$

式中:

Δv —滑块移动速度示值误差, mm/min;

v —摩擦系数测定仪设定滑块移动速度值, mm/min;

\bar{L} —滑块移动距离平均值, mm。

\bar{T} —滑块移动3次测量的时间平均值, min。

C.3.3 滑块移动速度示值误差不确定度评定

标准不确定度来源包括: 游标卡尺测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(\bar{L}_1)$ 、游标卡尺最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u(\bar{L}_2)$ 、电子秒表测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(\bar{T}_1)$ 、电子秒表最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u(\bar{T}_2)$ 。

C.3.3.1 游标卡尺测量重复性引入的标准不确定度 $u(\bar{L}_1)$

对滑块 1min 移动距离进行 3 次测量, 得到数据: 99.65mm、99.60mm、99.60mm, 采用极差法进行评定:

$$u(\bar{L}_1) = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{R}{\sqrt{3}C_n} = 0.017mm$$

C.3.3.2 游标卡尺最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u(\bar{L}_2)$

游标卡尺最大允许误差为 $\pm 0.03mm$, 采用 B 类方法评定, 按均匀分布考虑, 取 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(\bar{L}_2) = \frac{0.03}{\sqrt{3}} mm = 0.0174mm$$

故由游标卡尺引入的不确定度 $u(\bar{L})$:

$$u(\bar{L}) = \sqrt{u(\bar{L}_1)^2 + u(\bar{L}_2)^2} = 0.024mm$$

C.3.3.3 电子秒表测量重复性引入的标准不确定度 $u(\bar{T}_1)$ 的评定

对滑块 1min 移动时间进行 3 次测量, 得到数据: 60.5s、60.5s、60.0s, 采用极差法进行评定:

$$u(\bar{T}_1) = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{R}{\sqrt{3}C_n} = 0.17s$$

C.3.3.4 电子秒表最大允许误差引入的标准不确定度 $u(\bar{T}_2)$ 的评定

电子秒表最大允许误差为 $\pm 0.07s/10min$ ，采用 B 类方法评定，按均匀分布考虑，取 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u(\bar{T}_2) = \frac{0.07}{\sqrt{3}} = 0.04s$$

故由电子秒表引入的不确定度 $u(\bar{T})$ ：

$$u(\bar{T}) = \sqrt{u(\bar{T}_1)^2 + u(\bar{T}_2)^2} = 0.17s = 2.83 \times 10^{-3} \text{ min}$$

C.3.4 合成标准不确定度评定

C.3.4.1 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta v)}{\partial(L)} = -\frac{1}{T} = -0.02 \text{ min}^{-1} \quad c_2 = \frac{\partial(\Delta v)}{\partial(T)} = \frac{\bar{L}}{T^2} = 0.03 \text{ mm} / \text{min}^2$$

C.3.4.2 各不确定度分量汇总，如下表：

u_i	不确定度来源		标准不确定度		灵敏系数 c_i	输出量标准 不确定度分量 $ c_i u_i $
$u(\bar{L})$	游标卡尺 引入的不 确定度	测量重复性引入的 标准不确定度 $u(L_1)$	0.024mm	0.017 mm	0.02min ⁻¹	4.8 × 10 ⁻⁴ mm/min
		最大允许误差引入 的标准不确定度 $u(L_2)$		0.0174 mm		
$u(\bar{T})$	秒表引入 的不确 定度	测量重复性引入的 标准不确定度 $u(T_1)$	2.83 × 10 ⁻³ min	0.17s	0.03mm/min ²	0.85 × 10 ⁻⁴ mm/min
		最大允许误差引入 的标准不确定度 $u(T_2)$		0.04s		

C. 3. 4. 3 合成标准不确定度 u_c

$$u(c) = \sqrt{(c_1 u(\bar{L}))^2 + (c_2 u(\bar{T}))^2} = 4.87 \times 10^{-4} \text{ mm / min}$$

C. 3. 5 扩展不确定度评定

取包含因子 $k = 2$ ，扩展不确定度为：

$$U(c) = k \cdot u(c) = 2 \times 4.87 \times 10^{-4} \text{ mm / min} = 9.74 \times 10^{-4} \text{ mm / min}$$
