



中华人民共和国工业和信息化部
石油和化工计量技术规范

JJF（石化）XXXX—202X

胶黏带初黏性测试仪（环形法）
校准规范

Calibration Specification for Adhesive Tape Initial
Tack Tester (Loop Method)
(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

胶黏带初黏性测试仪 （环形法）校准规范

Calibration Specification for
Adhesive Tape Initial Tack Tester
(Loop Method)

JJF（石化）××××—202X

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：国检测试控股集团计量检测有限公司

深圳天溯计量检测股份有限公司

安徽省产品质量监督检验研究院

参加起草单位：东莞市帝恩检测有限公司

本规范委托石油和化工行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

张红强（国检测试控股集团计量检测有限公司）

刘 浩（深圳天溯计量检测股份有限公司）

张阳阳（国检测试控股集团计量检测有限公司）

郭志强（安徽省产品质量监督检验研究院）

孙东旗（国检测试控股集团计量检测有限公司）

参加起草人：

贺建超（东莞市帝恩检测有限公司）

程晓苏（国检测试控股集团计量检测有限公司）

曾 彪（国检测试控股集团计量检测有限公司）

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
5.1 环境条件	2
5.2 测量标准及其他设备	2
6 校准项目和校准方法	3
6.1 校准项目	3
6.2 校准方法	3
7 校准结果表达	6
7.1 校准记录	6
7.2 校准证书	6
7.3 不确定度	6
8 复校时间间隔	6
附录 A 胶黏带初黏性测试仪（环形法）校准记录参考格式	7
附录 B 初黏性测试仪（环形法）校准证书内页参考格式	9
附录 C 标准测力仪校准试验力测量结果不确定度评定示例	11
附录 D 力值砝码校准试验力测量结果不确定度评定示例	14
附录 E 线位移传感器校准试验速度测量结果不确定度评定示例	17
附录 F 高度卡尺校准试验速度测量结果不确定度评定示例	21
附录 G 试验板厚度测量结果不确定度评定示例	25
附录 H 试验板工作面粗糙度测量结果不确定度评定示例	28

引 言

本规范依据 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》等基础性系列规范进行编制。

本规范主要参考 JJG 475—2008《电子式万能试验机检定规程》、JJF 1099—2018《表面粗糙度比较样块校准规范》、GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》、GB/T 31125—2014《胶粘带初粘性试验方法 环形法》制定。

本规范为首次发布。

胶黏带初黏性测试仪（环形法）校准规范

1 范围

本规范适用于环形法胶黏带初黏性测试仪的校准。

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

环形法胶黏带初黏性测试仪（以下简称“测试仪”）是模拟环形试样与标准试验板之间的接触与分离过程，评估胶黏材料初黏性的设备。通过将环形的胶黏带在自身重量作用下与规定面积的试验板接触，测定胶黏带拉离试验板的力。主要由力传感器、夹持器、试验板等部分组成，其结构见图 1。

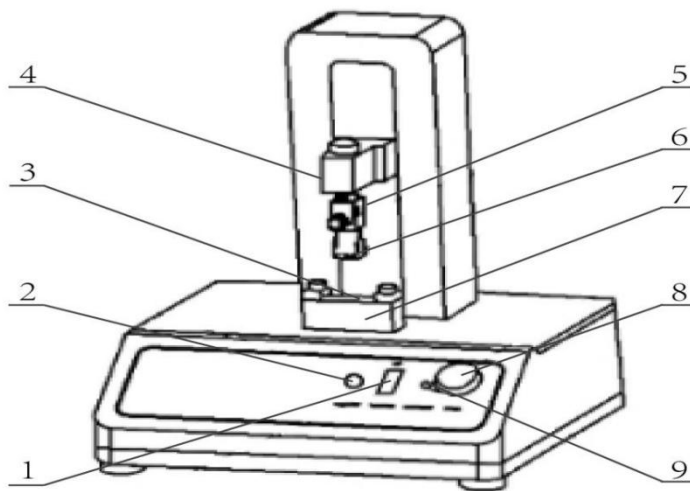


图 1 环形法初黏性测试仪结构示意图

1—点动开关；2—电源开关；3—试验板；4—力传感器；

5—上夹持器；6—试样环；7—下夹持器；8—紧急停止；9—指示灯

4 计量特性

具体计量特性见表 1。

表 1 测试仪计量特性一览表

序号	项目		技术要求	
1	试验力		MPE：±1.0%	
2	试验速度/mm/min		300±10	
3	试验板	厚度/mm	1.5~2.0	
4		宽度/mm	≥24	
5		长度/mm	100	MPE：±1.5
6		工作面粗糙度/nm	50	MPE：±25
注：以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。				

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度条件

环境温度: $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 。

5.1.2 湿度条件

环境湿度: 不超过 70%RH。

5.1.3 其他条件

仪器底部应平稳, 无影响正常工作的晃动。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 2。

表 2 校准项目和测量标准

序号	校准项目	测量标准名称及技术要求
1	试验力	标准测力仪, 准确度等级: 0.3 级或力值砝码, MPE: $\pm 0.3\%$

表 2 校准项目和测量标准 (续)

序号	校准项目		测量标准名称及技术要求
2	试验速度		拉线位移传感器：测量范围：（0～200）mm，MPE：±0.1%或高度卡尺：测量范围：（0～200）mm，MPE：±0.03 mm
			秒表：测量范围：（0～10）min，MPE：±0.07 s/10 min
3	试验板	厚度	游标卡尺：测量范围：（0～150）mm，MPE：±0.03 mm
		宽度	
		长度	
		工作面粗糙度	表面粗糙度测量仪：MPE：±5%
注：允许使用满足测量不确定度要求的其他测量标准及设备进行校准			

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

测试仪的校准项目见表 2。

6.2 校准方法

6.2.1 外观检查

测试仪应有铭牌, 标明产品名称、规格型号、出厂编号、制造厂、出厂日期等; 仪器运行正常, 平稳, 无异常碰撞、摩擦现象; 试验板表面光洁, 无污染或划痕。

6.2.2 试验力

校准前进行 3 次最大力预加载。在测量范围上限的 20%~100%范围内近似等间隔分布选择 5 个校准点。

使用标准测力仪校准时, 将标准测力仪与测试仪的力传感器串联, 并使两者保持同轴。对力传感器加荷, 逐级递增施加试验力至各校准点, 读取并记录测试仪示值。重复测量 3 次, 分别计算 5 个校准点 3 次测量结果的算术平均值 $\overline{F}_i$, 结果保留到 0.01 N。

使用力值砝码校准时, 首先放置或悬挂最小校准点的力值砝码, 待砝码稳定后, 读取并记录测试仪示值。随后按相同方式逐级增加砝码, 直至最大校准点, 重复测量 3 次, 分别计算 5 个校准点 3 次测量结果的算术平均值 $\overline{F}_i$, 结果保留至 0.01 N。

根据公式 (1) 计算示值相对误差:

$$\delta_i = \frac{\overline{F_i} - F}{F} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

δ_i ——第 i 校准点示值误差, %;

$\overline{F_i}$ ——测试仪示值平均值, N;

F ——标准测力仪(力值砝码)示值, N。

6.2.3 试验速度

6.2.3.1 拉线位移传感器法

将拉线位移传感器的底端固定在测试仪的底部, 拉线的上端吸附在测试仪上夹持器上, 调整拉线位移传感器钢丝绳拉伸方向与测试仪夹持器运动方向一致。调整零点, 设定试验速度为 300 mm/min, 启动测试仪同时按动秒表, 计时 30 秒左右按停秒表, 记录秒表示值 t , 拉线位移传感器位移变化量 l , 根据公式 (2) 计算试验速度, 重复测量 3 次, 计算 3 次测量结果的算术平均值, 结果保留至 0.01 mm/min。

$$v_i = \frac{l \times 60}{t} \quad (2)$$

式中:

v_i ——试验速度第 i 次测量结果, mm/min;

l ——拉线位移传感器位移变化量, mm;

t ——秒表示值, s。

6.2.3.2 高度卡尺法

用高度卡尺测量上夹持器底部高度, 记录数据 L_1 , 设定试验速度为 300 mm/min, 启动测试仪同时按动秒表, 计时 30 秒左右按停秒表, 记录秒表示值 t , 此时用高度卡尺测量上夹持器底部高度, 记录数据 L_2 , 根据公式 (3) 计算试验速度, 重复测量 3 次, 计算 3 次测量结果的算术平均值, 结果保留至 0.01 mm/min。

$$v_i = \frac{(L_2 - L_1) \times 60}{t} \quad (3)$$

式中:

v_i ——试验速度第 i 次测量结果, mm/min;

L_1 ——测试仪运行前，高度卡尺测量上夹持器底部高度，mm；

L_2 ——测试仪运行后，高度卡尺测量上夹持器底部高度，mm；

t ——秒表示值，s。

6.2.4 试验板

6.2.4.1 厚度

用游标卡尺直接测量试验板厚度，均匀选择 3 个位置进行测量，根据公式（4）计算试验板厚度，结果保留至小数点后两位。

$$h = \bar{h} \quad (4)$$

式中：

h ——试验板尺寸厚度；

$\bar{h}$ ——游标卡尺 3 次测量试验板厚度平均值。

6.2.4.2 宽度

用游标卡尺直接测量试验板宽度，均匀选择 3 个位置进行测量，根据公式（5）计算试验板宽度，结果保留至小数点后两位。

$$l = \bar{l} \quad (5)$$

式中：

l ——试验板宽度；

$\bar{l}$ ——游标卡尺 3 次测量试验板宽度平均值。

6.2.4.3 长度

用游标卡尺直接测量试验板长度，均匀选择 3 个位置进行测量，根据公式（6）计算试验板长度，结果保留至小数点后两位。

$$L = \bar{L} \quad (6)$$

式中：

L ——试验板长度；

$\bar{L}$ ——游标卡尺 3 次测量试验板尺寸长度平均值。

6.2.4.4 工作面粗糙度

用表面粗糙度测量仪测量，取样长度选择 0.25 mm，评定长度为 5 倍取样长度。在试验

板工作面选取均匀分布的 3 个位置测量, 根据公式 (7) 计算试验板的工作面粗糙度, 结果保留到 0.001 μm 。

$$Y = \bar{d} \quad (7)$$

式中:

Y ——试验板工作面粗糙度 R_a , μm ;

$\bar{d}$ ——粗糙度测量仪三次测量的平均值 R_a , μm 。

7 校准结果表达

7.1 校准记录

推荐的校准原始记录内容格式见附录 A。

7.2 校准证书

经校准的测试仪应出具校准证书, 校准结果应在校准证书上反应。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、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔, 建议复校时间间隔不超过 12 个月。

附录 A

胶黏带初黏性测试仪（环形法）校准记录格式

共 页 第 页

基本信息								
委托单位		原始记录号		校准证书号				
仪器名称		规格型号		设备编号				
制造厂商		环境温度	℃	相对湿度		%		
校准前准备								
外观	1. 仪器铭牌信息是否完整 是□ 否□							
	2. 仪器外观是否完整, 运行是否正常、平稳 是□ 否□							
	3. 试验板表面是否光洁, 无污染划痕 是□ 否□							
校准结果								
1. 试验力								
最大试验力/N	标准值/N	示值/N			平均值/N	相对误差	允许误差	扩展不确定度 ($k=2$)
		1	2	3				
2. 试验速度								
次数	位移/mm	时间/s	速度/(mm/min)	平均值/(mm/min)	技术要求 (mm/min)	扩展不确定度 ($k=2$)		
1								
2								
3								
3. 试验板								
校准项目	技术要求	校准结果				扩展不确定度 ($k=2$)		
		1	2	3	平均值			
厚度/mm	1.5~2.0							
宽度/mm	≥ 24							
长度/mm	100 ± 1.5							
工作面粗糙度/nm	50 ± 25							

(续)

共 页 第 页

标准器						
名称	编号	溯源单位	证书号	测量范围	有效期	不确定度或准确度等级或最大允许误差
技术依据	JJF（石化）××××—××××《胶黏带初黏性测试仪（环形法）校准规范》					
校准地点				校准日期	年	月 日
备注						

校准员：

核验员：

附录 B

初黏性测试仪（环形法）校准证书内页格式

证书编号××××××—××××					
校准机构授权说明					
校准的技术依据 JJF（石化）××××—××××《胶黏带初黏性测试仪（环形法）校准规范》					
校准环境条件及地点					
地点					
环境温度	℃	相对湿度	%	其他	
校准使用的标准器					
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	溯源单位	证书号	有效期至
1、试验力					
最大试验力/N	试验力/N	相对误差	允许误差	扩展不确定度 ($k=2$)	
2、校准项目					
序号	校准项目	技术要求	校准结果	扩展不确定度 ($k=2$)	
1	试验速度/ (mm/min)	300±10			

(续)

序号	校准项目		技术要求	校准结果	扩展不确定度 (<i>k</i> =2)
2	试验板	厚度/mm	1.5~2.0		
3		宽度/mm	≥24		
4		长度/mm	100±1.5		
5		工作面粗糙度 /nm	50±25		
备注					

附录 C

标准测力仪校准试验力测量结果不确定度评定示例

C.1 校准方法：将标准测力仪与被校初黏性测试仪的力传感器串联，并使两者保持同轴，进行 3 次最大力预加载。在测量范围上限的 20%~100% 范围内近似等间隔分布选择 5 个校准点。对力传感器加荷，逐级递增施加试验力至各校准点，重复测量 3 次。以 30 N 试验力校准点为例进行不确定度评定。

C.2 测量模型

试验力示值误差的测量模型：

$$\delta_i = \frac{\overline{F_i} - F}{F} \times 100 \% \quad (\text{C.1})$$

式中：

δ_i ——第 i 校准点示值误差，%；

$\overline{F_i}$ ——初黏性测试仪示值平均值，N；

F ——标准测力仪示值，N。

C.3 方差和灵敏系数

方差：

$$u_c^2 = c(\overline{F_i})^2 u(\overline{F_i})^2 + c(F)^2 u(F)^2 \quad (\text{C.2})$$

灵敏系数：

$$c(\overline{F_i}) = \frac{\partial \delta_i}{\partial \overline{F_i}} = \frac{1}{F} \quad ; \quad c(F) = \frac{\partial \delta_i}{\partial F} = -\frac{\overline{F_i}}{F^2}$$

C.4 标准不确定度评定

C.4.1 不确定度来源

试验力测量结果不确定度来源主要由测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\overline{F_i})$ 、初黏性测试仪分辨力引入标准不确定度 $u_2(\overline{F_i})$ 和标准测力仪最大允许误差引入的标准不确定度 $u(F)$ 组成。

C.4.2 输入量 $\overline{F_i}$ 引入的标准不确定度 $u(\overline{F_i})$ C.4.2.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\overline{F_i})$

在重复性条件下,对初黏性测试仪 30N 校准点进行 10 次重复测量,得表 C.1 测量列:

表 C.1 试验力标准值 30N 时初黏性测试仪试验力重复性试验数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
初黏性测试仪试验力示值 F_i /N	29.89	29.87	29.87	29.87	29.89	29.91	29.88	29.89	29.86	29.87

初黏性测试仪试验力算术平均值:

$$\overline{F_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i = 29.88 \text{ N} \quad (\text{C.3})$$

采用贝塞尔公式,计算单次测量的实验标准偏差:

$$s(F_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \overline{F_i})^2}{n-1}} = 0.015 \text{ N} \quad (\text{C.4})$$

式中:

F_i ——初黏性测试仪试验力第 i 次测量示值, N ;

$\overline{F_i}$ ——初黏性测试仪试验力 10 次示值平均值, N;

n ——测量次数。

实际测量取三次平均值作为测量结果,则重复性引入的不确定度分量为:

$$u_1(\overline{F_i}) = \frac{s(F_i)}{\sqrt{3}} = 0.009 \text{ N} \quad (\text{C.5})$$

C.4.2.2 初黏性测试仪分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\overline{F_i})$

该初黏性测试仪实际分辨力为 0.01 N,其数显量化误差以等概率分布在半宽为 0.005 N 的区间内,则:

$$u_2(F_i) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ N} \quad (\text{C.6})$$

由于重复性带来的不确定度分量大于分辨力带来的不确定度分量，故只考虑重复性带来的影响。则 $u(\overline{F}_i) = 0.009 \text{ N}$ 。

C.4.3 输入量 F 引入的标准不确定度 $u(F)$

标准测力仪准确度等级为 0.3 级，标准测力仪示值为 30 N，标准测力仪在 30 N 点最大允许误差为 $\pm 0.09 \text{ N}$ ，按均匀分布，则：

$$u(F) = \frac{0.09}{\sqrt{3}} = 0.052 \text{ N} \quad (\text{C.7})$$

C.4.4 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 C.2。

表 C.2 不确定度分量汇总

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
$u(\overline{F}_i)$	测量重复性引入的标准不确定度	0.009 N	0.0333 N^{-1}	0.03%
$u(F)$	标准测力仪最大允许误差引入的标准不确定度	0.052 N	-0.0334 N^{-1}	-0.174%

C.5 合成标准不确定度

各不确定度分量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u(\overline{F}_i) + u(F)} = \sqrt{0.03\%^2 + 0.174\%^2} = 0.177\% \quad (\text{C.8})$$

C.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k = 2$ ，试验力测量结果的扩展不确定度为：

$$U_{rel} = ku_c = 2 \times 0.177\% = 0.354\% \approx 0.36\% \quad (\text{C.9})$$

附录 D

力值砝码校准试验力测量结果不确定度评定示例

D.1 校准方法：将力值砝码悬挂在初黏性测试仪力传感器上，待砝码稳定后，读取并记录测试仪示值。随后按相同方式逐级增加砝码，直至最大校准点，重复测量 3 次。以 30 N 试验力校准点为例进行不确定度评定。

D.2 测量模型

试验力示值误差的测量模型：

$$\delta_i = \frac{\overline{F_i} - F}{F} \times 100 \% \quad (\text{D.1})$$

式中：

δ_i ——第 i 校准点示值误差，%；

$\overline{F_i}$ ——初黏性测试仪示值平均值，N；

F ——力值砝码示值，N。

D.3 方差和灵敏系数

方差：

$$u_c^2 = c(\overline{F_i})^2 u(\overline{F_i})^2 + c(F)^2 u(F)^2 \quad (\text{D.2})$$

灵敏系数：

$$c(\overline{F_i}) = \frac{\partial \delta_i}{\partial \overline{F_i}} = \frac{1}{F} \quad ; \quad c(F) = \frac{\partial \delta_i}{\partial F} = -\frac{\overline{F_i}}{F^2}$$

D.4 标准不确定度评定

D.4.1 不确定度来源

试验力测量结果不确定度来源主要由测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\overline{F_i})$ 、初黏性测试仪分辨力引入标准不确定度 $u_2(\overline{F_i})$ 和力值砝码最大允许误差引入的标准不确定度 $u(F)$ 组成。

D.4.2 输入量 $\overline{F_i}$ 引入的标准不确定度 $u(\overline{F_i})$ D.4.2.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\overline{F_i})$

在重复性条件下,对初黏性测试仪 30N 校准点进行 10 次重复测量,得表 D.1 测量列:

表 D.1 试验力标准值 30N 时初黏性测试仪试验力重复性试验数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
初黏性测试仪试验力示值 F_i /N	29.87	29.88	29.86	29.89	29.91	29.92	29.93	29.88	29.89	29.91

计算初黏性测试仪试验力示值算术平均值:

$$\overline{F_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i = 29.894 \text{ N} \quad (\text{D.3})$$

采用贝塞尔公式,计算单次测量的实验标准偏差:

$$s(F_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \overline{F_i})^2}{n-1}} = 0.023 \text{ N} \quad (\text{D.4})$$

式中:

F_i ——初黏性测试仪试验力第 i 次测量示值, N ;

$\overline{F_i}$ ——初黏性测试仪试验力 10 次示值平均值, N;

n ——测量次数。

实际测量取三次平均值作为测量结果,则重复性引入的不确定度分量为:

$$u_1(\overline{F_i}) = \frac{s(F_i)}{\sqrt{3}} = 0.014 \text{ N} \quad (\text{D.5})$$

D.4.2.2 初黏性测试仪分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\overline{F_i})$

该初黏性测试仪实际分辨力为 0.01 N,其数显量化误差以等概率分布在半宽为 0.005 N 的区间内,则:

$$u_2(F_i) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ N} \quad (\text{D.6})$$

由于重复性带来的不确定度分量大于分辨力带来的不确定度分量，故只考虑重复性带来的影响。则 $u(\overline{F_i}) = 0.014 \text{ N}$ 。

D.4.3 输入量 F 引入的标准不确定度 $u(F)$

力值砝码最大允许误差为 $\pm 0.3\%$ ，标称值为 30 N ，按均匀分布，则：

$$u(F) = \frac{0.09}{\sqrt{3}} = 0.052 \text{ N} \quad (\text{D.7})$$

D.4.4 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 D.2。

表 D.2 不确定度分量汇总

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
$u(\overline{F_i})$	测量重复性引入的标准不确定度	0.014 N	0.0333 N^{-1}	0.047%
$u(F)$	力值砝码最大允许误差引入的标准不确定度	0.052 N	-0.0334 N^{-1}	-0.174%

D.5 合成标准不确定度

各不确定度分量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u(\overline{F_i}) + u(F)} = \sqrt{0.047\%^2 + 0.174\%^2} = 0.18\% \quad (\text{D.8})$$

D.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k = 2$ ，试验力测量结果的扩展不确定度为：

$$U_{rel} = ku_c = 2 \times 0.18\% = 0.36\% \quad (\text{D.9})$$

附录 E

线位移传感器校准试验速度测量结果不确定度评定示例

E.1 校准方法：将拉线位移传感器的底端固定在初黏性测试仪的底部，拉线的上端吸附在初黏性测试仪上夹持器上，调整拉线位移传感器钢丝绳拉伸方向与初黏性测试仪夹持器运动方向一致。调整零点，设定试验速度为 300 mm/min，启动初黏性测试仪同时按动秒表，计时 30 秒左右按停秒表，记录秒表示值 t ，拉线位移传感器位移变化量 l ，重复测量 3 次，根据公式计算初黏性测试仪试验速度。

E.2 测量模型

初黏性测试仪试验速度的测量模型：

$$v_i = \frac{l \times 60}{t} \quad (\text{E. 1})$$

式中：

v_i ——试验速度第 i 次测量结果，mm/min；

l ——拉线位移传感器位移变化的平均值，mm；

t ——秒表示值，s。

E.3 方差和灵敏系数

方差：

$$u_c^2 = c(l)^2 u(l)^2 + c(t)^2 u(t)^2 \quad (\text{E. 2})$$

灵敏系数：

$$c(l) = \frac{\partial v_i}{\partial l} = \frac{60}{t} ; \quad c(t) = \frac{\partial v_i}{\partial t} = -\frac{60 \times l}{t^2}$$

E.4 标准不确定度评定

E.4.1 不确定度来源

初黏性测试仪试验速度测量结果不确定度主要由试验速度测量重复性引入的标准不确定度 $u(v_i)$ 、拉线位移传感器引入的标准不确定度 $u(l)$ 和秒表引入的标准不确定度 $u(t)$

E.4.2 测量重复性引入的不确定度分量 $u(v_i)$

在重复性条件下，对初黏性测试仪试验速度进行 10 次重复测量，得表 E.1 测量列：

表 E.1 初黏性测试仪试验速度重复性试验数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间/s	29.47	29.97	29.69	29.53	29.17	29.43	29.39	29.11	29.85	29.38
位移/mm	146.14	148.05	146.99	146.29	144.61	145.51	145.58	144.17	147.34	145.73
速度 /(mm/min)	297.54	296.40	297.05	297.24	297.45	299.66	297.20	297.16	296.16	297.61

计算初黏性测试仪试验速度算术平均值：

$$\bar{v}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i = 297.35 \text{ mm/min} \quad (\text{E.3})$$

采用贝塞尔公式，计算单次测量的实验标准偏差：

$$s(v_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v}_i)^2}{n-1}} = 0.939 \text{ mm/min} \quad (\text{E.4})$$

式中：

v_i ——初黏性测试仪试验速度第 i 次测量值，mm/min；

$\bar{v}_i$ ——初黏性测试仪试验速度 10 次示值平均值，mm/min；

n ——测量次数。

实际测量取 3 次平均值作为测量结果，则重复性引入的不确定度分量为：

$$u_1(v_i) = \frac{s(v_i)}{\sqrt{3}} = 0.54 \text{ mm/min} \quad (\text{E.5})$$

E.4.3 拉线位移传感器引入的标准不确定度 $u(l)$

E.4.3.1 拉线位移传感器最大允许误差引入的标准不确定度 $u_1(l)$

拉线位移传感器最大允许误差为 $\pm 0.1\%$ ，按均匀分布，则：

$$u_1(l) = \frac{0.146}{\sqrt{3}} = 0.084 \text{ mm} \quad (\text{E.6})$$

E. 4.3.1 拉线位移传感器拉伸方向与初黏性测试仪上夹持器运动方向不平行引入的不确定度分量 $u_2(l)$

拉线位移传感器拉伸方向与初黏性测试仪上夹持器运动方向角值偏差不超过 5° ，角值偏差对位移影响量不超过 $\pm 0.4\%$ ，在 150mm 范围内，角值偏差对位移影响量不超过 $\pm 0.6\text{mm}$ ，应按均匀分布，则：

$$u_2(l) = \frac{0.6}{\sqrt{3}} = 0.347 \text{ mm} \quad (\text{E. 7})$$

E. 4.4 秒表引入的标准不确定度 $u(t)$

E. 4.4.1 秒表最大允许误差引入的标准不确定度 $u_1(t)$

秒表最大允许误差为 $\pm 0.07 \text{ s}/10 \text{ min}$ ，按均匀分布，则：

$$u_1(t) = \frac{0.07}{\sqrt{3}} = 0.04 \text{ s} \quad (\text{E. 8})$$

E. 4.4.2 测量时同步误差引入的不确定度分量 $u_2(t)$

测量时同步误差不超过 0.2 s ，按均匀分布，则：

$$u_2(t) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.116 \text{ s} \quad (\text{E. 9})$$

注：由秒表和拉线位移传感器分辨力所引入的不确定度与其他因素引入的不确定度相比贡献量小，故对其引入的不确定度分量忽略不计。

E. 4.5 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 E. 2。

表 E. 2 不确定度分量汇总

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
u_1	测量重复性引入的不确定度分量	0.54 mm/min	1	0.54 mm/min

表 E.2 不确定度分量汇总 (续)

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
$u_1(l)$	拉线位移传感器最大允许误差引入的不确定度分量	0.084 mm	2.034 min^{-1}	0.171 mm/min
$u_2(l)$	拉线位移传感器拉伸方向与初黏性测试仪上夹持器运动方向不平行引入的不确定度分量	0.387 mm	2.034 min^{-1}	0.788 mm/min
$u_1(t)$	秒表最大允许误差引入的不确定度分量	0.04 s	$-10.070 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	-0.403 mm/min
$u_2(t)$	测量时同步误差引入的不确定度分量	0.116 s	$-10.070 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	-1.169 mm/min

E.5 合成标准不确定度

各不确定度分量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u^2(v_i) + u_1^2(l) + u_2^2(l) + u_1^2(t) + u_2^2(t)} \quad (\text{E. 10})$$

$$u_c = \sqrt{0.54^2 + 0.171^2 + 0.788^2 + 0.403^2 + 1.169^2} = 1.58 \text{ mm/min}。$$

E.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k = 2$ ，试验速度测量结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 1.58 = 3.16 \approx 3.2 \text{ mm/min}。 \quad (\text{E. 11})$$

附录 F

高度卡尺校准试验速度测量结果不确定度评定示例

F.1 校准方法：用高度卡尺测量上夹持器底部高度，记录数据 L_1 ，设定试验速度为 300 mm/min，启动测试仪同时按动秒表，计时 30 秒左右按停秒表，记录秒表示值 t ，此时用高度卡尺测量上夹持器底部高度，记录数据 L_2 ，重复测量 3 次，根据公式计算试验速度。

F.2 测量模型

初黏性测试仪试验速度的测量模型：

$$v_i = \frac{(L_2 - L_1) \times 60}{t} \quad (\text{F.1})$$

式中：

v_i ——试验速度第 i 次测量结果，mm/min；

L_1 ——测试仪运行前，高度卡尺测量上夹持器底部高度，mm；

L_2 ——测试仪运行后，高度卡尺测量上夹持器底部高度，mm；

t ——秒表示值，s。

F.3 方差和灵敏系数

方差：

$$u_c^2 = c(L_1)^2 u(L_1)^2 + c(L_2)^2 u(L_2)^2 + c(t)^2 u(t)^2 \quad (\text{F.2})$$

灵敏系数：

$$c(L_1) = \frac{\partial v_i}{\partial L_1} = -\frac{60}{t} ; \quad c(L_2) = \frac{\partial v_i}{\partial L_2} = \frac{60}{t} ; \quad c(t) = \frac{\partial v_i}{\partial t} = -\frac{60 \times (L_2 - L_1)}{t^2}$$

F.4 标准不确定度评定

F.4.1 不确定度来源

初黏性测试仪试验速度测量结果不确定度主要由试验速度测量重复性引入的标准不确定度 $u(v_i)$ 、高度卡尺引入的标准不确定度 $u(L)$ 和秒表引入的标准不确定度 $u(t)$

F.4.2 测量重复性引入的不确定度分量 $u(v_i)$

在重复性条件下,对初黏性测试仪试验速度进行 10 次重复测量,得表 F.1 测量列:

表 F.1 初黏性测试仪试验速度重复性试验数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间/s	29.66	29.85	29.54	29.57	29.41	29.33	29.89	29.16	29.15	29.18
L_1/mm	42.24	41.18	42.68	44.14	42.86	40.52	42.38	44.06	42.36	41.66
L_2/mm	188.66	188.86	189.06	190.26	188.62	186.14	189.84	188.26	186.64	186.54
速度 /(mm/min)	296.20	296.84	297.32	296.49	297.37	297.89	296.01	296.71	296.97	297.90

计算初黏性测试仪试验速度算术平均值:

$$\bar{v}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i = 296.97 \text{ mm/min} \quad (\text{F.3})$$

采用贝塞尔公式,计算单次测量的实验标准偏差:

$$s(v_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v}_i)^2}{n-1}} = 0.652 \text{ mm/min} \quad (\text{F.4})$$

式中:

v_i ——初黏性测试仪试验速度第 i 次测量值, mm/min;

$\bar{v}_i$ ——初黏性测试仪试验速度 10 次示值平均值, mm/min;

n ——测量次数。

实际测量取 3 次平均值作为测量结果,则重复性引入的不确定度分量为:

$$u(v_i) = \frac{s(v_i)}{\sqrt{3}} = 0.38 \text{ mm/min} \quad (\text{F.5})$$

F.4.3 高度卡尺引入的标准不确定度 $u(L)$

F.4.3.1 输入量 L_2 引入的标准不确定度 $u(L_2)$

主要由高度卡尺最大允许误差引入，高度卡尺最大允许误差为 $\pm 0.03 \text{ mm}$ ，按均匀分布，则：

$$u(L_2) = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.018 \text{ mm} \quad (\text{F. 6})$$

F. 4. 3. 2 输入量 L_1 引入的标准不确定度 $u(L_1)$

主要由高度卡尺最大允许误差引入，高度卡尺最大允许误差为 $\pm 0.03 \text{ mm}$ ，按均匀分布，则：

$$u(L_1) = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.018 \text{ mm} \quad (\text{F. 7})$$

F. 4. 4 秒表引入的标准不确定度 $u(t)$

F. 4. 4. 1 秒表最大允许误差引入的标准不确定度 $u_1(t)$

秒表最大允许误差为 $\pm 0.07 \text{ s}/10 \text{ min}$ ，按均匀分布，则：

$$u_1(t) = \frac{0.07}{\sqrt{3}} = 0.04 \text{ s} \quad (\text{F. 8})$$

F. 4. 4. 2 测量时同步误差引入的不确定度分量 $u_2(t)$

测量时同步误差不超过 0.2 s ，按均匀分布，则：

$$u_2(t) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.116 \text{ s} \quad (\text{F. 9})$$

注：由秒表和高度卡尺分辨力所引入的不确定度与其他因素引入的不确定度相比贡献量小，故对其引入的不确定度分量忽略不计。

F. 4. 5 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 F. 2。

表 F. 2 不确定度分量汇总

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
$u(v_i)$	测量重复性引入的不确定度分量	0.38 mm/min	1	0.38 mm/min

表 F.2 不确定度分量汇总 (续)

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
$u(L_2)$	输入量 L_2 引入的不确定度分量	0.018 mm	2.036 min^{-1}	0.037 mm/min
$u(L_1)$	输入量 L_1 引入的不确定度分量	0.018 mm	-2.036 min^{-1}	-0.037 mm/min
$u_1(t)$	秒表最大允许误差引入的不确定度分量	0.04 s	$-10.076 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	-0.403 mm/min
$u_2(t)$	测量时同步误差引入的不确定度分量	0.116 s	$-10.076 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	-1.169 mm/min

F.5 合成标准不确定度

各不确定度分量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u^2(v_i) + u^2(L_1) + u^2(L_2) + u_1^2(t) + u_2^2(t)} \quad (\text{F.10})$$

$$u_c = \sqrt{0.38^2 + 0.037^2 + 0.037^2 + 0.403^2 + 1.169^2} = 1.30 \text{ mm/min}。$$

F.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k = 2$ ，试验速度测量结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 1.30 = 2.6 \text{ mm/min}。 \quad (\text{F.11})$$

附录 G

试验板厚度测量结果不确定度评定示例

G.1 校准方法：用游标卡尺直接测量试验板厚度，均匀选择三个位置进行测量，取平均值作为校准结果。

G.2 测量模型

初黏性测试仪试验板厚度的测量模型：

$$h = \bar{h} \quad (\text{G.1})$$

式中：

h ——试验板厚度；

$\bar{h}$ ——游标卡尺 3 次测量试验板厚度平均值。

G.3 方差和灵敏系数

方差：

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

灵敏系数：

$$c(\bar{h}) = \frac{\partial h}{\partial \bar{h}} = 1$$

G.4 标准不确定度评定

G.4.1 不确定度来源

试验板厚度测量结果不确定度来源主要由游标卡尺测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\bar{h})$ 和游标卡尺最大允许误差引入的标准不确定度 $u_2(\bar{h})$ 组成。

G.4.2 测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(\bar{h})$

在重复性条件下，对初黏性测试仪试验板厚度进行 10 次重复测量，得表 G.1 测量列：

表 G.1 初黏性测试仪试验板厚度重复性试验数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
试验板厚度测量值 h_i/mm	1.58	1.58	1.56	1.56	1.58	1.58	1.58	1.60	1.58	1.58

计算试验板厚度的算术平均值：

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i = 1.578 \text{ mm} \quad (\text{G. 3})$$

采用贝塞尔公式，计算单次测量的实验标准偏差

$$s(h) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n-1}} = 0.0114 \text{ mm} \quad (\text{G. 4})$$

式中：

L_i ——试验板厚度第 i 次测量结果，mm；

$\bar{L}$ ——试验板厚度 10 次测量结果的平均值，mm；

n ——测量次数。

实际测量取三次平均值作为测量结果，则重复性引入的不确定度分量

$$u_1(\bar{h}) = \frac{s(h)}{\sqrt{3}} = 0.007 \text{ mm} \quad (\text{G. 5})$$

G. 4.3 游标卡尺读数的对线误差引入的不确定度分量 $u_2(\bar{h})$

对于分度值为 0.02 mm 的游标卡尺，对线误差分布区间为 0.01 mm。该对线误差为均匀分布，则：

$$u_2(\bar{h}) = \frac{0.01}{2 \times \sqrt{3}} = 0.003 \text{ mm} \quad (\text{G. 6})$$

由于重复性带来的不确定度分量大于游标卡尺读数的对线误差带来的不确定度分量，故只考虑重复性带来的影响。

G. 4.4 游标卡尺最大允许误差引入的不确定度分量 $u_3(\bar{h})$

游标卡尺最大允许误差为 $\pm 0.03 \text{ mm}$ ，按均匀分布，则：

$$u_3(\bar{h}) = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.0173 \text{ mm} \quad (\text{G. 7})$$

G.4.5 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 G.2

表 G.2 不确定度分量汇总

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
$u_1(\bar{h})$	测量重复性引入的不确定度分量	0.007 mm	1	0.007 mm
$u_3(\bar{h})$	游标卡尺最大允许误差引入的不确定度分量	0.0173 mm	1	0.0173 mm

G.5 合成标准不确定度

各不确定度分量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2(\bar{h}) + u_3^2(\bar{h})} = \sqrt{0.007^2 + 0.0173^2} = 0.019 \text{ mm} \quad (\text{G.8})$$

G.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k = 2$ ，试验板测量结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.019 = 0.038 \approx 0.04 \text{ mm} \quad (\text{G.9})$$

附录 H

试验板工作面粗糙度测量结果不确定度评定示例

H.1 校准方法：用表面粗糙度测量仪测量，取样长度选择 0.25 mm，评定长度为 5 倍取样长度。在试验板工作面选取均匀分布的三个位置测量，取三个位置测量值的算术平均值作为试验板的工作面粗糙度测量结果。

H.2 测量模型

初黏性测试仪试验板工作面粗糙度的测量模型：

$$Y = \bar{d} \quad (\text{H.1})$$

式中：

Y ——初黏性测试仪试验板工作面粗糙度 R_a ， μm ；

$\bar{d}$ ——粗糙度测量仪三次测量读取的算术平均值 R_a ， μm 。

H.3 方差和灵敏系数

方差：

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

灵敏系数：

$$c(Y) = \frac{\partial Y}{\partial \bar{d}} = 1$$

H.4 标准不确定度评定

H.4.1 不确定度来源

测试仪钢球表面粗糙度测量结果不确定度主要由表面粗糙度测量仪测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\bar{d})$ 和表面粗糙度测量仪最大允许误差引入的标准不确定度 $u_2(\bar{d})$ 组成。

H.4.2 测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(\bar{d})$

在重复性条件下，对初黏性测试仪试验板工作面粗糙度进行 10 次重复测量，得表 H.1 测量列：

表 H.1 初黏性测试仪试验板工作面粗糙度重复性试验数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
试验板工作面粗糙度 $d_i / \mu\text{m}$	0.035	0.033	0.033	0.035	0.035	0.037	0.033	0.036	0.035	0.035

计算试验板工作面粗糙度的算术平均值：

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i = 0.0347 \mu\text{m} \quad (\text{H. 3})$$

采用贝塞尔公式，计算单次测量的实验标准偏差

$$s(d) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} = 0.0014 \mu\text{m} \quad (\text{H. 4})$$

式中：

d_i ——试验板工作面粗糙度第 i 次测量结果， μm ；

$\bar{d}$ ——试验板工作面粗糙度 10 次测量结果的平均值， μm ；

n ——测量次数。

实际测量取三次平均值作为测量结果，则重复性引入的不确定度分量

$$u_1(\bar{d}) = \frac{s(d)}{\sqrt{3}} = 0.0008 \mu\text{m} \quad (\text{H. 5})$$

H.4.3 表面粗糙度测量仪最大允许误差引入的不确定度分量 $u_2(\bar{d})$

使用 B 类方法评定，测量标准为表面粗糙度测量仪，测量点粗糙度为 $0.0347 \mu\text{m}$ ，最大允许误差为 $\pm 0.00174 \mu\text{m}$ ，即区间半宽 $a = 0.00174 \mu\text{m}$ ，按均匀分布，则：

$$u_2(\bar{d}) = \frac{0.00174}{\sqrt{3}} = 0.001 \mu\text{m} \quad (\text{H. 6})$$

注：由粗糙度测量仪分辨力所引入的不确定度与其他因素引入的不确定度相比贡献量小，故对其引入的不确定度分量忽略不计。

H.4.4 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 H.2。

表 H.2 不确定度分量汇总

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	不确定度分量
$u_1(\bar{d})$	测量重复性引入的不确定度分量	0.0008 μm	1	0.0008 μm
$u_2(\bar{d})$	表面粗糙度测量仪最大允许误差引入的不确定度分量	0.001 μm	1	0.001 μm

H.5 合成标准不确定度

各不确定度分量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2(\bar{d}) + u_2^2(\bar{d})} = \sqrt{0.0008^2 + 0.001^2} = 0.00128 \mu\text{m} \quad (\text{H.7})$$

H.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k = 2$ ，试验板工作面粗糙度测量结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.00128 = 0.00256 \mu\text{m}。 , U_{rel} = 7.4\% \quad (\text{H.8})$$