



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（滚球法）
校准规范

Calibration Specification for Adhesive Tape Initial

Tack Tester (Rolling Ball 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（滚 球法）校准规范

Calibration Specification for
Adhesive Tape Initial Tack Tester
(Rolling Ball 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

东莞市帝恩检测有限公司

参加起草单位：北京时代凌云智测科技有限公司

济南兰光机电技术有限公司

安徽省产品质量监督检验研究院

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：

孙东旗（国检测试控股集团计量检测有限公司）

胡佳林（国检测试控股集团计量检测有限公司）

邓 军（深圳天溯计量检测股份有限公司）

张 忠（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）

参加起草人：

何克勤（北京时代凌云智测科技有限公司）

郝文静（济南兰光机电技术有限公司）

郭志强（安徽省产品质量监督检验研究院）

目 录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 初黏性	1
4 概述	1
5 计量特性	3
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
6.2 测量标准及其他设备	3
7 校准项目和校准方法	4
7.1 校准项目	4
7.2 校准方法	4
8 校准结果	7
8.1 校准记录	7
8.2 校准证书	7
8.3 不确定度	7
9 复校时间间隔	7
附录 A 钢球公称直径与取样长度对应关系	8
附录 B GB/T 4852 斜面滚球法初黏性测试仪钢球球号及规格	9
附录 C 中华人民共和国药典斜面滚球法初黏性测试仪钢球球号及规格	10
附录 D 胶黏带初黏性测试仪（滚球法）校准记录参考格式	11
附录 E 胶黏带初黏性测试仪（滚球法）校准证书内页参考格式	13
附录 F 倾斜角度误差测量结果不确定度评定示例	14
附录 G 钢球表面粗糙度测量结果不确定度评定示例	17
附录 H 钢球直径偏差测量结果不确定度评定示例	20
附录 I 倾斜板助滚长度测量结果不确定度评定示例	24

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 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 4852—2002《压敏胶粘带初粘性试验方法（滚球法）》、JB/T 7051—2006《滚动轴承零件 表面粗糙度测量和评定方法》、《中华人民共和国药典（2025 年版，第四部分 通则 0952 黏附力测定法）》制定。

本规范为首次发布。

胶黏带初黏性测试仪（滚球法）校准规范

1 范围

本规范适用于滚球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

GB/T 4852—2002 压敏胶粘带初粘性试验方法（滚球法）

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 术语和定义

以下术语和定义适用于本规范

3.1 初黏性 initial tack

物体和压敏胶黏带黏性面之间以微小压力发生短暂接触时，胶黏带对物体的黏附作用。

[来源：GB/T 4852—2002，3]

4 概述

滚球法胶黏带初黏性测试仪（以下简称“测试仪”）是用于评估压敏胶带、不干胶等材料初始黏性的仪器。根据工作原理可分为斜面滚球法和斜槽滚球法。斜面滚球法初黏性测试仪通过将钢球滚过平放在倾斜板上的胶黏带黏性面，以规定长度的黏性面能黏住的最大钢球尺寸，评价其初黏性大小，主要由底座、水平泡、角度调节机构等部分组成，其结构见图 1；斜槽滚球法初黏性测试仪通过将规定大小的钢球滚过倾斜槽，测量钢球在水平板上胶黏带黏性面上滚动距离来评价其初黏性大小，主要由钢球、倾斜槽、水平泡等部分组成，其结构见图 2。

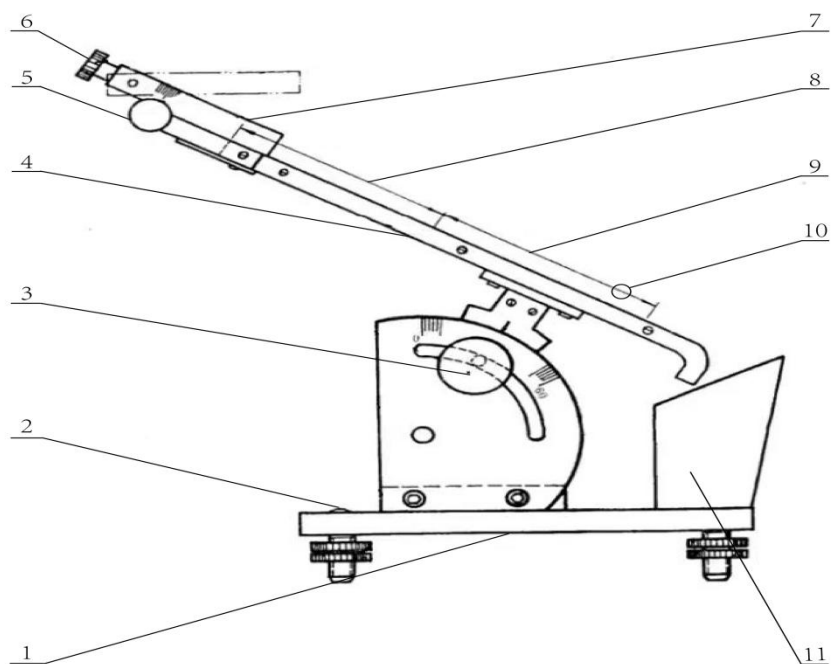


图 1 斜面滚球法初黏性测试仪结构示意图

1—底座；2—水平泡；3—角度调节机构；4—倾斜板；5—钢球位置左右调节旋钮；
6—钢球位置上下调节旋钮；7—放球器；8—助滚段；9—测试段；10—钢球；11—接球器

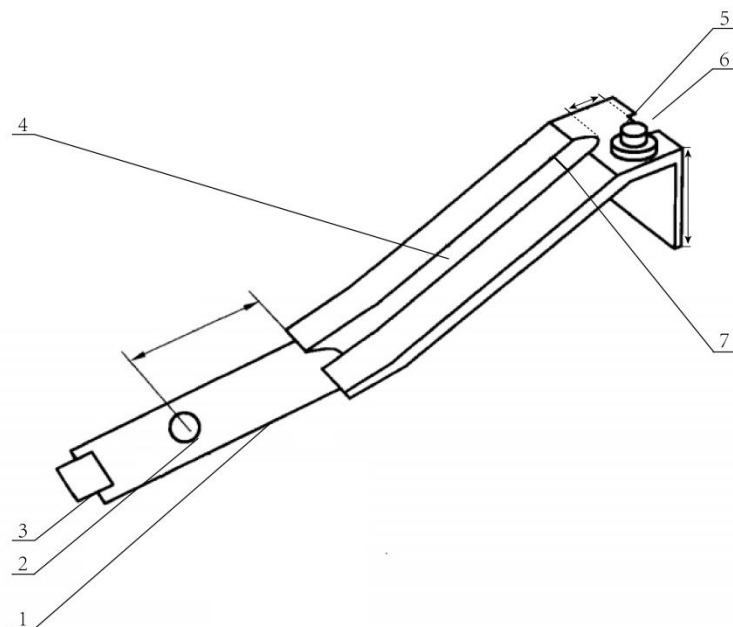


图 2 斜槽滚球法初黏性测试仪结构示意图

1—试片；2—钢球；3—固定用胶黏带；4—倾斜槽；5—水平泡；6—启动开关；7—开闭装置

5 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			
			斜面滚球法		斜槽滚球法	
1	倾斜角度误差/°		MPE：±0.5		MPE：±0.5	
2	钢球	表面粗糙度 Ra/ μ m	≤ 0.06		≤ 0.06	
3		直径偏差/ μ m	MPE：±16		MPE：±16	
4		直径变动量/ μ m	≤ 1		≤ 1	
5	倾斜板	助滚段长度/mm	100	MPE：±1.5	—	
6		测定段长度/mm	100	MPE：±1.5	—	
7	倾斜台	上平面宽度/mm	—		22.2	MPE：±1.6
8		高度/mm	—		65.1	MPE：±0.13
注：以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。						

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度条件

环境温度: (15~25) °C。

6.1.2 湿度条件

相对湿度: 40%~70%。

6.1.3 其他条件

仪器底部应平稳, 无影响正常工作的晃动。

6.2 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	倾斜角度误差		数显倾角仪：测量范围（0～90）°，MPE：±0.10°
2	钢球	表面粗糙度	表面粗糙度测量仪：MPE：±10%
3		直径偏差	杠杆千分尺：标准器引入的不确定度不大于被校钢球允许直径偏差的 1/3
4		直径变动量	
5	倾斜板	助滚段长度	钢直尺：测量范围（0～300）mm，测量范围 MPE：±0.1 mm
6		测定段长度	
7	倾斜台	上平面宽度	游标卡尺：测量范围（0～150）mm，测量范围 MPE:±0.03 mm
8		高度	高度卡尺：测量范围（0～150）mm，测量范围 MPE:±0.03 mm
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。			

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

测试仪的校准项目见表 2。

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

初黏性测试仪应有铭牌，标明产品名称、规格型号、出厂编号、制造厂、出厂日期等；仪器外观加工平整，部件齐全，无明显缺损，角度调整机构操作灵活可靠；倾斜板（倾斜槽）、钢球表面光滑、洁净，底座应能调节并保持装置水平状态。

7.2.2 倾斜角度误差

斜面滚球法校准角度为 30°，斜槽滚球法校准角度为 21° 30′，也可根据用户实际使用需求选择校准点。

将仪器平稳放置在水平台面，调节装置保持水平状态，将倾斜板调整至试验用角度，用数显倾角仪直接测量倾斜板（倾斜槽）与水平面夹角 θ ，重复测量 3 次，计算 3 次测量结果的算术平均值 $\bar{\theta}$ ，根据公式（1）计算倾斜角度误差，结果保留至小数点后两位。

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

式中：

$\Delta\theta$ ——倾斜角度误差, ° ;

θ ——初黏性测试仪标称角度, ° ;

$\bar{\theta}$ ——数显倾角仪 3 次测量平均值, ° 。

7.2.3 钢球

7.2.3.1 表面粗糙度

用表面粗糙度测量仪测量, 根据附录 A 选择取样长度, 评定长度为 5 倍取样长度。在被校钢球表面选取均匀分布的 5 个测量位置, 根据公式 (2) 计算钢球表面粗糙度。

如果上述测量值中最大值与最小值相差一倍以上, 测量位置应增加一倍, 并以全部测量值的算术平均值作为被校钢球表面粗糙度测量结果, 结果保留到 0.001 μm 。

$$Y = \bar{d} \quad (2)$$

式中:

Y ——钢球表面粗糙度 R_a , μm ;

$\bar{d}$ ——表面粗糙度测量仪 5 次测量平均值 R_a , μm 。

7.2.3.2 直径偏差与直径变动量

选择杠杆千分尺测量。调整杠杆千分尺测量下限, 转动微分筒, 使示值分别处于钢球标称尺寸 (修约至 0.01 mm) 的测量点, 锁紧测杆。将相应尺寸的钢球放入两测量面之间, 沿钢球表面选择 3 个互为 90° 的球径方向, 分别拨动测量按钮, 读取测量值 D_1 、 D_2 、 D_3 , 计算 3 次测量结果的算术平均值 $\bar{D}$, 根据公式 (3) 计算直径偏差, 结果保留到 0.0001 mm。

$$\Delta D = \bar{D} - D \quad (3)$$

式中:

ΔD ——钢球直径偏差, mm ;

$\bar{D}$ ——3 次测量钢球直径平均值, mm ;

D ——钢球直径标称值, mm 。

取 3 次测量最大值 $D_{\max}$ 与最小值 $D_{\min}$, 根据公式 (4) 计算钢球直径变动量, 结果保留到 0.0001 mm。

$$D_T = D_{\max} - D_{\min} \quad (4)$$

式中:

D_T ——钢球直径变动量, mm ;

$D_{\max}$ ——3 次测量钢球直径最大值, mm ;

$D_{\min}$ ——3 次测量钢球直径最小值, mm 。

7.2.4 倾斜板

7.2.4.1 助滚段长度

用钢直尺直接测量倾斜板助滚段标志线之间距离, 重复测量 3 次, 根据公式 (5) 计算倾斜板助滚段长度, 结果保留到 0.1 mm。

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

式中:

L ——倾斜板助滚段长度, mm ;

$\bar{L}$ ——钢直尺 3 次测量平均值, mm。

7.2.4.2 测定段长度

用钢直尺直接测量倾斜板测定段标志线之间距离, 重复测量 3 次, 根据公式 (6) 计算倾斜板测定段长度, 结果保留到 0.1 mm。

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

式中:

L' ——倾斜板测定段长度, mm ;

$\bar{L}'$ ——钢直尺 3 次测量平均值, mm。

7.2.5 倾斜台

7.2.5.1 上平面宽度

用游标卡尺直接测量, 重复测量 3 次, 根据公式 (7) 计算倾斜台上平面宽度, 结果保留至小数点后两位。

$$l = \bar{l} \quad (7)$$

式中:

l ——倾斜台板上平面宽度, mm ;

$\bar{l}$ ——游标卡尺 3 次测量平均值, mm。

7.2.5.2 高度

将倾斜台平稳放置, 用高度卡尺直接测量, 重复测量 3 次, 根据公式 (8) 计算倾斜台高度, 结果保留至小数点后两位。

$$l' = \bar{l'} \quad (8)$$

式中:

l' ——倾斜台高度, mm ;

$\bar{l'}$ ——高度卡尺 3 次测量平均值, mm。

8 校准结果

8.1 校准记录

校准记录应详尽记录测量数据和计算结果, 推荐的校准原始记录内容格式见附录 D。

8.2 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 E。

8.3 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 F、附录 G、附录 H、附录 I。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由测定仪的使用情况、使用者、测定仪本身质量等诸多因素决定的。因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔, 复校时间间隔建议不超过 12 个月。

附录 A

钢球公称直径与取样长度对应关系

单位: mm

被校钢球公称直径	取样长度
$d \leq 2$	0.08
$2 < d \leq 6$	0.25
$6 < d \leq 18$	0.8
$18 < d$	2.5

附录 B

GB/T 4852 斜面滚球法初黏性测试仪钢球球号及规格

球号	公称直径/mm	球号	公称直径/mm
2	1.588	17	13.494
3	2.381	18	14.288
4	3.175	19	15.081
5	3.969	20	15.875
6	4.762	21	16.669
7	5.556	22	17.462
8	6.350	23	18.256
9	7.144	24	19.050
10	7.938	25	19.844
11	8.731	26	20.638
12	9.525	28	22.225
13	10.319	29	23.019
14	11.112	30	23.812
15	11.906	32	25.400
16	12.700		

附录 C

中华人民共和国药典斜面滚球法初黏性测试仪钢球球号及规格

球号	公称直径/mm	球号	公称直径/mm	球号	公称直径/mm
1	0.794	17	11.906	33	25.400
2	1.588	18	12.303	34	26.988
3	2.381	19	12.700	35	28.575
4	3.175	20	13.494	36	30.163
5	3.969	21	14.288	37	31.750
6	4.763	22	15.081	38	33.338
7	5.556	23	15.875	39	34.925
8	5.953	24	16.669	40	36.513
9	6.350	25	17.463	41	38.100
10	7.144	26	18.256	42	41.275
11	7.938	27	19.050	43	42.863
12	8.731	28	19.844	44	44.450
13	9.525	29	20.638	45	47.625
14	10.319	30	22.225	46	50.800
15	11.113	31	23.019		
16	11.509	32	23.813		

附录 D

胶黏带初黏性测试仪（滚球法）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，部件是否齐全，角度调整机构是否灵活 是 ☐ 否 ☐						
	3. 倾斜板、钢球表面是否光滑、洁净，底座是否可调节至水平状态 是 ☐ 否 ☐						
校准结果							
校准项目		技术要求	测量值			校准结果	扩展不确定度 ($k=2$)
			1	2	3		
倾斜角度误差/°							
钢球	直径偏差/ μm						
	直径变动量/ μm						
	表面粗糙度/ μm				/		
倾斜板 (斜面滚球法)	助滚段长度/mm						
	测定段长度/mm						
倾斜台 (斜槽滚球法)	测定段长度/mm						
	高度/mm						
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	

(续)

共 页 第 页

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（滚球法）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 E

胶黏带初黏性测试仪（滚球法）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（滚球法）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
校准结果					
序号	校准项目		技术要求	校准结果	扩展不确定度 ($k=2$)
1	倾斜角度误差/°				
2	钢球	直径偏差/ μm			
3		直径变动量/ μm			
4		表面粗糙度/ μm			
5	倾斜板 (斜面滚球法)	助滚段长度/mm			
6		测定段长度/mm			
7	倾斜台 (斜槽滚球法)	测定段长度/mm			
8		高度/mm			
备注					

附录 F

倾斜角度误差测量结果不确定度评定示例

F.1 校准方法：以斜槽滚球法初黏性测试仪为例，进行倾斜角度误差的不确定度评定。将仪器平稳放置在水平台面，用数显倾角仪直接测量倾斜槽与水平面夹角，重复测量 3 次，取平均值作为校准结果。

F.2 测量模型

倾斜角度误差的测量模型：

$$\Delta\theta = \theta - \bar{\theta} \quad (\text{F.1})$$

式中：

$\Delta\theta$ ——倾斜角度误差，°；

θ ——初黏性测试仪标称角度，°；

$\bar{\theta}$ ——数显倾角仪 3 次测量平均值，°。

F.3 方差和灵敏系数

方差：

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

灵敏系数：

$$c(\bar{\theta}) = \frac{\partial \Delta\theta}{\partial \bar{\theta}} = -1 \quad (\text{F.3})$$

F.4 标准不确定度评定

F.4.1 不确定度来源

测试仪倾斜角度误差测量结果不确定度来源主要由倾角仪测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\bar{\theta})$ 和倾角仪最大允许误差引入的标准不确定度 $u_2(\bar{\theta})$ 组成。

F.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\bar{\theta})$

在重复性条件下，对斜槽滚球法初黏性测试仪倾斜槽角度误差进行 10 次重复测量，得表 F.1 测量列：

表 F.1 倾斜角度误差重复性试验数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
倾斜角度测量值 $\theta_i / ^\circ$	21.55	21.65	21.55	21.55	21.60	21.55	21.60	21.60	21.55	21.55
倾斜角度误差 $\Delta\theta / ^\circ$	-0.05	-0.15	-0.05	-0.05	-0.10	-0.05	-0.10	-0.10	-0.05	-0.05

计算倾斜角度的算术平均值：

$$\bar{\theta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i = 21.575^\circ \quad (\text{F.4})$$

采用贝塞尔公式，计算单次测量的实验标准偏差

$$s(\theta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2}{n-1}} = 0.036^\circ \quad (\text{F.5})$$

式中：

θ_i ——倾斜角度第 i 次测量结果， $^\circ$ ；

$\bar{\theta}$ ——倾斜角度 10 次测量结果的平均值， $^\circ$ ；

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

$$u_1(\bar{\theta}) = \frac{s(\theta)}{\sqrt{3}} = 0.021^\circ \quad (\text{F.6})$$

F.4.3 标准器引入的标准不确定度 $u_2(\bar{\theta})$

数显倾角仪最大允许误差为 $\pm 0.10^\circ$ ，即区间半宽 $a = 0.10^\circ$ ，按均匀分布，则：

$$u_2(\bar{\theta}) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058^\circ \quad (\text{F.7})$$

注：由数显角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。

F.4.4 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
$u_1(\bar{\theta})$	测量重复性引入标准不确定度	0.021 °	-1	-0.021 °
$u_2(\bar{\theta})$	标准器引入的标准不确定度	0.058 °	-1	-0.058 °

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：

$$u_c = \sqrt{u_1^2(\bar{\theta}) + u_2^2(\bar{\theta})} = \sqrt{0.021^2 + 0.058^2} = 0.062^\circ \quad (\text{F.8})$$

F.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k = 2$ ，倾斜角度误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.062 = 0.124 \approx 0.15^\circ \quad (\text{F.9})$$

附录 G

钢球表面粗糙度测量结果不确定度评定示例

G.1 测量方法：以公称直径为 11.112 mm 的钢球为例，进行不确定度评定。取样长度选择 0.8 mm，评定长度为 5 倍取样长度。在钢球表面选取均匀分布的 5 个位置测量，取 5 个位置测量值的算术平均值作为钢球表面粗糙度测量结果。

G.2 测量模型

钢球表面粗糙度的测量模型：

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

式中：

Y ——钢球表面粗糙度 R_a ， μm ；

d ——表面粗糙度测量仪 5 次测量平均值 R_a ， μm 。

G.3 方差和灵敏系数

方差：

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

灵敏系数：

$$c(\bar{d}) = \frac{\partial Y}{\partial \bar{d}} = 1 \quad (\text{G.3})$$

G.4 标准不确定度评定

G.4.1 不确定度来源

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。

G.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\bar{d})$

在重复性条件下，钢球表面粗糙度进行 10 次测量，得表 G.1 测量列：

表 G.1 钢球表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
钢球表面粗糙度 $d_i / \mu\text{m}$	0.041	0.045	0.044	0.046	0.045	0.047	0.043	0.040	0.049	0.047

计算钢球表面粗糙度的算术平均值:

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i = 0.0447 \text{ } \mu\text{m} \quad (\text{G.4})$$

采用贝塞尔公式, 计算单次测量的实验标准偏差

$$s(d) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} = 0.0028 \text{ } \mu\text{m} \quad (\text{G.5})$$

式中:

d_i ——钢球表面粗糙度第 i 次测量结果, μm ;

$\bar{d}$ ——钢球表面粗糙度 10 次测量结果的平均值, μm ;

n ——测量次数。

实际测量取 5 次平均值作为测量结果, 则重复性引入的不确定度分量

$$u_1(\bar{d}) = \frac{s(d)}{\sqrt{5}} = 0.00125 \text{ } \mu\text{m} \quad (\text{G.6})$$

G.4.3 标准器引入的标准不确定度 $u_2(\bar{d})$

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 $0.0447 \text{ } \mu\text{m}$, 最大允许误差为 $\pm 0.00447 \text{ } \mu\text{m}$, 即区间半宽 $a = 0.00447 \text{ } \mu\text{m}$, 按均匀分布, 则:

$$u_2(\bar{d}) = \frac{0.00447}{\sqrt{3}} = 0.0026 \text{ } \mu\text{m} \quad (\text{G.7})$$

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。

G.4.4 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
$u_1(\bar{d})$	测量重复性引入的标准不确定度	0.00125 μm	1	0.00125 μm
$u_2(\bar{d})$	标准器引入的标准不确定度	0.0026 μm	1	0.0026 μm

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：

$$u_c = \sqrt{u_1^2(\bar{d}) + u_2^2(\bar{d})} = \sqrt{0.00125^2 + 0.0026^2} = 0.00289 \mu\text{m} \quad (\text{G.8})$$

G.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k = 2$ ，钢球表面粗糙度测量结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.00289 = 0.00578 \mu\text{m} , \quad U_{rel} = 13\% \quad (\text{G.9})$$

附录 H

钢球直径偏差测量结果不确定度评定示例

H.1 测量方法：以公称直径 11.112 mm 的钢球为例，进行不确定度评定。选择杠杆千分尺测量。调整杠杆千分尺测量下限，转动微分筒，使示值分别处于钢球标称尺寸（修约至 0.01 mm）的测量点，锁紧测杆。将相应尺寸的钢球放入两测量面之间，沿钢球表面选择 3 个互为 90° 的球径方向，分别拨动测量按钮，读取测量值 D_1 、 D_2 、 D_3 ，取 3 次测量值的平均值作为钢球直径测量结果。

H.2 测量模型

钢球直径偏差测量模型：

$$\Delta D = \overline{D} - D \quad (\text{H.1})$$

式中：

ΔD ——钢球直径偏差，mm；

$\overline{D}$ ——3 次测量钢球直径平均值，mm；

D ——钢球直径标称值，mm。

H.3 方差和灵敏系数

方差：

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

灵敏系数：

$$c(\overline{D}) = \frac{\partial \Delta D}{\partial \overline{D}} = 1 \quad (\text{H.3})$$

H.4 标准不确定度评定

H.4.1 不确定度来源

钢球直径偏差误差测量结果不确定度来源主要由杠杆千分尺测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\overline{D})$ 、杠杆千分尺最大允许误差引入的标准不确定度 $u_2(\overline{D})$ 、线膨胀系数差引入的标准不确定度 $u_3(\overline{D})$ 、杠杆千分尺与钢球温度差引入的标准不确定度 $u_4(\overline{D})$ 组成。

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

在重复性条件下,对钢球直径进行 10 次重复测量,得表 H.1 测量列:

表 H.1 钢球直径重复性试验数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
钢球直径测量值 D_i/mm	11.1126	11.1127	11.1129	11.1126	11.1125
第 i 次测量	6	7	8	9	10
钢球直径测量值 D_i/mm	11.1125	11.1127	11.1126	11.1126	11.1127

计算钢球直径的算术平均值:

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i = 11.11264 \text{ mm} \quad (\text{H. 4})$$

采用贝塞尔公式,计算单次测量的实验标准偏差

$$s(D) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} = 0.00012 \text{ mm} \quad (\text{H. 5})$$

式中:

D_i ——钢球直径第 i 次测量结果, mm ;

$\bar{D}$ ——钢球直径 10 次测量结果的平均值, mm;

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

$$u_1(\bar{D}) = \frac{s(D)}{\sqrt{3}} = 0.00007 \text{ mm} \quad (\text{H. 6})$$

H.4.3 标准器最大允许误差引入的标准不确定度 $u_2(\bar{D})$

杠杆千分尺最大允许误差为 $\pm 0.004 \text{ mm}$ ，即区间半宽 $a = 0.004 \text{ mm}$ ，按均匀分布，则：

$$u_2(\bar{D}) = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0023 \text{ mm} \quad (\text{H. 7})$$

注：由杠杆千分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。

H. 4. 4 杠杆千分尺与钢球线膨胀系数差引入的标准不确定度 $u_3(\bar{D})$

取杠杆千分尺和钢球线膨胀系数均为 $\alpha = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，线膨胀系数差 $\delta\alpha$ 的界限为 $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，服从三角分布， $k = \sqrt{6}$ ， $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ ，则：

$$u_3(\bar{D}) = \frac{2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 11.112 \mu\text{m} \times 10^3 \times 5^\circ\text{C}}{\sqrt{6}} = 0.05 \mu\text{m} \quad (\text{H. 8})$$

H. 4. 5 杠杆千分尺与钢球之间温度差引入的标准不确定度 $u_4(\bar{D})$

杠杆千分尺和钢球之间存在温度差，以等概率落于区间 $\pm 1^\circ\text{C}$ 内任何处，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ， $\alpha = 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，则：

$$u_4(\bar{D}) = \frac{11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 11.112 \mu\text{m} \times 10^3 \times 1^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.08 \mu\text{m} \quad (\text{H. 9})$$

H. 4. 6 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
$u_1(\bar{D})$	测量重复性引入的标准不确定度	0.00007 mm	1	0.00007 mm
$u_2(\bar{D})$	标准器引入的标准不确定度	0.0023 mm	1	0.0023 mm

表 H.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
$u_3(\bar{D})$	线膨胀系数差引入的标准不确定度	$0.05 \mu\text{m}$	1	$0.05 \mu\text{m}$
$u_4(\bar{D})$	温度差引入的标准不确定度	$0.08 \mu\text{m}$	1	$0.08 \mu\text{m}$

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:

$$u_c = \sqrt{u_1^2(\bar{D}) + u_2^2(\bar{D}) + u_3^2(\bar{D}) + u_4^2(\bar{D})} = \sqrt{0.00007^2 + 0.0023^2 + 0.00005^2 + 0.00008^2} = 0.002303 \text{ mm} \quad (\text{H. 10})$$

H.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$, 取包含因子 $k = 2$, 钢球直径偏差测量结果的扩展不确定度为:

$$U = ku_c = 2 \times 0.002303 = 0.004606 \approx 0.0047 \text{ mm} \quad (\text{H. 11})$$

附录 I

倾斜板助滚长度测量结果不确定度评定示例

I.1 测量方法：用钢直尺直接测量倾斜板助滚段标志线之间距离，重复测量 3 次，取平均值作为测量结果。

I.2 测量模型

倾斜板助滚长度测量模型：

$$L = \bar{L} \quad (\text{I.1})$$

式中：

L ——倾斜板助滚长度，mm；

$\bar{L}$ ——钢直尺 3 次测量平均值，mm。

I.3 方差和灵敏系数

方差：

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

灵敏系数：

$$c(\bar{L}) = \frac{\partial L}{\partial \bar{L}} = 1 \quad (\text{I.3})$$

I.4 标准不确定度评定

I.4.1 不确定度来源

倾斜板助滚长度测量结果不确定度来源主要由钢直尺测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\bar{L})$ 和钢直尺最大允许误差引入的标准不确定度 $u_2(\bar{L})$ 组成。

I.4.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\bar{L})$

在重复性条件下，对倾斜板助滚长度进行 10 次重复测量，得表 C.7 测量列：

表 I.1 倾斜板助滚长度重复性试验数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
倾斜板助滚长度 测量值 L_i/mm	100.2	100.4	100.3	100.2	100.3	100.4	100.1	100.2	100.2	100.2

计算倾斜板助滚长度的算术平均值：

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i = 100.25 \text{ mm} \quad (\text{I.4})$$

采用贝塞尔公式，计算单次测量的实验标准偏差

$$s(L) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1}} = 0.098 \text{ mm} \quad (\text{I.5})$$

式中：

L_i ——倾斜板助滚长度第 i 次测量结果，mm；

$\bar{L}$ ——倾斜板助滚长度 10 次测量结果的平均值，mm；

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

$$u_1(\bar{L}) = \frac{s(L)}{\sqrt{3}} = 0.057 \text{ mm} \quad (\text{I.6})$$

I.4.3 标准器引入的标准不确定度 $u_2(\bar{L})$

钢直尺测量范围最大允许误差为 $\pm 0.1 \text{ mm}$ ，即区间半宽 $a = 0.1 \text{ mm}$ ，按均匀分布，则：

$$u_2(\bar{L}) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ mm} \quad (\text{I.7})$$

注：由钢直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。

I.4.4 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表 I.2

表 1.2 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
$u_1(\bar{L})$	测量重复性引入的标准不确定度	0.057 mm	1	0.057 mm
$u_2(\bar{L})$	标准器引入的标准不确定度	0.058 mm	1	0.058 mm

I.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：

$$u_c = \sqrt{u_1^2(\bar{L}) + u_2^2(\bar{L})} = \sqrt{0.057^2 + 0.058^2} = 0.082 \text{ mm} \quad (\text{I.8})$$

I.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U = ku_c$ ，取包含因子 $k = 2$ ，倾斜板助滚长度误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.082 = 0.164 \approx 0.2 \text{ mm} \quad (\text{I.9})$$