

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）××××-202×

润滑脂锥入度测定器校准规范

Calibration Specification for Lubricating grease Cone Penetration

Tester

（报批稿）

202×-××-××发布

202×-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

润滑脂锥入度测定器 校准规范

Calibration Specification for

Lubricating grease Cone Penetration Tester

JJF（石化）XXXX-202X

归口单位： 中国石油和化学工业联合会

主要起草单位： 济宁市质量计量检验检测研究院

山东理工职业学院

山东恒量测试科技有限公司

烟台市标准计量检验检测中心

青岛市黄岛区市场监督管理局

参加起草单位： 微山县计量检定测试所

本规范委托全国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：

赵 鑫（济宁市质量计量检验检测研究院）

纪祥娟（山东理工职业学院）

岳宗龙（山东恒量测试科技有限公司）

郝维涛（烟台市标准计量检验检测中心）

梁 彬（青岛市黄岛区市场监督管理局）

参加起草人：

王 军（济宁市质量计量检验检测研究院）

马明东（微山县计量检定测试所）

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	(3)
5.1 环境条件	(3)
5.2 测量标准及其他设备	(3)
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	(5)
7.1 校准记录	(5)
7.2 校准证书	(5)
7.3 不确定度	(5)
8 复校时间间隔	(6)
附录 A 校准记录格式	(7)
附录 B 校准证书内页内容	(8)
附录 C 测深示值误差测量结果不确定度评定示例	(9)
附录 D 时间控制误差测量结果不确定度评定示例	(13)
附录 E 锥体和杆的质量误差测量结果不确定度评定示例	(16)
附录 F 锥尖长度误差示值误差测量结果不确定度评定示例	(20)
附录 G 锥尖角度误差示值误差测量结果不确定度评定示例	(23)

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》和JJF 1059.1—2012 《测量不确定度评定及表示》等基础性系列规范进行制定。

本规范主要参考GB/T 269—1991 《润滑脂和石油脂锥入度测定法》编制而成。

本规范为首次发布。

润滑脂锥入度测定器校准规范

1 范围

本规范适用于润滑脂和石油脂稠度锥入度测定器的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

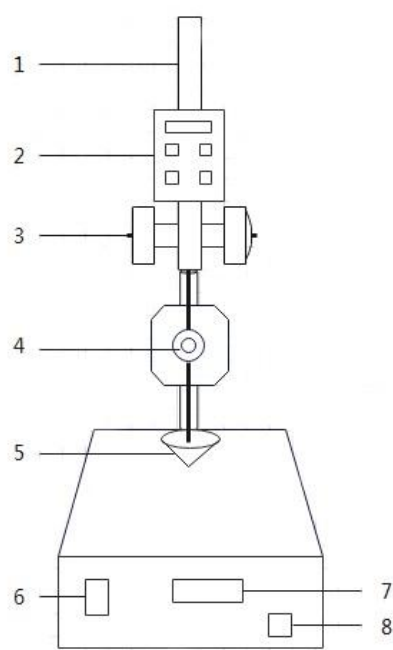
JJF 1071 国家计量校准规范编写规则

GB/T 269 润滑脂和石油脂锥入度测定法

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。

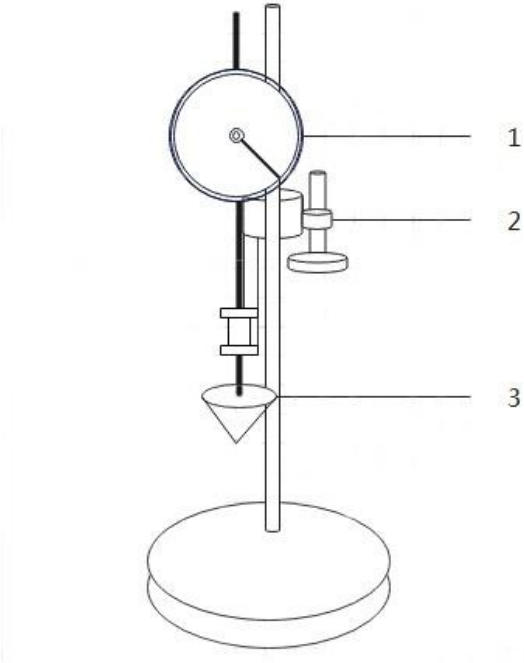
3 概述

润滑脂锥入度测定器（以下简称测定器）主要用于测定润滑脂和石油脂等物质的稠度（以锥入度值表示）。锥入度值是指在规定质量、规定温度（25℃）下标准圆锥体按自由落体垂直穿入装在标准脂杯内的润滑脂，经过 5 秒钟所达到的深度。锥入度值反映润滑脂的软硬程度。当圆锥体穿入润滑脂中越深，则锥入度越大，表示该润滑脂越稀；反之，锥入度越小，润滑脂就越硬。润滑脂锥入度值一般随温度而变化，温度升高，锥入度值变大；反之，则变小。



1—标尺；2—数显表；3—升降调节轮；4—滑杆释放钮；
5—椎体；6—电源开关；7—计时显示器；8—计时按钮

图 1 数显式润滑脂锥入度测定器结构示意图



1—指针表盘；2—调节轮；3—椎体；

图 2 指针式润滑脂锥入度测定器结构示意图

4 计量特性

具体计量特性见表 1 。

表 1 润滑脂锥入度测定器计量特性一览表

序号	项目			技术要求
1	测深示值误差			±3 个锥入度单位（±0.3mm）
2	时间控制误差			±0.1s
3	锥体及杆	锥体及杆的质量误差	全尺寸	±0.1g
			1/2 比例	±0.06g
			1/4 比例	±0.025g
		锥尖长度误差	全尺寸	±0.05mm
			1/2 比例	±0.025mm
			1/4 比例	±0.01mm
		锥角误差	全尺寸	±15 ′
			1/2 比例	
			1/4 比例	
注：时间控制误差仅适用于数显式润滑脂锥入度测定器。				
以上各项指标不适用于合格性判定，仅作参考。				

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度

环境温度：（15~30）℃。

5.1.2 湿度条件

相对湿度：不大于 80%。

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	测深示值误差	量块： 20mm、40mm、60mm，3 级或 5 等。
2	时间控制误差	秒表：分度值 0.01s.
3	锥体及杆的质量	天平：（0~200）g 准确度为Ⅰ级，分度值不大于 0.1 mg；
4	锥尖长度误差	万能工具显微镜： MPE: $\pm (1+L/100)\mu\text{m}$ 也可采用其他满足准确度等级要求的影像测量仪： MPE: $\pm (3+L/200)\mu\text{m}$
	锥角误差	

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

测定器校准项目见表 2。

6.2 校准方法

6.2.1 仪器外观检查

目测检查仪器的名称、型号、制造商、出厂编号等标识，测定器维护良好，能正常运行。测定器各部件齐全且连接正确，各按钮和控制器都能正常工作，无影响仪器正常使用的缺陷。

6.2.2 测深示值误差

先将测定器显示仪表调零，然后打开仪器连杆锁定装置，在测定器基座与连杆之间分别放入标准值为 20mm、40mm、60mm 的标准量块，记录仪表上的读数。重复测量 3 次，取算术平均值。测定器测深度示值误差按式（1）计算，结果保留 0.1 mm。

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

式中:

ΔL -----深度示值误差, mm;

\bar{L} -----3 次深度示值的算术平均值, mm;

L_s -----量块值, mm

6.2.3 时间控制误差

先将测定器计时器和秒表调零, 同时启动测定器的计时器和秒表, 当秒表达到 5s 时, 停止计时器计时, 记录其示值。重复测量 3 次, 取算术平均值。时间控制误差按式 (2) 计算, 结果保留 0.01 s。

$$\Delta t = \bar{t} - t_s \quad (2)$$

式中:

Δt ----- 时间控制误差, s;

\bar{t} ----- 3 次时间测量值的算术平均值, s;

t_s ----- 秒表示值, s。

6.2.4 锥体及杆的质量误差

首先将天平调零, 将不同尺寸的锥体和杆置于天平上, 进行称量, 记录不同尺寸型号的锥体和杆的质量, 每一尺寸的锥体测量 3 次, 取其算术平均值, 锥体和杆的质量误差按式 (3) 计算, 结果保留 0.001g。

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

式中:

Δm ----- 锥体和杆的质量误差, g;

m_s ----- 相应尺寸锥体和杆的标准质量值, g;

\bar{m} -----3 次锥体和杆的质量测量值的算术平均值, g。

6.2.5 锥尖长度误差

将锥体水平放在万能工具显微镜台上, 固定好位置, 调节显微镜, 测量锥尖长度 l ,

重复测量 3 次，取其 3 次测量值的算术平均值，锥尖长度误差按式 (4) 计算，结果保留 0.001mm。

$$\Delta l = l_s - \bar{l} \quad (4)$$

式中：

Δl ----- 锥尖长度误差，mm；

l_s ----- GB/T 269 中规定的相应型号的长度值，mm；

\bar{l} ----- 3 次锥尖长度测量值的算术平均值，mm。

6.2.6 锥角误差

将锥体水平放在万能工具显微镜台上，固定好位置，调节显微镜，测量锥角 θ ，重复测量 3 次，取其 3 次测量值的算术平均值，锥角误差按式 (5) 计算，结果保留 0.1 '。

$$\Delta \theta = \theta_s - \bar{\theta} \quad (5)$$

式中：

$\Delta \theta$ ----- 锥角误差，'；

θ_s ----- GB/T 269 中规定的相应型号的锥角值，'；

$\bar{\theta}$ ----- 3 次锥角测量值的算术平均值，'。

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。推荐的测定器校准记录格式见附录A。

7.2 校准证书

经校准的测定器应出具校准证书。校准证书包括的信息应符合JJF1071—2010中5.12的要求，推荐的测定器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。

8 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、仪器本身质量等因素所决定，因此仪器使用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。如果对仪器的检测数据有怀疑或仪器更换主要部件及修理后对仪器重新校准。

附录 A

润滑脂锥入度测定器校准记录格式

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	%	
校准前检查								
1. 外观检查：仪器各部件齐全且连接正确，开关、按键正常。 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>								
校准结果								
项目	测量结果							
2. 测深示值误差/mm	测量次数			平均值	示值误差	扩展不确定度 U $k=2$		
标准值	1	2	3					
3. 时间控制误差/s	测量次数			平均值	示值误差	扩展不确定度 U $k=2$		
	1	2	3					
4. 锥体和杆质量/g	规格	测量次数			平均值	示值误差	扩展不确定度 U $k=2$	
		1	2	3				
	全尺寸							
	1/2 比例							
	1/4 比例							
5. 锥尖长度/mm	规格	测量次数			平均值	示值误差	扩展不确定度 U $k=2$	
		1	2	3				
	全尺寸							
	1/2 比例							
	1/4 比例							
6. 锥角误差/'	全尺寸							
	1/2 比例							
	1/4 比例							
标准器								
名称	编号	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			

校准依据			校准地点		校准日期	
备注						

校准员：

核验员：

附录 B

润滑脂锥入度测定器校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX				
校准机构授权说明				
校准的技术依据 JJF（石化）XX-XXXX《润滑脂锥入度测定器校准规范》				
校准环境及地点				
地点				
环境温度		环境湿度		
校准使用的计量（基）标准装置				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号	有效期至
序号	校准项目	校准结果		
1	外观检查			
2	测深示值误差		示值误差的扩展不确定度 (<i>k</i> =2)	
3	时间控制误差		示值误差的扩展不确定度 (<i>k</i> =2)	
4	锥体及杆的质量误差		示值误差的扩展不确定度 (<i>k</i> =2)	
5	锥尖长度误差		示值误差的扩展不确定度 (<i>k</i> =2)	
6	锥角误差		示值误差的扩展不确定度 (<i>k</i> =2)	
备注				

附录 C

润滑脂锥入度测定器测深示值误差的不确定度评定示例

C.1 测量方法

校准方法见本规范 7.2.2。

C.2 数学模型

$$\Delta L = \bar{L} - L_s \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔL -----深度示值误差，mm；

\bar{L} -----3 次深度示值的算术平均值，mm；

L_s -----量块值，mm

C.3 方差与传播系数

$$u_c^2(\Delta L) = \left(\frac{\partial \Delta L}{\partial \bar{L}} \right)^2 u^2(\bar{L}) + \left(\frac{\partial \Delta L}{\partial L_s} \right)^2 u^2(L_s) \quad (\text{C.2})$$

传播系数：

$$\left(\frac{\partial \Delta L}{\partial \bar{L}} \right) = 1; \quad \left(\frac{\partial \Delta L}{\partial L_s} \right) = -1 \quad (\text{C.3})$$

$$u_c^2(\Delta L) = u^2(\bar{L}) + u^2(L_s) \quad (\text{C.4})$$

式中：

$u_c(\Delta L)$ ——测深示值误差的测量不确定度；

$u(\bar{L})$ —— 仪器标尺引入的不确定度分量；

$u(L_s)$ ——量块引入的不确定度分量。

C.4 测深示值误差测量结果的不确定度评定

C.4.1 测量不确定度来源

示值误差测量的标准不确定度来源主要有量块定值引入的标准不确定度分量 $u(L_s)$ 和仪器标尺引入的不确定度分量 $u(\bar{L})$ 。环境条件、人员操作和被校仪器等各种随机因素, 均体现在测量重复性引入的不确定度分量。

C.4.2 仪器标尺引入的标准不确定度 $u_1(\bar{L})$ 评定

仪器标尺引入的不确定度来源于仪器标尺分度值量化误差的不确定度, 采用 B 类方法进行评定。

标准不确定度 $u(\bar{L})$ 为

$$u_1(\bar{L}) = \frac{(\frac{0.02}{2})\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.006\text{mm} \quad (\text{C.5})$$

C.4.3 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_2(\bar{L})$ 的评定

放入标称值为 20.00mm、41.20mm、60.24 的标准量块, 调节升降装置, 记录仪表上的读数。重复测量 10 次。测深示值列于表 C. 1。

表 C. 1 测深示值

单位: mm

标准值	测深示值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20.00	20.00	20.01	20.00	20.01	20.00	20.01	20.00	20.00	20.00	20.00
41.20	41.20	41.20	41.20	41.21	41.20	41.20	41.20	41.20	41.20	41.21
60.24	60.24	60.24	60.23	60.24	60.23	60.24	60.24	60.24	60.24	60.24

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (L_i - \bar{L})^2}{10-1}} \quad (\text{C. 6})$$

$$u(\bar{L}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{s}{\sqrt{3}} \quad (\text{C. 7})$$

注: 本规范规定, 每个校准点重复测量 3 次, 取算术平均值作为仪器示值, 故 $n=3$ 。

重复性引入的不确定度列于表 C. 2。

表 C. 2 测量重复性引入的不确定度

单位：mm

测深值	仪器示值平均值	s	$u_2(\bar{L})$
20.00	20.0	0.005	0.003
41.20	41.2	0.005	0.003
60.24	60.2	0.005	0.003

C.4.4 量块定值引入的标准不确定度 $u(L_s)$ 的评定

量块定值引入的标准不确定度主要来源于量块长度尺寸的不确定度, 可根据量块证书给出的量块长度尺寸的不确定度来评定, 所以采用 B 类方法进行评定。

测量用的量块其长度尺寸的不确定度不大于 $(0.5+5L)\mu\text{m}$ (L ---测量长度), 包含因子 $k=2.6$ 。

标准不确定度 $u(L_s)$ 为

$$L=20.00\text{mm 时, } u(L_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.5+5 \times 0.191}{2.6} \text{ mm} = 0.001\text{mm}$$

$$L=41.20\text{mm 时, } u(L_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.5+5 \times 0.412}{2.6} \text{ mm} = 0.001\text{mm}$$

$$L=60.24\text{mm 时, } u(L_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.5+5 \times 0.615}{2.6} \text{ mm} = 0.001\text{mm}$$

C.5 合成标准不确定度的评定

C.5.1 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于表 C.3。

表 C.3 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度(mm)	C_i	$ c_i u_i(\text{mm})$
$u_1(\bar{L})$	仪器标尺分度值量化误差	0.006	1	0.006
$u_2(\bar{L})$	测量重复性引入不确定度	0.003	1	0.003
		0.003		0.003
		0.003		0.003
$u(L_s)$	量块长度尺寸的不确定度	0.001	-1	0.001

C.5.2 合成标准不确定度的计算

输入量 \bar{L} 和 L_S 彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式计算：

$$L=20.00\text{mm 时, } u_c(\Delta L) = \sqrt{0.006^2 + 0.003^2 + 0.001^2} \text{mm} = 0.007\text{mm}$$

$$L=41.20\text{mm 时, } u_c(\Delta L) = \sqrt{0.006^2 + 0.003^2 + 0.001^2} \text{mm} = 0.007\text{mm}$$

$$L=60.24\text{mm 时, } u_c(\Delta L) = \sqrt{0.006^2 + 0.003^2 + 0.001^2} \text{mm} = 0.007\text{mm}$$

C. 6 扩展不确定度的评定

测深示值误差测量结果的扩展不确定度为：

$$L=20.00\text{mm 时, } U = 2 \times 0.007\text{mm} = 0.02\text{mm } k=2。$$

$$L=41.20\text{mm 时, } U = 2 \times 0.007\text{mm} = 0.02\text{mm } k=2。$$

$$L=60.24\text{mm 时, } U = 2 \times 0.007\text{mm} = 0.02\text{mm } k=2。$$

附录 D

时间控制误差测量结果的不确定度评定示例

D.1 测量方法

校准方法见本规范 7.2.3。

D.2 测量模型

示值误差测量模型如式 (D.1)：

$$\Delta t = \bar{t} - t_s \quad (\text{D. 1})$$

式中：

Δt ----- 时间控制误差, s;

\bar{t} ----- 3 次时间测量值的算术平均值, s;

t_s ----- 秒表示值, s。

方差和灵敏系数

$$u_c^2(\Delta t) = \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial \bar{t}}\right)^2 u^2(\bar{t}) + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_s}\right)^2 u^2(t_s) \quad (\text{D.2})$$

$$\text{灵敏系数: } \frac{\partial \Delta t}{\partial \bar{t}} = 1 \quad \frac{\partial \Delta t}{\partial t_s} = -1$$

$$\text{则: } u_c^2(\Delta t) = u^2(\bar{t}) + u^2(t_s) \quad (\text{D. 3})$$

式中：

$u_c(\Delta t)$ ——时间控制误差的测量不确定度；

$u(\bar{t})$ ——时间测量重复性引入的不确定度分量；

$u(t_s)$ ——秒表引入的不确定度分量。

D.3 测量不确定度的评定

D.3.1 测量不确定度来源

示值误差测量的标准不确定度来源主要有秒表定值引入的标准不确定度分量 $u(t_s)$ 和时间的测量重复性引入的不确定度分量 $u(\bar{t})$ 。环境条件、人员操作、流量控制、取样系统吸附和被校仪器等各种随机因素,均体现在时间的测量重复性引入的不确定度分量。

D.3.2 秒表定值引入的标准不确定度分量 $u(t_s)$ 的评定

电子秒表的最大允许误差为 ± 0.01 s, 区间半宽度为 0.01 s, 假设为矩形分布,
($k_{95}=1.65$), 则:

$$u(t_s) = \frac{0.01\text{s}}{1.65} = 0.006\text{s} \quad (\text{D. 4})$$

D.3.3 时间的测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(\bar{C})$ 的评定

将仪器计时器和秒表调零, 同时启动仪器的计时器和秒表, 当秒表达到 5s 时, 停止计时器计时, 重复测量 10 次。仪器显示的实际时间值列于表 D. 1。

表 D. 1 仪器显示的实际时间值

单位: s

标准值	仪器示值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.00	5.01	5.00	5.01	5.01	5.01	4.99	5.02	5.01	5.01	5.01

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_i - \bar{t})^2}{10-1}} \quad (\text{D. 5})$$

$$u(\bar{t}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{s}{\sqrt{3}} \quad (\text{D. 6})$$

注: 本规范规定, 每个校准点重复测量 3 次, 取算术平均值作为仪器示值, 故 $n=3$ 。

时间控制测量的重复性引入的不确定度列于表 D. 2。

表 D. 2 时间测量重复性引入的误差

单位: s

秒表示值	仪器示值平均值	s	$u(\bar{t})$
5.0	5.007	0.0079	0.005

D.4 合成标准不确定度

D.4.1 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总于表 D.3。

表 D.3 标准不确定度一览表

单位: s

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值
$u(t_s)$	秒表引入的标准不确定度	0.006
$u(\bar{t})$	测量重复性引入的标准不确定度	0.005

D.4.2 合成标准不确定度

由测量模型, 合成标准不确定度 $u_c(\Delta t)$ 可按 (D.7) 计算。

$$u_c(\Delta t) = \sqrt{u^2(\bar{t}) + u^2(t_s)} \quad (\text{D.7})$$

$$u_c(\Delta t) = \sqrt{0.006^2 + 0.005^2} = 0.008\text{s}$$

D.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则各校准点示值误差的扩展不确定度按式 (D.8) 计算:

$$U = k u_c(\Delta t) \quad (\text{D.8})$$

$$U = 0.02\text{s}, \quad k=2;$$

附录 E

锥体及杆的质量测量结果的不确定度评定示例

E.1 测量方法

校准方法见本规范 7.2.4。

E.2 测量模型

示值误差测量模型如式 (E.1)：

$$\Delta m = m_s - \bar{m} \quad (\text{E.1})$$

式中：

Δm ----- 锥体和杆的质量误差，g；

m_s ----- 相应尺寸锥体和杆的标准质量值，g；

\bar{m} ----- 3 次锥体和杆的质量测量值的算术平均值，g。

方差和灵敏系数

$$u_c^2(\Delta m) = \left(\frac{\partial \Delta m}{\partial m_s}\right)^2 u^2(m_s) + \left(\frac{\partial \Delta m}{\partial \bar{m}}\right)^2 u^2(\bar{m}) \quad (\text{E.2})$$

$$\text{灵敏系数:} \quad \frac{\partial \Delta m}{\partial m_s} = 1 \quad \frac{\partial \Delta m}{\partial \bar{m}} = -1$$

$$\text{则:} \quad u_c^2(\Delta m) = u^2(m_s) + u^2(\bar{m}) \quad (\text{E.3})$$

式中：

$u_c(\Delta m)$ —— 锥体及杆的质量的测量不确定度；

$u(m_s)$ —— 天平引入的不确定度分量；

$u(\bar{m})$ —— 锥体及杆的质量测量重复性引入的不确定度分量。

E.3 测量不确定度的评定

E.3.1 测量不确定度来源

示值误差测量的标准不确定度来源主要有天平引入的标准不确定度分量 $u(m_s)$ 和时间的测量重复性引入的不确定度分量 $u(\bar{m})$ 。环境条件、人员操作、流量控制、取样系统吸附和被校仪器等各种随机因素,均体现在时间的测量重复性引入的不确定度分量。

E.3.2 天平引入的标准不确定度分量 $u(m_s)$ 的评定

天平引入的不确定度来源有两方面:一是天平分辨力引入的不确定度,二是天平最大允许误差引入的不确定度。

E.3.2.1 天平分辨力引入的不确定度

使用 0.1mg 分度的电子天平称量,该电子天平的最小分度为 0.1mg,为均匀分布,取 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u(m_{s1}) = \frac{a}{k} = \frac{0.05\text{mg}}{\sqrt{3}} = 0.03\text{mg}$$

E.3.2.2 天平最大允许误差引入的不确定度

该级天平称量最大允差 0.5mg。

$$u(m_{s2}) = \frac{a}{k} = \frac{0.5\text{mg}}{\sqrt{3}} = 0.29\text{mg}$$

故有天平引入的标准不确定度分量为:

$$u(m_s) = \sqrt{u^2(m_{s1}) + u^2(m_{s2})} = 0.30\text{ mg} \quad (\text{E. 4})$$

E.3.3 锥体及杆的质量测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(\bar{m})$ 的评定

将不同尺寸的锥体和杆置于天平上,进行称量,记录不同尺寸型号的锥体和杆的质量,重复测量 10 次。仪器显示的实际时间值列于表 E. 1。

表 E. 1 全尺寸锥体及杆的质量测量值

单位: g

标准值	仪器示值									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
150	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
	29	23	31	35	29	30	31	29	30	28

不同尺寸的锥体及杆的质量分别按式 (E. 5) 计算标准偏差,相应尺寸的锥体及杆的标

准不确定度可按式(E. 6) 计算

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (m_i - \bar{m})^2}{10-1}} \quad (\text{E. 5})$$

$$u(\bar{m}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{s}{\sqrt{3}} \quad (\text{E. 6})$$

注：本规范规定，每个校准点重复测量 3 次，取算术平均值作为仪器示值，故 $n=3$ 。

各校准点的标准偏差 s 与标准不确定度 $u(\bar{m})$ 的计算结果见表 E. 2。

表 E. 2 各校准点的标准偏差 s 与标准不确定度 $u(\bar{m})$ 的计算结果

单位：g

锥体及杆的尺寸型号	仪器示值平均值	s	$u(\bar{m})$
全尺寸	150.003	0.0003	0.0002
1/2 尺寸	37.505	0.0002	0.0001
1/4 尺寸	9.3802	0.0001	0.00006

E. 4 合成标准不确定度

E. 4.1 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总于表 E. 3。

表 E. 3 标准不确定度一览表

单位：mg

标准不确定度分量		不确定度来源	标准不确定度值
$u(m_s)$		天平引入的标准不确定度	0.30
$u(\bar{m})$	全尺寸	测量重复性引入的标准不确定度	0.2
	1/2 尺寸	测量重复性引入的标准不确定度	0.1
	1/4 尺寸	测量重复性引入的标准不确定度	0.06

E. 4.2 合成标准不确定度

由测量模型，合成标准不确定度 $u_c(\Delta m)$ 可按 (E.7) 计算。

$$u_c(\Delta m) = \sqrt{u^2(m_s) + u^2(\bar{m})} \quad (\text{E. 7})$$

全尺寸锥体及杆的质量测量不确定度: $u_c(\Delta m)=0.36\text{mg}$;

1/2 尺寸锥体及杆的质量的标准不确定度: $u_c(\Delta m)=0.32\text{mg}$;

1/4 尺寸锥体及杆的质量的标准不确定度: $u_c(\Delta m)=0.31\text{ mg}$ 。

E.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 不同尺寸的锥体及杆的质量测量误差的扩展不确定度按式 (E. 8) 计算:

$$U = ku_c(\Delta m) \quad (\text{E. 8})$$

全尺寸锥体及杆的质量测量不确定度: $U=0.8\text{mg}$; $k=2$;

1/2 尺寸锥体及杆的质量的标准不确定度: $U=0.7\text{mg}$; $k=2$;

1/4 尺寸锥体及杆的质量的标准不确定度: $U=0.7\text{mg}$; $k=2$ 。

附录 F

锥尖长度误差测量结果不确定度评定示例

F.1 测量方法

校准方法见本规范 7.2.5。

F.2 测量模型

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

式中:

Δl ----- 锥尖长度误差, mm;

l_s ----- GB/T 269 中规定的相应型号的长度值, mm;

\bar{l} ----- 3 次锥尖长度测量值的算术平均值, mm。

F.3 方差与传播系数

$$u_c^2(\Delta l) = \left(\frac{\partial \Delta l}{\partial l_s}\right)^2 u^2(l_s) + \left(\frac{\partial \Delta l}{\partial \bar{l}}\right)^2 u^2(\bar{l}) \quad (\text{F.2})$$

传播系数:

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

$$u_c^2(\Delta l) = u^2(\bar{l}) + u^2(l_s) \quad (\text{F.4})$$

式中:

$u_c(\Delta l)$ —— 测深示值误差的测量不确定度;

$u(l_s)$ —— 万能工具显微镜引入的不确定度分量;

$u(\bar{l})$ —— 测量重复性引入的不确定度分量。

F.4 锥尖长度误差测量结果的不确定度评定

F.4.1 测量不确定度来源

测量重复性引起的标准不确定度 $u(\bar{l})$; 万能工具显微镜示值误差引起的标准确定

度 $u(l_s)$ ；被测件与万能工具显微镜线胀系数差引起的标准不确定度 $u(d_1)$ ；被测件与万能工具显微镜温度差引起的标准不确定度 $u(d_2)$ 。

F.4.2 万能工具显微镜示值误差引起的标准不确定度 $u(l_s)$

万能工具显微镜示值误差为 $(1+L/100)$ mm, 认为符合正态分布, 取 $k=3$, 当测量尺寸为 15mm 时, $u(l_s)=1/3=0.38 \mu\text{m}$

F.4.3 测量重复性引起的标准不确定度 $u(\bar{l})$

通过用万能工具显微镜对全尺寸锥体锥尖长度测量 10 次, 得到测量列 15.022mm, 15.023mm, 15.022mm, 15.023mm, 15.024mm, 15.024mm, 15.022mm, 15.023mm, 15.022mm, 15.023mm。分别按式(F.5)计算标准偏差, 相应的标准不确定度可按式(F.6)计算

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (l_i - \bar{l})^2}{10-1}} \quad (\text{F. 5})$$

$$u(\bar{l}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{s}{\sqrt{3}} \quad (\text{F. 6})$$

注：本规范规定, 每个校准点重复测量 3 次, 取算术平均值作为仪器示值, 故 $n=3$ 。

各校准点的标准偏差 s 与标准不确定度 $u(\bar{l})$ 的计算结果见表 F.1。

表 F.1 各校准点的标准偏差 s_r 与标准不确定度 $u(\bar{l})$ 的计算结果

单位: mm

锥尖长度	仪器示值平均值	s	$u(\bar{l})$
全尺寸	15.023	0.00081	0.0005

F.4.4 被测件与万能工具显微镜线胀系数差引起的标准不确定度 $u(d_1)$

被测件(黄铜)的线胀系数为 $(18 \pm 0.5) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 万能显标尺的线胀系数为 $(10 \pm 0.5) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 最大差值为 $9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $\Delta t = 10^\circ\text{C}$, $L=5\text{mm}$, 取三角分布,

$$u(d_1)=0.18 \mu\text{m}$$

F.4.5 被测件与万能工具显微镜温度差引起的标准不确定度 $u(d_2)$

被测件与万能工具显微镜温度差为 2°C , 线胀系数为 $18 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $L=5\text{mm}$, 服从反

正弦分布， $k=\sqrt{2}$ ，则 $u(d_2)=0.13\mu\text{m}$ 。

F.5 合成标准不确定度

F.5.1 各标准不确定度分量一览表见表 F.2。

F.2 标准不确定度汇总

符号	来源	标准不确定度
$u(\bar{l})$	测量重复性	0.81
$u(l_s)$	万能工具显微镜示值误差	0.38
$u(d_1)$	被测件与万能工具显微镜线胀系数差	0.18
$u(d_2)$	被测件与万能工具显微镜温度差	0.13

F.5.2 合成标准不确定度

由测量模型，合成标准不确定度 $u_c(\Delta l)$ 可按（F.7）计算。

$$u_c(\Delta l) = \sqrt{u^2(\bar{l}) + u^2(l_s) + u^2(d_1) + u^2(d_2)} \quad (\text{F.7})$$

全尺寸锥尖长度误差测量不确定度： $u_c(\Delta l)=0.92\mu\text{m}$

F.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，全尺寸锥尖长度误差的扩展不确定度按式(F.8)计算：

$$U = ku_c(\Delta l) \quad (\text{F.8})$$

全尺寸锥体及杆的质量测量不确定度： $U=1.8\mu\text{m}, k=2$

附录 G

锥尖角度误差示值误差测量结果不确定度评定示例

G.1 测量方法

校准方法见本规范 7.2.6。

G.2 测量模型

锥尖长度测量模型如式（G.1）：

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

式中：

$\Delta\theta$ ----- 锥角误差，' ；

θ_s ----- GB/T 269 中规定的相应型号的锥角值，' ；

$\bar{\theta}$ ----- 3 次锥角测量值的算术平均值，' 。

G.3 方差与传播系数

$$u_c^2(\Delta\theta) = \left(\frac{\partial\Delta\theta}{\partial\theta_s}\right)^2 u^2(\theta_s) + \left(\frac{\partial\Delta\theta}{\partial\bar{\theta}}\right)^2 u^2(\bar{\theta}) \quad (\text{G.2})$$

传播系数：

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

$$u_c^2(\Delta\theta) = u^2(\theta_s) + u^2(\bar{\theta}) \quad (\text{G.4})$$

式中：

$u_c(\Delta\theta)$ —— 锥角误差的测量不确定度；

$u(\theta_s)$ —— 万能工具显微镜引入的不确定度分量；

$u(\bar{\theta})$ —— 测量重复性引入的不确定度分量。

G.4 测量不确定度的评定

测量不确定度的构成要素：万能工具显微镜示值误差引起的标准不确定度 $u(\theta_s)$ ；测量重复性引起的标准不确定度 $u(\bar{\theta})$ ；被测件与万能工具显微镜线胀系数差引起的标准不确定度 $u(\theta_3)$ ；被测件与万能工具显微镜温度差引起的标准不确定度 $u(\theta_4)$ 。

G.4.1 万能工具显微镜示值误差引起的标准不确定度 $u(\theta_s)$

由万能工具显微角度示值误差为 $\pm 1'$ ，万能工具显微镜示值误差符合正态 $k=3$ ，

$$u(\theta_s) = \frac{1}{3} = 0.4' \quad (\text{G. 5})$$

G.4.2 测量重复性引起的标准不确定度 $u(\bar{\theta})$

以全锥体锥尖角度为例，通过万能工具显微镜对锥尖角度 30° 的锥尖测量 10 次，得到测量值如下：

表 G.1 锥角测量值

标准值 ($^\circ$)	实测值 ($^\circ$)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	30.04	30.06	30.05	30.02	30.03	30.04	30.03	30.01	30.07	30.06

由贝塞尔公式计算得：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\theta_i - \bar{\theta})^2}{10-1}} = 1.2' \quad (\text{G. 6})$$

实际测量情况，在重复性条件下连续测量 2 次，以该 2 次测量算术平均值为测量结果，则可得到

$$u(\bar{\theta}) = \frac{s}{\sqrt{2}} = 0.84' \quad (\text{G. 7})$$

G.4.3 锥体锥尖与万能工具显微镜线胀系数差引起的标准不确定度 $u(\theta_3)$

锥体锥尖（镁）的线膨胀系数为 $(26 \pm 0.5) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，万能工具显微镜的线膨胀系数为 $(11.5 \pm 0.5) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，最大差值为 $15.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ， $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ ，锥角为 30° ，取三角分布

$$u(\theta_3) = \frac{15.5 \times 10^{-6} \times 30 \times 10}{\sqrt{6}} = 0.2' \quad (\text{G.8})$$

G.4.4 锥体锥尖与万能工具显微镜温度差引起的标准不确定度 $u(\theta_4)$ 。

锥体锥尖与万能工具显微镜温度差为 2°C ，线胀系数为 $26\times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，锥角为 30° ，服从反正弦分布， $k=\sqrt{2}$ ，则

$$u(\theta_4) = \frac{26\times 10^{-6}\times 30\times 2}{\sqrt{2}} = 0.1' \quad (\text{G.9})$$

G.5 标准不确定度分量一览表

G.5.1 各标准不确定度分量一览表见表 G.2。

表 G.2 标准不确定度汇总

符号	来源	标准不确定度
$u(\theta_s)$	万能工具显微镜示值误差	$0.4'$
$u(\bar{\theta})$	测量重复性	$1.2'$
$u(\theta_3)$	锥体锥尖与万能工具显微镜线胀系数差	$0.2'$
$u(\theta_4)$	锥体锥尖与万能工具显微镜温度差	$0.1'$

G.5.2 锥体锥尖锥角示值误差的合成标准不确定度

各影响量相互独立，测量重复性带来的示值误差大于标准器带来的不确定度，合成标准不确定度为：

$$u_c(\Delta\theta) = \sqrt{u^2(\theta_s) + u^2(\bar{\theta}) + u^2(\theta_3) + u^2(\theta_4)} = 1.3' \quad (\text{G.10})$$

G.6 锥体锥尖锥角示值误差的扩展不确定度

$$U = ku_c(\Delta\theta) = 2.6' \quad k=2$$