

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1105—2018

触针式表面粗糙度测量仪校准规范

Calibration Specification for Contact (Stylus) Instruments of
Surface Roughness Measurement by Profile Method

2018-02-27 发布

2018-08-27 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

触针式表面粗糙度测量仪

校准规范

Calibration Specification for Contact
(Stylus) Instruments of Surface Roughness
Measurement by Profile Method

JJF 1105—2018
代替 JJF 1105—2003

归口单位：全国几何量工程参量计量技术委员会

主要起草单位：上海市计量测试技术研究院

上海交通大学

中国计量科学研究院

北京市计量检测科学研究院

参加起草单位：泰勒霍普森有限公司中国分公司

本规范委托全国几何量工程参量计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

王昕歌（上海市计量测试技术研究院）

袁怡宝（上海交通大学）

施玉书（中国计量科学研究院）

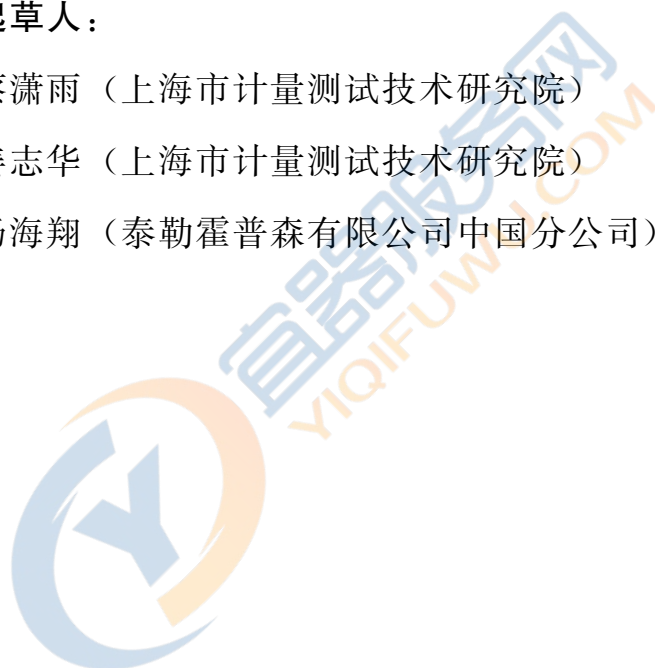
吴 迅（北京市计量检测科学研究院）

参加起草人：

蔡潇雨（上海市计量测试技术研究院）

姜志华（上海市计量测试技术研究院）

汤海翔（泰勒霍普森有限公司中国分公司）



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(3)
4.1 传感器触针	(3)
4.2 传感器滑行轨迹的直线度	(3)
4.3 残余轮廓	(3)
4.4 示值误差	(3)
4.5 示值重复性	(3)
4.6 示值稳定性	(3)
5 校准条件	(4)
5.1 环境条件	(4)
5.2 校准项目和校准用标准器及其他设备	(4)
6 校准方法	(4)
6.1 传感器触针针尖圆弧半径及角度	(4)
6.2 传感器滑行轨迹的直线度	(4)
6.3 残余轮廓	(4)
6.4 示值误差	(4)
6.5 示值重复性	(5)
6.6 示值稳定性	(6)
7 校准结果表达	(6)
8 复校时间间隔	(6)
附录 A 触针式粗糙度仪示值误差校准结果的不确定度评定 (示例)	(7)
附录 B 传感器触针静态测力和传感器导头的计量特性的校准	(11)
附录 C 触针式表面粗糙度测量仪指示表与记录器计量特性的校准	(13)
附录 D λ_c 和 λ_s 波段传输特性	(15)
附录 E 校准证书内页信息及格式	(17)

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》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范修订工作的基础性系列计量技术法规。

本规范是对 JJF 1105—2003《触针式表面粗糙度测量仪校准规范》（以下简称原规范）的修订。与原规范相比，除编辑性修改外，主要变化如下：

——增加了引言部分。

——将引用文件替换至现行有效版本。

——增加了台式触针式表面粗糙度测量仪和便携式触针式表面粗糙度测量仪的结构示意图，修改了触针式仪器的典型框图。

——修改了有关传感器触针计量特性的要求。根据 GB/T 6062—2009《产品几何技术规范（GPS）表面结构轮廓法接触（触针）式仪器的标称特性》，将原规范“传感器触针静态测量力”修改为“传感器触针静态测力”，并在附录中表述其计量特性、校准用标准器及校准方法；删除了对传感器“静态测力变化率”项目的相关校准内容。

——修改了传感器滑行轨迹直线度的计量特性要求及校准方法。

——修改了“传感器导头”相关计量特性，在附录 B 中表述。

——修改了示值误差的计量特性要求及表述方法。

——修改了正文中仪器“示值重复性”“示值稳定性”的计量特性要求、表述方法及校准方法。修改了附录 C 中记录器的垂直放大率及水平放大率的重复性的表述，相应计量特性要求也进行了修改。

——根据 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》，重新评定了触针式表面粗糙度测量仪示值误差测量结果的不确定度。

本规范的历次版本发布情况：

——JJF 1105—2003；

——JJG 301—1982。

触针式表面粗糙度测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于触针式表面粗糙度测量仪的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

GB/T 3505—2009 产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 术语、定义及表面结构参数

GB/T 6062—2009 产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 接触（触针）式仪器的标称特性

GB/T 10610—2009 产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法

GB/T 18777—2009 产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 相位修正滤波器的计量特性

GB/T 19067.1—2003 产品几何量技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 测量标准 第1部分：实物测量标准

GB/T 19600—2004 产品几何量技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 接触（触针）式仪器的校准

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

触针式表面粗糙度测量仪（以下简称触针式粗糙度仪）一般由传感器、驱动器、电子信号处理装置、计算机、打印机等组成。部分模拟式的触针式粗糙度仪带有指示表和记录器。其工作原理是：仪器的驱动器带动传感器沿被测表面作匀速滑行，传感器通过锐利触针感受被测表面的几何形状变化，并转换成电信号。该信号经放大和处理，再转换成数字信号贮存在计算机系统的存贮器中。计算机对此总轮廓进行数字滤波，分离出表面粗糙度轮廓并计算其参数。测量结果可由显示器输出，也可由打印机输出。模拟式的触针式粗糙度仪可由指示表读出测量结果，记录仪输出表面轮廓。触针式粗糙度仪典型框图见图1。

根据传感器的不同原理，触针式粗糙度仪可分为电感式、压电式、光电式、激光式和光栅式等。传感器还可分为有导头式传感器和无导头式传感器。有导头式传感器仅适用于测量表面粗糙度，而无导头式传感器除可用于测量表面粗糙度外，还可用于测量波

纹度、原始轮廓参数和表面几何形状。

根据仪器的结构、外形、重量和使用方法，触针式粗糙度仪分台式和便携式两种，其结构示意图见图 2、图 3。

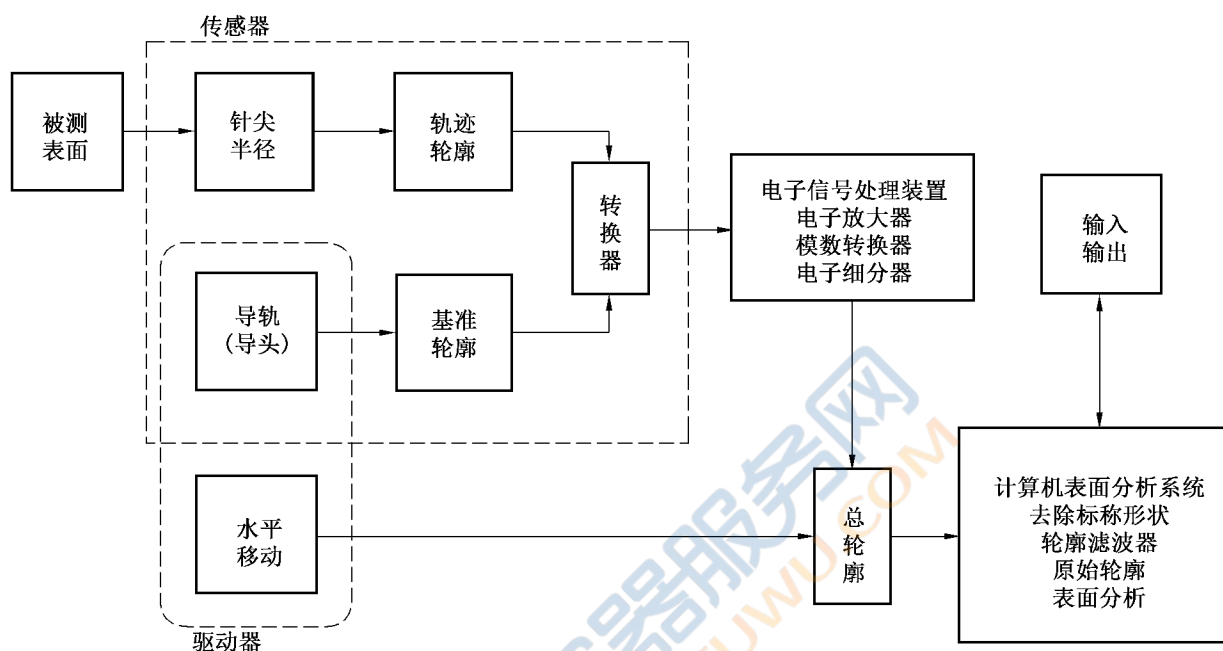


图 1 触针式粗糙度仪的典型框图

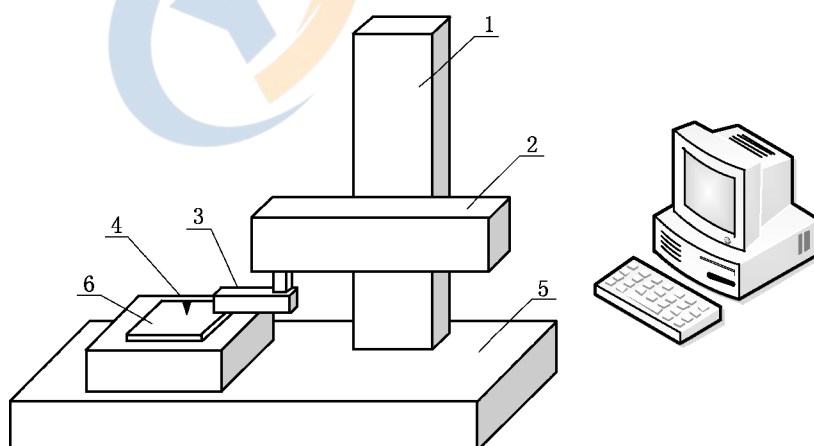


图 2 台式触针式粗糙度仪结构示意图

1—立柱；2—驱动器；3—传感器；4—触针；5—底座；6—被测工件

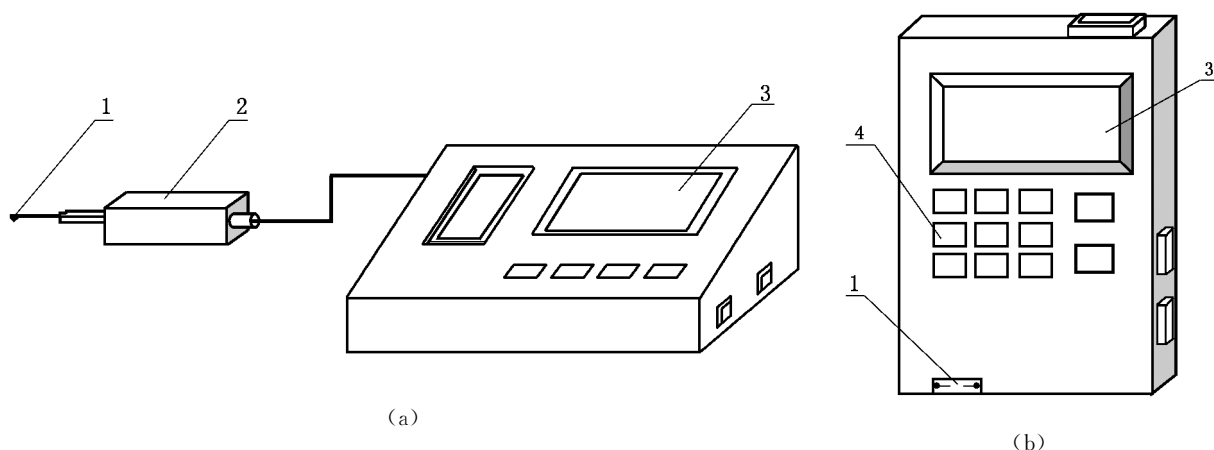


图3 便携式触针式粗糙度仪结构示意图

1—传感器；2—驱动器；3—显示屏；4—操作按键

4 计量特性

4.1 传感器触针

4.1.1 针尖圆弧半径及角度

针尖半径： $(2 \pm 0.5) \mu\text{m}$ 、 $(5 \pm 1) \mu\text{m}$ 、 $(10 \pm 2.5) \mu\text{m}$ 。

圆锥角度： $60 \pm 10^\circ$ 或 $90 \pm 5^\circ$ ，有出厂技术要求的应符合出厂技术要求。

4.2 传感器滑行轨迹的直线度

应不超过出厂技术要求。

4.3 残余轮廓

残余轮廓 R_a 应不超过表1规定，有出厂技术要求的应不超过出厂技术要求。

表1 仪器主要计量特性要求

示值误差	$\pm(5 \text{ nm} + 0.05A)$	$\pm(5 \text{ nm} + 0.07A)$	$\pm(5 \text{ nm} + 0.1A)$	$\pm(5 \text{ nm} + 0.15A)$
残余轮廓	0.005	0.005	0.010	0.010
示值重复性	1%	1.5%	3%	6%

注：1. A 为标准多刻线样板表面粗糙度参数 R_a 的标准值， R_a 单位为 μm 。
2. 示值误差分别对应出厂最大允许误差为 $\pm 5\%$ ， $\pm 7\%$ ， $\pm 10\%$ 和 $\pm 15\%$ 的仪器。

4.4 示值误差

触针式表面粗糙度测量仪示值误差要求见表1。

4.5 示值重复性

示值重复性要求见表1。

4.6 示值稳定性

4 h 内其示值稳定性应不大于示值误差允许限的绝对值。对于自动关机型的触针式仪器，该项目不作要求。

注：由于校准工作只给出测量结果，不判断合格与否，上述计量特性仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度应在 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 范围内，湿度不超过 65%RH。

5.1.2 校准室内应无影响测量的灰尘、振动、噪音、气流、腐蚀性气体和较强磁场。

5.1.3 被校仪器及校准用标准器及测量设备在室内连续平衡温度的时间不少于 4 h。

5.1.4 校准前，对于台式触针式粗糙度仪连续通电预热时间应不少于 30 min。

5.2 校准项目和校准用标准器及其他设备

触针式粗糙度仪校准项目和校准用标准器及其他设备见表 2。

表 2 触针式粗糙度仪校准项目和校准用标准器及其他设备

序号	校准项目	校准用标准器及其他设备
1	传感器触针针尖圆弧半径及角度	影像测量仪，400 倍以上
2	传感器滑行轨迹的直线度	平面平晶，1 级，或长平晶
3	残余轮廓	平面平晶，1 级，或长平晶
4	示值误差	标准多刻线样板
5	示值重复性	$U_{95} : (3 \text{ nm} + 0.02 A) \sim (5 \text{ nm} + 0.05 A)$
6	示值稳定性	注：A 为标准多刻线样板表面粗糙度参数 R_a 的标准值， R_a 单位为 μm

6 校准方法

6.1 传感器触针针尖圆弧半径及角度

传感器触针针尖圆弧半径及角度可采用影像法测量。

6.2 传感器滑行轨迹的直线度

驱动器带动传感器通过触针沿平晶工作表面匀速滑行，滑行长度为传感器水平方向全行程，从轮廓曲线图上确定滑行轨迹的直线度。

6.3 残余轮廓

选用仪器最小取样长度，在平晶工作表面上匀速滑行至少 5 个取样长度，读取 R_a 。当仪器配置多个传感器时，应对每个传感器残余轮廓分别进行校准。

6.4 示值误差

用一组标准多刻线样板，在仪器相应量程和取样长度上分别对 R_a 进行测量。样板应尽可能覆盖仪器的全部取样长度。当样板不能覆盖仪器全部取样长度时，应至少选择仪器的 0.25 mm、0.8 mm、2.5 mm 三段取样长度进行测量。测量时，传感器滑行方向应垂直于样板表面加工纹理，见图 4，评定长度通常可取为 5 倍的取样长度。

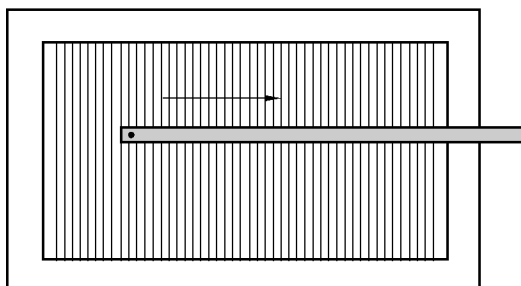


图 4 传感器滑行方向示意图

在样板工作区域内的三个不同位置上各测量 3 次。取 9 次测量的平均值作为仪器对该样板的测量值，该值与样板标准值的差值为仪器的示值误差，见公式 (1)，示值误差要求见表 1。

$$\Delta Ra = \overline{Ra} - Ra_0 \quad (1)$$

示值误差也可用相对误差来表示，见公式 (2)。作为标准器的标准多刻线样板表面应均匀、且没有明显划伤，其不确定度要求见表 2。 Ra 参数值与取样长度值的对应关系见表 3。

$$\delta_{Ra} = \frac{\overline{Ra} - Ra_0}{Ra_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

δ_{Ra} ——示值相对误差；

$\overline{Ra}$ ——读数平均值；

Ra_0 ——标准多刻线样板标准值。

当仪器配置多个传感器时，应对每个传感器示值误差分别进行校准。

表 3 Ra 参数值与取样长度 l_r 的对应关系

$Ra/\mu\text{m}$	l_r/mm	l_n/mm ($l_n = 5 \times l_r$)
$0.02 < Ra \leq 0.1$	0.25	1.25
$0.1 < Ra \leq 2.0$	0.8	4.0
$2.0 < Ra \leq 10.0$	2.5	12.5
$10.0 < Ra \leq 12.5$	8.0	40.0
$(12.5 < Ra \leq 80.0)$	(8.0)	(40.0)

注：1. 表中 l_r 为取样长度， l_n 为评定长度。

2. 具备条件，量程也可扩展到 $12.5 \mu\text{m} < Ra \leq 80.0 \mu\text{m}$ ，校准方法参照 6.4。

6.5 示值重复性

选取仪器 0.25mm 取样长度，用一块相应的标准多刻线样板，在样板某一固定位置重复测量 4 次，在仪器上读取测得的仪器 Ra ，取最大值与最小值之差的二分之一对测量平均值的百分比为仪器示值重复性。

6.6 示值稳定性

选取仪器 0.25 mm 取样长度，用一块相应的标准多刻线样板，在样板某一固定位置每隔 1 h 测量 1 次 Ra ，共测 5 次。5 次测量结果中最大值与最小值之差为仪器示值稳定性。

7 校准结果表达

经校准后的触针式表面粗糙度测量仪出具校准证书，校准证书的内页格式和信息见附录 E。

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、仪器本身质量等诸多因素所决定的，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，建议为 1 年。



附录 A

触针式粗糙度仪示值误差校准结果的不确定度评定(示例)

A.1 测量方法

触针式粗糙度仪的示值 Ra 是用一组标准多刻线样板进行校准得到的。在仪器各取样长度上测量相应标准多刻线样板的 Ra ，与标准多刻线样板校准证书上给出的 Ra_0 进行比较，得到相应测量条件下的仪器示值误差。

A.2 测量模型

$$\Delta Ra = \overline{Ra} - Ra_0 \quad (A.1)$$

式中：

ΔRa ——仪器示值误差， μm ；

$\overline{Ra}$ ——仪器读数平均值， μm ；

Ra_0 ——标准多刻线样板的标准值， μm 。

标准多刻线样板与被校触针式粗糙度仪技术指标见表 A.1 和表 A.2。

表 A.1 标准多刻线样板技术指标

样板	样板校准值 $Ra_0/\mu\text{m}$	扩展不确定度/ μm ($k=2$)
1	12.09	0.245
2	4.32	0.089
3	0.353	0.010 1
4	0.086	0.004 7

表 A.2 被校触针式粗糙度仪技术指标

仪器 Ra 示值的数字分辨力 ω	最大允许误差
0.000 1 μm	$\pm(5 \text{ nm} + 0.05 A)$

A.3 不确定度来源

不确定度各分量来源见表 A.3。

表 A.3 不确定度分量来源

不确定度分量符号		不确定度分量名称	
u_1	u_{10}	仪器数字分辨力引入的不确定度分量	两分量中取较大值为 u_1
	u_{11}	仪器测量重复性引入的不确定度分量	
u_2		标准多刻线样板测量误差引入的不确定度分量	

表中 u_1 与 u_2 为各自独立的分量。

A.4 方差和灵敏系数

有

$$u_c^2(\Delta Ra) = [c(\overline{Ra})]^2 \cdot u^2(\overline{Ra}) + [c(Ra_0)]^2 \cdot u^2(Ra_0) \quad (A.2)$$

式中 $c(\overline{Ra}) = \partial \Delta Ra / \partial \overline{Ra} = 1$, $c(Ra_0) = \partial \Delta Ra / \partial Ra_0 = -1$ 。

故

$$u_c^2(\Delta Ra) = u^2(\overline{Ra}) + u^2(Ra_0) = u_1^2 + u_2^2 \quad (A.3)$$

A.5 实测记录

实测记录见表 A.4。

表 A.4 实测记录

测量条件	取样长度/mm	8.0	2.5	0.80	0.25
	评定长度/mm	40.0	12.5	4.00	1.25
	标准样板 $Ra_0/\mu m$	12.09	4.32	0.353	0.086
位置	测量序号	$Ra/\mu m$			
1	1	12.090	4.325	0.355	0.087 0
	2	12.095	4.330	0.354	0.086 5
	3	12.110	4.320	0.353	0.086 0
2	1	12.125	4.318	0.351	0.086 6
	2	12.115	4.322	0.353	0.086 5
	3	12.120	4.320	0.352	0.086 7
3	1	12.120	4.319	0.350	0.087 0
	2	12.122	4.321	0.349	0.087 2
	3	12.124	4.323	0.351	0.086 8
平均值		12.113	4.322	0.352	0.086 7
平均值标准差		0.003 9	0.001 9	0.000 58	0.000 18

A.6 不确定度分量评定

A.6.1 仪器数字分辨力引入的不确定度分量 u_{10}

$$u_{10} = \frac{\omega}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{0.000\ 1}{2 \times \sqrt{3}} \mu m = 0.000\ 029 \mu m \quad (A.4)$$

A.6.2 仪器测量重复性引入的不确定度分量 u_{11}

仪器测量重复性引入的不确定度分量 u_{11} 可由下式计算：

$$u_{11} = s_p / \sqrt{n} = \sqrt{\frac{1}{m(n-1)} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} / \sqrt{n} \quad (A.5)$$

计算结果见表 A.4。式中 x_{ij} 指 Ra 的各次测量值 ($m \times n$) 个, $\overline{x_j}$ 指 Ra 第 j 组的平均值, 这里 $m=3$, $n=3$ 。

由于测量重复性所引入的不确定度分量大于仪器分辨力引入的不确定度分量, 所以后者已包含在重复性不确定度分量中, 即 $u_1 = u_{11}$ 。

A.6.3 由标准多刻线样板测量误差引入的不确定度分量 u_2

标准多刻线样板测量误差引入的不确定度分量可根据相关技术资料或校准证书给出的扩展不确定度来计算。本次评定根据校准证书:

$$U = 3 \text{ nm} + 0.02Ra, k=2$$

则四块样板引入的不确定度分量分别为:

当 Ra_0 为 $12.09 \mu\text{m}$ 时, $U = 0.245 \mu\text{m}$, 包含因子 $k=2$, 则

$$u_2 = \frac{0.245 \mu\text{m}}{2} = 0.123 \mu\text{m}$$

当 Ra_0 为 $4.32 \mu\text{m}$ 时, $U = 0.089 \mu\text{m}$, 包含因子 $k=2$, 则

$$u_2 = \frac{0.089 \mu\text{m}}{2} = 0.045 \mu\text{m}$$

当 Ra_0 为 $0.353 \mu\text{m}$ 时, $U = 0.010 1 \mu\text{m}$, 包含因子 $k=2$, 则

$$u_2 = \frac{0.010 1 \mu\text{m}}{2} = 0.005 1 \mu\text{m}$$

当 Ra_0 为 $0.086 \mu\text{m}$ 时, 其扩展不确定度 $U = 0.004 7 \mu\text{m}$, 包含因子 $k=2$, 则

$$u_2 = \frac{0.004 7 \mu\text{m}}{2} = 0.002 4 \mu\text{m}$$

A.7 不确定度分量一览表 (见表 A.5)

表 A.5 不确定度分量一览表

不确定度来源	标准不确定度/ μm		
	符号	数值	
仪器测量重复性	u_1	$Ra_0: 12.09$	0.003 9
		$Ra_0: 4.32$	0.001 9
		$Ra_0: 0.353$	0.000 58
		$Ra_0: 0.086$	0.000 18
标准多刻线样板测量误差	u_2	$Ra_0: 12.09$	0.123
		$Ra_0: 4.32$	0.045
		$Ra_0: 0.353$	0.005 1
		$Ra_0: 0.086$	0.002 4

A.8 合成标准不确定度

用 Ra_0 为 $12.09\ \mu\text{m}$ 的样板校准时,

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.003\ 9^2 + 0.123^2}\ \mu\text{m} = 0.123\ \mu\text{m}$$

用 Ra_0 为 $4.32\ \mu\text{m}$ 的样板校准时,

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.001\ 9^2 + 0.045^2}\ \mu\text{m} = 0.045\ \mu\text{m}$$

用 Ra_0 为 $0.353\ \mu\text{m}$ 的样板校准时,

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.000\ 58^2 + 0.005\ 1^2}\ \mu\text{m} = 0.005\ 1\ \mu\text{m}$$

用 Ra_0 为 $0.086\ \mu\text{m}$ 的样板校准时,

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.000\ 18^2 + 0.002\ 4^2}\ \mu\text{m} = 0.002\ 4\ \mu\text{m}$$

A.9 扩展不确定度

取 $k=2$, 仪器示值误差校准结果扩展不确定度见表 A.6。

表 A.6 扩展不确定度一览表

样板 $Ra_0/\mu\text{m}$	仪器取样长度/mm	扩展不确定度 $U/\mu\text{m}$
12.09	8.0	0.246
4.32	2.5	0.090
0.353	0.8	0.010 2
0.086	0.25	0.004 8

附录 B

传感器触针静态测力和传感器导头的计量特性的校准

B.1 传感器触针静态测力计量特性

传感器触针静态测力不超过 0.000 75 N。有出厂技术要求的应符合出厂技术要求。

B.2 传感器触针静态测力校准方法

传感器触针静态测力可采用①级电子天平测量。

也可采用满足测量不确定度要求的其他方法测量。

将触针针尖轻轻地压在电子天平上，调整传感器的高低位置，当针尖静止在表面上且处于相应量程的中间位置时，读出电子天平的示值，再乘以重力加速度 g ，测量示意图如图 B.1 所示。

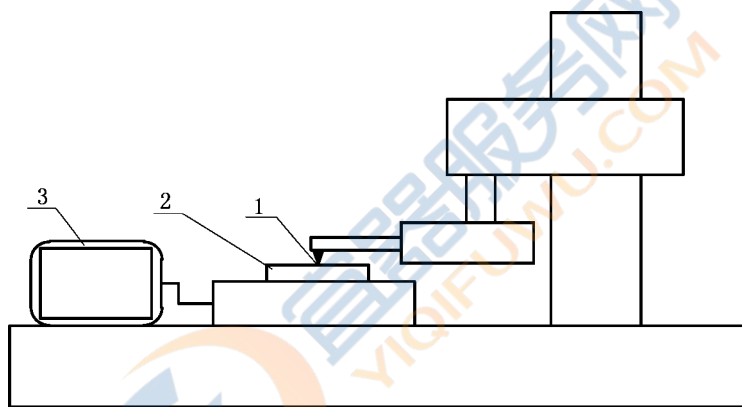


图 B.1 传感器触针静态测力测量示意图

1—触针；2—力传感器；3—显示屏

B.3 传感器导头的计量特性

B.3.1 导头压力

通过导头施加到被测表面上的力应该不大于 0.5 N。有出厂技术要求的应符合出厂技术要求。

B.3.2 导头工作面粗糙度

导头的工作面不应有波纹、划痕、毛刺等疵病，其粗糙度 R_z 不超过 $0.1 \mu\text{m}$ 。有出厂技术要求的应符合出厂技术要求。

B.3.3 导头半径

传感器导头在测量方向上的半径应该不小于所用标称截止波长的 50 倍。如果使用两个同时工作的导头，它们的半径应该不小于标称截止波长的 8 倍。有出厂技术要求的应符合出厂技术要求。

B.4 校准方法

B.4.1 导头压力

将传感器导头压在电子天平上，并使传感器处于水平位置。读出电子天平的示值，

再乘以重力加速度 g ，即为导头压力。

B. 4. 2 传感器导头工作面粗糙度

传感器导头工作面粗糙度用干涉显微镜测量，外观用 20 倍放大镜观察。

B. 4. 3 导头半径

传感器导头端部半径可用半径样板或投影仪进行测量。



附录 C

触针式表面粗糙度测量仪指示表与记录器计量特性的校准

C.1 计量特性

C.1.1 指示表

测量前指针指零，零值误差最大允许误差见仪器出厂技术指标。

积分值指示式仪器，在测量行程终了时，指针停在某一位置上。如指针漂移，在 6 s 内不超过满刻度的 1%。

C.1.2 记录器

C.1.2.1 垂直放大率最大允许误差：±4%。

C.1.2.2 垂直放大率的重复性：1%。

C.1.2.3 非线性误差：10%。

C.1.2.4 水平放大率最大允许误差：±10%。

C.1.2.5 水平放大率的重复性：2.5%。

C.2 校准项目和校准方法

C.2.1 指示表与记录器校准项目和标准器见表 C.1。

表 C.1 指示表与记录器校准项目和校准用标准器

序号	校准项目	校准用标准器
1	指示表	秒表
2	记录器垂直放大率误差	单刻线标准样板或阶梯量块
3	记录器垂直放大率的重复性	单刻线标准样板或阶梯量块
4	记录器非线性误差	单刻线标准样板或阶梯量块
5	记录器水平放大率误差	单刻线标准样板（带辅助刻线）
6	记录器水平放大率的重复性	单刻线标准样板（带辅助刻线）

C.2.2 校准方法

C.2.2.1 指示表

试验观察。

C.2.2.2 记录器垂直放大率误差

用一组标准单刻线样板（或阶梯量块），在满量程的 80%~90% 区间进行测量。在样板工作区域内的 3 个不同位置上各测量 3 次，取其平均值，按式（C.1）计算垂直放大率误差：

$$\delta_v = \frac{H - H_0}{H_0} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

δ_v ——垂直放大率误差；

H_0 ——标准单刻线样板（或阶梯量块）的标准值；

H —— H'/K_v ；

H' ——按记录图形测量的位移量；

K_v ——垂直放大率名义值。

C. 2. 2. 3 记录器垂直放大率的重复性

在小量程高放大率条件下，选用一块相应的标准单刻线样板，对样板某一固定位置测量 4 次，其最大值与最小值之差的二分之一对测量平均值的百分比为垂直放大率的示值重复性。

C. 2. 2. 4 记录器非线性误差

在大量程低垂直放大率条件下，用记录器对深度 H_0 近 $5\ \mu\text{m}$ 的标准单刻线样板（或阶梯量块）在记录纸的五等分内分别进行测量记录，按 5 次记录图形求得最大值与最小值之差与 $[(H_0/1\ 000) \times \text{垂直放大率}]$ 的百分比即为记录器的非线性误差。

C. 2. 2. 5 记录器水平放大率误差

用标准单刻线样板的辅助刻线间距，对各水平放大率进行重复测量 3 次，取其平均值，按式 (C. 2) 计算水平放大率误差：

$$\delta_h = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (\text{C. 2})$$

式中：

δ_h ——水平放大率误差；

L_0 ——标准单刻线样板上辅助刻线的间距标准值；

L —— L'/K_h ；

L' ——记录图形上辅助刻线间距的距离；

K_h ——水平放大率名义值。

C. 2. 2. 6 记录器水平放大率的重复性

用标准单刻线样板的辅助刻线，在任一水平放大率对样板某一固定位置重复测量 4 次，其最大值与最小值之差的二分之一对测量平均值的百分比为水平放大率的示值重复性。

附录 D

 λ_c 和 λ_s 波段传输特性D.1 λ_c 和 λ_s 波段传输特性

D.1.1 粗糙度轮廓长波段截止波长 λ_c 、短波段截止波长 λ_s 和针尖半径之间关系（见表 D.1）

表 D.1 λ_c 、 λ_s 和针尖半径之间关系

λ_c/mm	$\lambda_s/\mu\text{m}$	λ_c/λ_s	针尖半径最大值/ μm	最大采样间距/ μm
0.08	2.5	30	2	0.5
0.25	2.5	100	2	0.5
0.08	2.5	300	2	0.5
2.50	8.0	300	5	1.5
8.00	25	300	10	5

D.1.2 粗糙度轮廓中线传输特性

$$\frac{a_1}{a_0} = e^{-\pi \left(\frac{\alpha \lambda_c}{\lambda} \right)^2} \quad (\text{D.1})$$

式中：

a_0 ——滤波前正弦波粗糙度轮廓幅值；

a_1 ——中线中的该正弦波轮廓幅值；

λ ——正弦波轮廓波长；

$\alpha=0.4697$ 。

D.1.3 粗糙度轮廓波段传输特性

$$\frac{a_2}{a_0} = 1 - e^{-\pi \left(\frac{\alpha \lambda_c}{\lambda} \right)^2}; \quad \frac{a_2}{a_0} = 1 - \frac{a_1}{a_0} \quad (\text{D.2})$$

式中：

a_2 ——滤波后正弦波粗糙度轮廓幅值。

D.1.4 粗糙度轮廓波段传输特性

$$\frac{a_3}{a_0} = e^{-\pi \left(\frac{\alpha \lambda_s}{\lambda} \right)^2} \quad (\text{D.3})$$

式中：

a_3 —— λ_s 滤波后正弦波粗糙度轮廓幅值。

λ_c 和 λ_s 波段传输特性见表 D.2。

D.2 λ_c 和 λ_s 波段传输特性的校准方法

可用小振幅振动台进行校准。方法如下：将传感器触针轻轻置于振动台的工作台上，由标准信号发生器输出正弦波信号激励振子振动，由示波器或数字电压表读出幅值，分别对仪器的各切除长度进行测量读数。由式（D.4）和式（D.5）确定比值 $\frac{a_2}{a_0}$

与 $\frac{a_3}{a_0}$ 。

表 D.2 λ_c 波段传输特性和 λ_s 波段传输特性*

λ/λ_c	粗糙度轮廓： (a_2/a_0) / (%)	λ/λ_s	粗糙度轮廓： (a_3/a_0) / (%)
0.1	100	——	——
0.2	100	——	——
0.3	100	——	——
1/3	98.0	1/3	2.0
0.5	93.7	0.5	6.3
0.7	75.7	0.7	24.3
1.0	50.0	1.0	50.0
1.5	26.5	1.5	73.5
2.0	15.9	2.0	84.1
2.5	10.5	2.5	89.5
3.0	7.4	3.0	92.6
* 国家标准 GB/T 18777—2009 没有规定传输特性的上下偏差。校准时，参阅仪器相对示值误差最大允许值，确定实际传输特性偏差的允许范围。一般建议上下偏差不超过±2%。			

$$\frac{a_2}{a_0} = \frac{Ra_2}{A \times 2/\pi} \times 100\% \quad (D.4)$$

$$\frac{a_3}{a_0} = \frac{Ra_3}{A \times 2/\pi} \times 100\% \quad (D.5)$$

式中：

Ra_2 、 Ra_3 ——分别为 λ_c 和 λ_s 波段时仪器读出的示值， μm ；

A ——波距为 λ 的正弦信号幅度， μm 。

附录 E

校准证书内页信息及格式

E.1 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；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准日期，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收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用计量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

E.2 推荐的校准证书内页格式见表 E.1。

表 E.1 校准证书内页格式

证书编号：

校准环境条件	温度：_____℃ 相对湿度：_____%	地点：_____ 其他：_____
序号	校准项目	校准结果
1	传感器触针针尖圆弧半径及角度	
2	传感器滑行轨迹的直线度	
3	残余轮廓	
4	示值误差	
5	示值重复性	
6	示值稳定性	
测量结果不确定度：		

校准员：

核验员：