

福建省地方计量技术规范

JJF (闽) 1043—2011

接触（触针）式表面 轮廓测量仪校准规范

Calibration Specification for

Contact (Stylus) Surface Contour Tester

2011-6-10 发布

2011-6-10 实施

福建省质量技术监督局 发布

接触（触针）式表面轮廓
测量仪校准规范
Calibration Specification for Contact
（Stylus） Surface Contour Tester

JJF（闽）1043—2011

本规范经福建省质量技术监督局于 2011 年 6 月 10 日批准，并自 2011 年 6 月 10 日起施行。

归口单位：福建省质量技术监督局

主要起草单位：福建省计量科学研究院

本规范委托起草单位负责解释。

本规范主要起草人：

林景星 （福建省计量科学研究院）

张建群 （福建省计量科学研究院）

王朝阳 （福建省计量科学研究院）

陈晓燕 （福建省计量科学研究院）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 外观	(2)
5.2 静态测量力	(2)
5.3 基准导轨直线度	(2)
5.4 轮廓垂直分量(Z轴)示值误差	(2)
5.5 轮廓水平分量(X轴)示值误差	(2)
5.6 半径测量示值误差	(2)
5.7 半径测量重复性	(2)
5.8 角度测量示值误差	(3)
5.9 角度测量重复性	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 标准器及其它设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 静态测量力	(4)
7.2 基准导轨直线度	(4)
7.3 轮廓垂直分量(Z轴)示值误差	(4)
7.4 轮廓水平分量(X轴)示值误差	(4)
7.5 半径测量示值误差	(4)
7.6 半径测量重复性	(4)
7.7 角度测量示值误差	(5)
7.8 角度测量重复性	(5)
8 校准结果表达	(5)
9 复校时间间隔	(5)
附录A 校准记录和校准证书校准结果内页(式样)	(6)
附录B 轮廓仪示值误差校准结果不确定度评定(示例)	(9)
附录C 极差系数C数值表	(18)

引 言

本规范参照 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》、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》和接触（触针）式仪器使用说明制定，其编写格式执行 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》。

由于国家标准没有规定技术指标，各个制造厂技术指标不统一。本规范要求的计量特性技术要求（最大允许误差）采取：“验收检验时，按照合同规定；校准时，由用户规定”。

本规范用于接触（触针）式表面轮廓测量仪的校准，为保证其量值的准确可靠而制定的校准技术规范。

接触（触针）式表面轮廓测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于以扫描法测量工件表面二维形状、位置参数的接触（触针）式表面轮廓测量仪（以下简称“轮廓仪”）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 3505-2009 产品几何技术规范（GPS）表面结构 轮廓法 表面结构的术语、定义及参数

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 17163-2008 几何量测量器具术语 基本术语

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

JJF 1059 测量不确定度评定与表示

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 术语

GB/T 6062-2009、GB/T 17163-2008 中界定的及下列术语和定义适用于本规范。

3.1 接触（触针）式表面轮廓测量仪（Contact（Stylus）Surface Contour Tester）

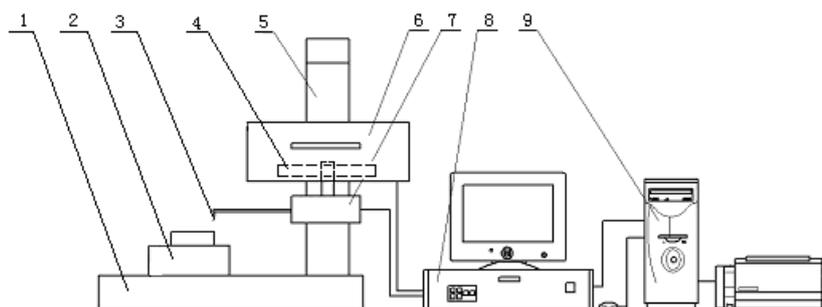
以直线导轨为基准，触针沿工件表面运动，记录被测表面轮廓曲线，计算并评定被测轮廓的尺寸、角度、圆弧半径等二维形状、位置参数的测量仪器。

3.2 坐标系 (Coordinate System)

表面轮廓参数的坐标系采用直角坐标系，X 轴与基准导轨方向一致（轮廓的水平方向），Z 轴与 X 轴垂直的铅垂面（轮廓的垂直方向）。

4 概述

轮廓仪一般由传感器、驱动箱、电子信号处理装置、计算机系统等组成（见图 1）。



1—底座；2—工作台；3—触针；4—基准导轨；5—立柱；
6—驱动箱；7—传感器；8—电子信号处理装置；9—计算机系统。

图 1 接触（触针）式表面轮廓测量仪示意图

其工作原理是：仪器的触针在被测轮廓表面滑移，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。计算机对此原始轮廓的数字信号进行数字滤波，并计算其参数。轮廓仪可用于测量各种机械零件素线形状和截面轮廓形状。如：凸出量、曲面曲率半径、直线度、平行度、倾斜度、角度等。

5 计量特性

5.1 各部分部件相互作用：轮廓仪各活动部件运动应平稳、灵活，无卡滞、跳动和爬行等现象；紧固部件作用有效、可靠；可调部分应满足测量要求。

5.2 静态测量力。

5.3 基准导轨直线度。

5.4 轮廓垂直分量（Z 轴）示值误差。

5.5 轮廓水平分量（X 轴）示值误差。

5.6 半径测量示值误差。

5.7 半径测量重复性。

5.8 角度测量示值误差。

5.9 角度测量重复性。

以上计量特性的最大允许误差：

——校准时，由用户规定；

——验收检验时，按照合同规定。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 校准室内温度应在 (20 ± 3) °C 范围内，相对湿度不超过 65%。

6.1.2 校准室内应无影响测量的灰尘、振动、气流、腐蚀性气体和较强磁场。

6.1.3 被校仪器及校准用测量标准及其他设备在室内连续平衡温度的时间不少于 1h。

6.2 测量标准及其他设备

校准用测量标准及其他设备见表 1。

表 1 校准用测量标准及其他设备

序号	校准项目	测量标准及其他设备
1	静态测量力	中准确度等级电子天平，其分辨力为 0.01g
2	基准导轨直线度	1 级平面平晶
3	轮廓垂直分量 (Z 轴) 示值误差	4 等量块，2 级平面平晶
4	轮廓水平分量 (X 轴) 示值误差	激光干涉仪， $MPE: \pm (0.03 + 1.5L) \mu m$
5	半径测量示值误差	半径和形状经校准的标准球或标准半球 ($R10mm \sim R20m$ 和 $R70mm \sim R90mm$ 各一个)
6	半径测量重复性	
7	角度测量示值误差	四等棱体
8	角度测量重复性	

注：也可采用满足测量准确度要求的其它测量标准及其他设备进行校准。

7 校准项目和校准方法

检查轮廓仪各部分相互作用，确定没有影响校准计量特性的因素后按 7.1~7.8 校准。也可采用满足测量准确度要求的其它校准方法进行校准。校准前，被校仪器连续通电预热时间不少于 30min。

7.1 静态测量力

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，使传感器触针位移显示指向零位。读出电子天平的示值，再乘以重力加速度 g ($g=9.8\text{m/s}^2$)，即为触针静态测量力。

7.2 基准导轨直线度

将工作面长度大于轮廓仪 X 轴测量范围的 1 级平晶水平放置在轮廓仪工作台上，调整轮廓仪垂直分辨力为最小值，轮廓仪滤波器选择高斯滤波器，且截止波长不大于 0.5mm。

按规定的长度在 X 轴测量范围内至少取三段测量平晶表面轮廓，用最小二乘法分别计算各段表面轮廓的直线度，取各段直线度中的最大值作为基准导轨规定长度的直线度。

以全行程表面轮廓的直线度作为全行程基准导轨的直线度。

7.3 轮廓垂直分量 (Z 轴) 示值误差

在传感器触针位移范围内选择 5 个大致均匀分布的测量点，分别选取对应尺寸的 4 等量块。先把量块按尺寸由大到小平行并紧密接触地研合在平面平晶工作面上，然后将其置于轮廓仪工作台上。由大到小测量各量块表面轮廓。测量值与量块实际值之差为各点示值误差，取其最大值为轮廓垂直分量 (Z 轴) 示值误差。

7.4 轮廓水平分量 (X 轴) 示值误差

把激光干涉仪的靶镜固定在轮廓仪驱动箱与传感器连接件上，调整激光干涉仪的激光光束与轮廓仪基准导轨平行。在轮廓仪 X 轴测量范围内选取大致均匀分布的 5 个测量点，读取各点轮廓仪示值与激光干涉仪示值，轮廓仪示值与激光干涉仪示值之差为各点轮廓水平分量 (X 轴) 示值误差。取其最大值为轮廓水平分量 (X 轴) 示值误差。

7.5 半径测量示值误差

将标准球或标准半球放置于轮廓仪工作台上，先调整标准球(标准半球)的位置，使触针滑行轨迹通过标准球(标准半球)的最高点，然后测量标准球表面轮廓半径。重复以上步骤，连续三次测量标准球表面轮廓半径，三次测量平均值与标准球(标准半球)半径的实际值之差为半径测量示值误差。

7.6 半径测量重复性

将标准球或标准半球放置于轮廓仪工作台上，调整触针滑行轨迹通过标准球

(标准半球)的最高点,重复三次测量表面轮廓半径,按极差法计算实验标准差作为半径测量重复性。

7.7 角度测量示值误差

将四等棱体放置于轮廓仪工作台上,先调整棱体的侧边平行于触针滑行方向,然后测量棱体各相邻工作面的角值。重复以上步骤,连续三次测量棱体各相邻工作面的角值,三次测量平均角值与棱体工作角标称角值之差为各角度测量示值误差,取其最大值为角度测量示值误差。

7.8 角度测量重复性

将四等棱体放置于轮廓仪工作台上,调整棱体的侧边平行于触针滑行方向,对四等棱体任一工作角重复测量三次,按极差法计算实验标准差作为角度测量重复性。

8 校准结果表达

校准记录式样见附录A.1。

经校准的轮廓仪出具《校准证书》,校准证书应给出各校准项目的测量结果及示值误差测量结果的扩展不确定度。校准证书校准结果内页式样见附录A.2。

当用户要求时,可以根据用户提供的计量特性最大允许误差进行将合性判定,并将判定结论写入校准证书。进行符合性判定应考虑测量结果的扩展不确定度。

9 复校时间间隔

轮廓仪复校时间间隔可根据实际使用情况由使用单位确定,建议复校时间间隔最长一般不超过1年。

附录 A

校准记录和校准证书校准结果内页（式样）

A.1 校准记录式样

接触（触针）式表面轮廓测量仪校准记录

一、基本信息

被校单位					记录编号		
样品	名称	表面轮廓测量仪		型号/规格	技术特征		
	生产厂			出厂编号			
测量标准及其他设备	名称	型号/规格	编号	技术特征		证书编号	
	激光干涉仪						
	量块						
	标准球						
	多面棱体						
	平晶						
	电子天平						
环境条件	温度 °C、相对湿度 %			地点	<input type="checkbox"/> 同被校单位 <input type="checkbox"/> 其他：		
校准技术依据							

二、校准数据

2.1 静态测量力

天平示值 (g)	测量力 (N)

2.2 基准导轨直线度 (μm)

规定长度_____mm 内			
全行程			

2.3 轮廓垂直分量 (Z轴) 示值误差

量块尺寸	mm					
	μm					
轮廓仪示值	μm					
示值误差	μm					

测量不确定度： $U =$, $k = 2$ 。

2.4 轮廓水平分量（X轴）示值误差

测量点 (mm)						
示值 (mm)						
示值误差 (μm)						
测量不确定度: $U =$, $k = 2$ 。						

2.5 半径测量示值误差

标准球半径实际值 (mm)					
轮廓仪示值 (mm)					
平均值 (μm)					
示值误差 (μm)					
测量不确定度: $U =$, $k = 2$ 。					

2.6 半径测量重复性

标准球半径实际值 (mm)			
轮廓仪示值 (mm)			
重复性 (μm)			

2.7 角度测量示值误差

测量点	1-2 工作面	2-3工作面	3-4工作面	4-5工作面	5-6工作面
	(°)(′)(″)	(°)(′)(″)	(°)(′)(″)	(°)(′)(″)	(°)(′)(″)
棱体工作角角值					
轮廓仪示值	1				
	2				
	3				
平均值					
示值误差 (″)					
测量不确定度: $U =$, $k = 2$ 。					

2.8 角度测量重复性

棱体工作角角值			
轮廓仪示值		″	
重复性 (″)			

备注:

校准员: _____ 核验员: _____ 校准日期: _____年 ____月 ____日

A.2 校准证书校准结果内页式样

校 准 结 果				
序号	校准项目	技术要求	校准数据	测量不确定度 $U(k=2)$
1	静态测量力			/
2	基准导轨直线度			/
3	轮廓垂直分量(Z轴)示值误差			
4	轮廓水平分量(X轴)示值误差			
5	半径测量示值误差			
6	半径测量重复性			/
7	角度测量示值误差			
8	角度测量重复性			/
附加说明:				

附录 B

轮廓仪示值误差校准结果不确定度评定（示例）

B1 轮廓垂直分量（Z 轴）示值误差校准结果的不确定度评定

B1.1 概述

在环境温度 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，采用 4 等量块 $(U=0.20\mu\text{m} + 2 \times 10^{-6}L_n)$ 测量轮廓垂直分量（Z 轴）10mm 处示值，测得值与量块实际值之差为测量结果。

B1.2 数学模型

$$\Delta = L_i - L_s \quad (\text{B1.1})$$

式中：

Δ ——轮廓垂直分量各校准点示值误差，mm；

L_i ——轮廓仪垂直分量示值，mm；

L_s ——量块实际值，mm。

式（B1.1）中， L_i 、 L_s 之间互为独立，其灵敏系数与方差分别为

$$c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial L_i} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial L_s} = -1 \quad (\text{B1.2})$$

$$u^2(\Delta) = c_1^2 \cdot u^2(L_i) + c_2^2 \cdot u^2(L_s) \quad (\text{B1.3})$$

B1.3 标准不确定度分量的来源与评定

B1.3.1 轮廓垂直分量（Z 轴）示值（ L_i ）引入的标准不确定度 $u(L_i)$

轮廓垂直分量示值产生的不确定度主要是测量重复性引起的标准不确定度分量。对轮廓仪垂直分量 10mm 示值点，用 10mm 量块重复测量 10 次，测量结果为：9.9972mm、9.9968mm、9.9974mm、9.9967mm、9.9972mm、9.9980mm、9.9972mm、9.9973mm、9.9966mm、9.9975mm。

计算可得单次测量实验标准差：

$$u(L_i) = 0.41\mu\text{m}.$$

B1.3.2 标准器引入的标准不确定度 $u(L_s)$

（1）4 等标准量块中心长度扩展不确定度为 $(0.20+2L_s)\mu\text{m}$ （式中 L_s 以 m 为单位）。置信概率 $P=0.99$ ，覆盖因子 $k=2.63$ 。当 $L_s=10\text{mm}$ 时，

$$u_1(L_s) = (0.20+2L_s) / 2.63 = 0.08\mu\text{m}$$

(2) 量块线膨胀系数 $\alpha = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。假定其在 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内等概率分布。若被测量块温度 t_x 与标准温度 20°C 的偏差不超过 3°C ，则对于 10mm 量块：

$$u_2(L_S) = L_S(t - 20) \cdot \alpha / \sqrt{3} = 0.20 \mu\text{m}$$

(3) 2级平面平晶的平面度为 $0.1 \mu\text{m}$ ，假定其等概率分布。

$$u_3(L_S) = 0.1 / \sqrt{3} = 0.058 \mu\text{m}$$

综合 (1)、(2)、(3)，则标准器引入的标准不确定度为：

$$u(L_S) = 0.22 \mu\text{m}$$

B1.4 合成标准不确定度的计算

B1.4.1 标准不确定度分量一览表

将第 B1.3 条款评定的标准不确定度分量与灵敏系数计算列表如下：

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (μm)	c_i	$ c_i \cdot u(x_i)$ (μm)
$u(L_i)$	轮廓垂直分量	0.41	1	0.41
$u(L_S)$	标准器分量	0.22	-1	0.22
$u_1(L_S)$	4等标准量块中心长度	0.08		
$u_2(L_S)$	量块线膨胀系数	0.20		
$u_3(L_S)$	2级平面平晶的平面度	0.058		

B1.4.2 合成标准不确定度计算

由于 L_i 、 L_S 之间彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(L_i) + c_2^2 u^2(L_S)} \quad (\text{B1.4})$$

按式 (B1.4) 计算合成标准不确定度为：

$$u_c = 0.47 \mu\text{m}$$

B1.5 扩展不确定度的确定

$$U = k \cdot u_c \quad (\text{B1.5})$$

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度按式 (B1.5) 计算为：

$$U=2\times 0.47=0.94\mu\text{m}\approx 1.0\mu\text{m}$$

B1.6 轮廓垂直分量 (Z 轴) 示值校准结果及不确定度报告

轮廓仪垂直分量 10mm 时, $U=1.0\mu\text{m}$, $k=2$

B2 轮廓水平分量 (X 轴) 示值误差校准结果的不确定度评定

B2.1 概述

在环境温度 $(20\pm 3)^\circ\text{C}$, 采用激光干涉仪 ($MPE=\pm (0.03+1.5L)\mu\text{m}$) 测量轮廓水平分量 (X 轴) 100mm 处示值, 轮廓仪示值与激光干涉仪示值之差为测量结果。

B2.2 数学模型

$$\Delta = L_i - L_s \quad (\text{B2.1})$$

式中:

Δ ——轮廓水平分量 (X 轴) 各校准点示值误差, mm;

L_i ——轮廓水平分量 (X 轴) 示值, mm;

L_s ——激光干涉仪示值, mm。

式 (B2.1) 中, L_i 、 L_s 之间互为独立, 其灵敏系数与方差分别为

$$c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial L_i} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial L_s} = -1 \quad (\text{B2.2})$$

$$u^2(\Delta) = c_1^2 \cdot u^2(L_i) + c_2^2 \cdot u^2(L_s) \quad (\text{B2.3})$$

B2.3 标准不确定度分量的来源与评定

B2.3.1 轮廓水平分量 (X 轴) 示值 (L_i) 引入的标准不确定度 $u(L_i)$

轮廓水平分量 (X 轴) 示值产生的不确定度主要是测量重复性引起的标准不确定度分量。对轮廓水平分量 100mm 示值点, 采用激光干涉仪重复测量 10 次, 测量结果为: 99.9989mm、99.9994mm、99.9988mm、99.9993mm、99.9997mm、99.9990mm、99.9991mm、99.9987mm、99.9990mm、99.9989mm。

计算可得单次测量实验标准差:

$$u(L_i) = 0.31\mu\text{m}$$

B2.3.2 激光干涉仪示值引入的标准不确定度 $u(L_s)$

(1) 激光干涉仪示值误差 (L_s) 引入的标准不确定度 $u(L_s)$

激光干涉仪使用空气参数补偿单元的位移测量最大允许示值误差为： $\pm(0.03+1.5L_s)$ μm （式中 L_s 以 m 为单位），按均匀分布估计。

当 $L_s=100\text{mm}$ 时，

$$u_1(L_s) = (0.03+1.5L_s) / \sqrt{3} = 0.10\mu\text{m}$$

(2) 轮廓仪线膨胀系数 $\alpha = (8 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。假定其在 $(8 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内等概率分布。若被测温度 t_x 与标准温度 20°C 的偏差不超过 3°C ，则对于 100mm 测量点：

$$u_2(L_s) = L_s(t - 20) \cdot \alpha / \sqrt{3} = 0.17\mu\text{m}$$

综合 (1)、(2)，则标准器引入的标准不确定度为

$$u(L_s) = 0.20\mu\text{m}$$

B2.4 合成标准不确定度的计算

B2.4.1 标准不确定度分量一览表

将第 B2.3 条款评定的标准不确定度分量与灵敏系数计算列表如下：

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (μm)	c_i	$ c_i \cdot u(x_i)$ (μm)
$u(L_i)$	轮廓水平分量 (X 轴) 示值	0.31	1	0.31
$u(L_s)$	激光干涉仪示值	0.20	-1	0.20
$u_1(L_s)$	激光干涉仪示值误差	0.10		
$u_2(L_s)$	轮廓仪线膨胀系数	0.17		

B2.4.2 合成标准不确定度计算

由于 L_i 、 L_s 之间彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(L_i) + c_2^2 u^2(L_s)} \quad (\text{B2.4})$$

按式 (B2.4) 计算合成标准不确定度为：

$$u_c = 0.37\mu\text{m}$$

B2.5 扩展不确定度的确定

$$U = k \cdot u_c \quad (\text{B2.5})$$

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度按式 (B2.5) 计算为：

$$U=2 \times 0.37=0.74\mu\text{m} \approx 0.8\mu\text{m}$$

B2.6 水平分量 (X 轴) 示值校准结果及不确定度报告

轮廓仪垂直分量 (X 轴) 100mm 时, $U=0.8\mu\text{m}$, $k=2$ 。

B3 轮廓仪半径测量示值误差校准结果的不确定度评定

B3.1 概述

在环境温度 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，采用 $R80\text{mm}$ 的标准半球 ($U=1\mu\text{m}$, $k=2$) 在轮廓仪上测量表面轮廓半径, 连续测量三次, 三次测量的平均值与标准半球实际值之差为测量结果。

B3.2 数学模型

$$\Delta = \bar{L}_i - L_s \quad (\text{B3.1})$$

式中：

Δ ——轮廓仪测量圆弧半径各校准点示值误差, mm;

\bar{L}_i ——轮廓仪半径测量示值的平均值, mm;

L_s ——标准半球半径值, mm。

式 (B3.1) 中, \bar{L}_i 、 L_s 之间互为独立, 其灵敏系数与方差分别为

$$c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial \bar{L}_i} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial L_s} = -1 \quad (\text{B3.2})$$

$$u^2(\Delta) = c_1^2 \cdot u^2(\bar{L}_i) + c_2^2 \cdot u^2(L_s) \quad (\text{B3.3})$$

B3.3 标准不确定度分量的来源与评定

B3.3.1 轮廓仪半径测量的平均值 \bar{L}_i 引入的标准不确定度 $u(\bar{L}_i)$

轮廓仪半径测量示值产生的不确定度主要是测量重复性引起的标准不确定度分量。对半径 $R80\text{mm}$ 标准半球, 重复测量 10 次, 测量结果为: 79.5055mm, 79.5044mm, 79.5040mm, 79.5030mm, 79.5035mm, 79.5050mm, 79.5041mm, 79.5036mm, 79.5040mm, 79.5050mm。

计算可得单次测量实验标准差:

$$S(\bar{L}_i) = 0.77\mu\text{m}$$

实际测量以三次测量的平均值作为测量结果，平均值的实验标准偏差为：

$$u(\bar{L}_i) = 0.77 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.44 \mu\text{m}$$

B3.3.2 标准半球半径测量不确定度 (L_S) 引入的标准不确定度 $u(L_S)$

(1) 标准半球半径测量不确定度 $U=1\mu\text{m}$, $k=2$ 。则

$$u_1(L_S) = 1/2 = 0.50 \mu\text{m}$$

(2) 标准半球材料为玻璃，其线膨胀系数 $\alpha = (5.5 \pm 0.2) \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。假定标准半球的线膨胀系数在 $(5.5 \pm 0.2) \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内等概率分布。若被测半球温度 t 与标准温度 20°C 的偏差不超过 3°C ，则对于 $R80\text{mm}$ 标准半球：

$$u_2(L_S) = L_S(t - 20) \cdot \alpha / \sqrt{3} = 0.08 \mu\text{m}$$

综合 (1)、(2)，则标准半球半径值引入的标准不确定度为

$$u(L_S) = 0.51 \mu\text{m}$$

B3.4 合成标准不确定度的计算

B3.4.1 标准不确定度分量一览表

将第 B3.3 条款评定的标准不确定度分量与灵敏系数计算列表如下：

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (μm)	c_i	$ c_i \cdot u(x_i)$ (μm)
$u(\bar{L}_i)$	半径测量的平均值	0.44	1	0.44
$u(L_S)$	标准半球半径值	0.51	-1	0.51
$u_1(L_S)$	标准半球半径	0.50		
$u_2(L_S)$	标准半球线膨胀系数	0.08		

B3.4.2 合成标准不确定度计算

由于 \bar{L}_i 、 L_S 之间彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{L}_i) + c_2^2 u^2(L_S)} \quad (\text{B3.4})$$

按式 (B3.4) 计算合成标准不确定度为：

$$u_c=0.67\mu\text{m}$$

B3.5 扩展不确定度的确定

$$U = k \bullet u_c \quad (\text{B3.5})$$

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度按式 (B3.5) 计算为：

$$U=2 \times 0.67=1.34\mu\text{m} \approx 1.4\mu\text{m}$$

B3.6 轮廓仪半径测量示值误差校准结果及不确定度报告

$$U=1.4\mu\text{m}, \quad k=2$$

轮廓仪半径测量 $R80\text{mm}$ 时， $U=1.4\mu\text{m}$ ， $k=2$ 。

B4 轮廓仪角度测量示值误差校准结果的不确定度评定

B4.1 概述

在环境温度 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，调整棱体的侧边平行于触针滑行方向，轮廓仪测量四等多面棱体（工作角偏差 $MPE = \pm 5''$ ）1-2 工作面表面轮廓的角值，连续测量三次，以三次测量的平均值与棱体工作角角值之差为测量结果。

B4.2 数学模型

$$\Delta = \bar{L}_i - L_s \quad (\text{B4.1})$$

式中：

Δ ——轮廓仪角度测量各校准点示值误差， $(^\circ \ ' \ '')$ ；

\bar{L}_i ——轮廓仪角度测量示值的平均值， $(^\circ \ ' \ '')$ ；

L_s ——棱体工作角角值， $(^\circ \ ' \ '')$ 。

式 (B4.1) 中， \bar{L}_i 、 L_s 之间互为独立，其灵敏系数与方差分别为

$$c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial \bar{L}_i} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial L_s} = -1 \quad (\text{B4.2})$$

$$u^2(\Delta) = c_1^2 \bullet u^2(\bar{L}_i) + c_2^2 \bullet u^2(L_s) \quad (\text{B4.3})$$

B4.3 标准不确定度分量的来源与评定

B4.3.1 轮廓仪角度测量示值的平均值 (\bar{L}_i) 引入的标准不确定度 $u(\bar{L}_i)$

轮廓仪角度测量示值产生的不确定度主要是测量重复性引起的标准不确定度分量。调整棱体的侧边平行于触针滑行方向，用轮廓仪测量棱体 1-2 工作面表

面轮廓的角度值，重复测量 10 次，示值误差测量结果为： +65" ， +2" ， -6" ， +37" ， +16" ， -48" ， +43" ， 32" ， +13" ， +36" 。

计算可得单次测量实验标准差：

$$S(\bar{L}_i) = 34.7''$$

实际测量中以三次测量的平均值作为测量结果，平均值的实验标准偏差为：

$$u(\bar{L}_i) = 34.7 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 20.0''$$

B4.3.2 四等棱体工作角角值 (L_s) 引入的标准不确定度 $u(L_s)$

四等棱体工作角偏差最大允许值为： $MPE = \pm 5''$ ，估计其均匀分布。则

$$u(L_s) = 5'' / \sqrt{3} = 2.89''$$

B4.4 合成标准不确定度的计算

B4.4.1 标准不确定度分量一览表

将第 B4.3 条款评定的标准不确定度分量与灵敏系数计算列表如下：

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (")	c_i	$ c_i \cdot u(x_i)$ (")
$u(\bar{L}_i)$	角度测量的平均值	20.0	1	20.0
$u(L_s)$	四等棱体工作角角值	2.89	-1	2.89

B4.4.2 合成标准不确定度计算

由于 \bar{L}_i 、 L_s 之间彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{L}_i) + c_2^2 u^2(L_s)} \quad (\text{B4.5})$$

按式 (B4.5) 计算合成标准不确定度为：

$$u_c = 20.2''$$

B4.5 扩展不确定度的确定

$$U = k \cdot u_c \quad (\text{B4.6})$$

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度按式 (B4.6) 计算为：

$$U = 2 \times 20.2'' = 41''$$

B4.6 轮廓仪角度测量示值误差校准结果及不确定度报告

$$U=1.4\mu\text{m}, \quad k=2$$

轮廓仪角度测量 $164^{\circ} 20' 52''$ 时, $U=41''$, $k=2$ 。

附录 C

极差系数 C 数值表

测量次数 (n)	2	3	4	5	6	7	8	9
极差系数 (C)	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97

注：

对某被测量 x_i (在重复条件下) 作 n 次测量, 测量结果为 x_1, x_2, \dots, x_n , 测量列中最大测量值 (x_{\max}) 与最小测量值 (x_{\min}) 之差为极差 ($w = x_{\max} - x_{\min}$)。则单次测量实验标准差为：

$$S = \frac{w}{C}$$

式中： C ——极差系数, 见“极差系数 C 数值表”。
