

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

球径仪样板校准规范 (征求意见稿)

Calibration Specification for Radius Gauge

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

球径仪样板校准规范

Calibration Specification for Radius Gauge

JJF XXXX—XXXX

代替 JJG 465-1986

归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

XXX

XXX

参加起草单位：XXX

本规范委托全国几何量长度计量技术委员会解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

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
4.1 面形偏差均方根值（RMS）或局部光圈（ ΔN ）.....	2
4.2 凸样板圆度.....	2
4.3 球面样板曲率半径.....	2
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 外观检查.....	3
6.2 面形偏差均方根值（RMS）或局部光圈（ ΔN ）.....	3
6.3 凸样板圆度校准.....	3
6.4 曲率半径校准.....	4
7 校准结果表达.....	5
8 复校时间间隔.....	5
附录 A 球径仪样板校准原始记录参考格式.....	6
附录 B 球径仪样板校准证书内页参考格式.....	7
附录 C 激光差动共焦测量仪校准样板曲率半径的测量不确定度评定示例.....	9
附录 D 轮廓仪校准样板曲率半径校准的测量不确定度评定示例.....	13

引 言

本规范是以JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1094—2002《测量仪器特性评定》为基础和依据进行修订的。本规范为修订，代替JJG 465—1986《球径仪样板检定规程（试行）》，与JJG 465-1986《球径仪样板检定规程（试行）》相比，除编辑性修改外，主要修订内容有：

本规范规定了3个计量特性：面形偏差或局部光圈、圆度、样板曲率半径。

——本规范取消了曲率半径实测值与曲率半径标称值的之差应符合极限误差的计量特性要求。

——对校准所需标准器进行调整，增加了激光差动共焦曲率半径测量仪或轮廓仪对样板曲率半径校准的方法。对于面形误差增加了激光球面干涉仪进行面形偏差检测的方法，对于圆度的检测增加了轮廓仪进行圆度误差检测的方法。

——本规范增加了“激光差动共焦样板曲率半径校准的不确定度分析实例”、“使用轮廓仪进行样板曲率半径校准的不确定度分析实例”等附录。

本规范历次版本的发布情况：

——JJG 465-1986

球径仪样板校准规范

1 范围

本规范适用于球径仪样板的校准，也适用于光学元件曲率半径标准样板的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF1831-2020球径仪校准规范

JJF1071-2010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

球径仪样板（以下简称样板）是一种精密的球面曲率半径计量标准器具，主要用于校准球径仪球面曲率半径测量的相对误差。

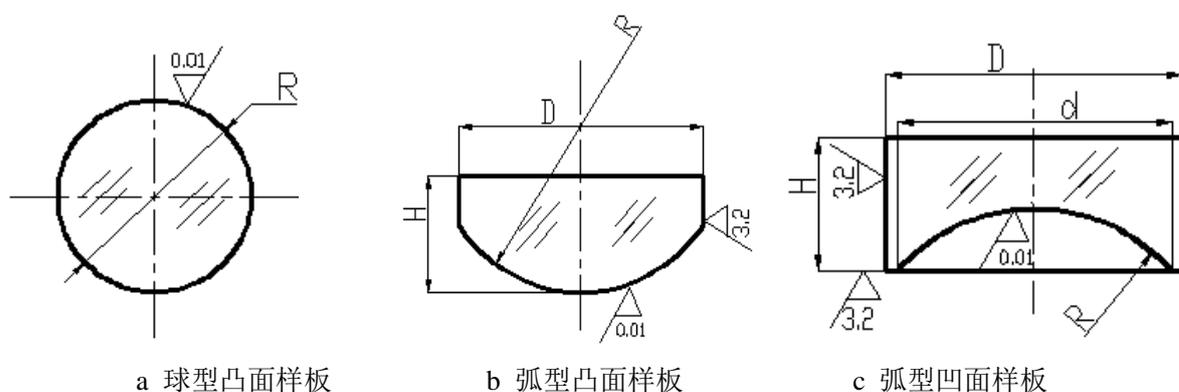


图1 球面标准样板的样式

样板主要分为凹球面样板和凸球面样板两种，凸球面样板又有两种样式，即全球型凸面样板（如图1a所示）和弧型凸面样板（如图1b所示）。凹球面样板和凸球面样板通常成对制造和检验。检验时光圈数为凸、凹样板扣光圈时所产生的干涉圈数（或干涉条纹数），代表着凹凸样板的曲率半径偏差。局部光圈数为凸、凹样板扣光圈时所产生的最大像散光圈数或局部光圈数，随着激光干涉仪的出现，局部光圈通常用面形偏差描述。

4 计量特性

4.1 面形偏差均方根值（RMS）或局部光圈（ ΔV ）

标准球面样板有效工作区域内的面形偏差均方根值（RMS）优于二十分之一的波长（ $\lambda = 0.632\mu\text{m}$ ）或局部光圈 ≤ 0.1 。

4.2 凸样板圆度

对于样板工作区域，采用激光干涉仪测量其面形时相对孔径无法完全覆盖的标准球面凸样板有效工作区域内的圆度误差满足表1的要求。

表 1 标准球面凸样板的技术指标

标准球面样板标称半径 R /mm	凸样板的圆度
5~85	$\leq 0.3 \mu\text{m}$
86~130	$\leq 2 \mu\text{m}$

4.3 球面样板曲率半径相对不确定度

球面样板曲率半径相对不确定度 $U = 8 \times 10^{-5}$ ($k=2$)。

注：以上指标不用于合格性判断，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1 环境条件

温度（ 20 ± 2 ） $^{\circ}\text{C}$ ，室温变化不大于 0.5°C/h ，被校仪器与测量标准在室内平衡温度的时间不少于4h，相对湿度不大于75%。

5.2 测量标准及配套设备

5.2.1 激光球面干涉仪及标准球面镜

标准球面镜面形误差优于（ $\lambda/20$ ）。

5.2.2 圆度仪或者具有圆度测量功能的高精度轮廓仪

圆度仪：三级或优于三级的圆度测量仪。

具有圆度测量功能的高精度轮廓仪：其三个方向上的最大示值误差 $0.1\mu\text{m}$ 。

5.2.3 激光差动共焦曲率半径测量仪或具有曲率半径测量功能的高精度轮廓仪或测长机+三等量块等

激光差动共焦曲率半径测量仪：曲率半径测量相对不确定度： $U = (0.8 \sim 4) \times 10^{-5}$ ($k=2$)。

具有曲率半径测量功能的高精度轮廓仪：三个方向上测长误差优于 $0.1\mu\text{m}$ 。

测长机、立式光学计等相对不确定度： $U=0.3\mu\text{m}$ ($k=2$)。

6 校准项目和校准方法

6.1 外观检查

用目视方法或在白炽灯箱下对标准样板进行外观检查。标准外观应光洁，不应有划痕及可见的油迹、灰尘、水迹、霉点以及影响面形测量和曲率半径测量的其它缺陷。

6.2 面形偏差均方根值 (RMS) 或局部光圈 (ΔN)

6.2.1 使用激光干涉仪测量样板的面形偏差均方根值 (RMS)

将标准球面样板安放在激光球面干涉仪的夹持器上，调整夹持器的俯仰和偏摆，选择尽可能大相对孔径的标准参考镜，测量样板的表面面形 RMS 值，其值符合 5.2.1 中的要求，如果干涉仪相对孔径较小，可转动一定角度后再进行面形测量，以确保工作区域面形要求。

6.2.2 使用扣光圈的方法检查局部光圈 (ΔN)

在白炽灯箱下扣光圈，局部光圈的识别方法与 GB 2831-81《光学零件的面形偏差检验方法》中的有关规定相一致其局部光圈应符合 4.1 中的要求。

6.3 凸样板圆度校准

6.3.1 对于球型样板使用圆度仪测量样板圆度测量

将样板安装在圆度仪工作台上，操作仪器扫描样板工作表面，扫描结束后测量出样板圆度，三次测量后，如有个别峰值点较大，可手动剔除，最后算出圆度误差并记录之。对于球型样板，应在样板三个相互垂直的截面上进行，其圆度均应符合 4.2 中的要求。

6.3.2 对于普通凸样板使用轮廓仪进行圆度测量

将样板安装在轮廓仪台面上，操作仪器扫描样板工作表面，扫描结束后采用软件，剔除个别峰值点，或适当滤波滤除峰值点，测量出样板圆度。

6.4 曲率半径校准

6.4.1 采用激光差动共焦曲率半径测量仪校准球面标准样板的曲率半径

将被测样板安装在夹持器上，控制电机移动被测镜，使光路分别会聚在被测镜的前表

面和焦点上，并在此位置上扫描获得差动共焦曲线，通过曲线仪器会自动通过确定猫眼点和共焦点的位置来实现曲率半径的测量。凸球面样板和凹球面被测样板测量布局分别如图 2 所示。三次扫描测量三次，取三次读数平均值作为该镜片的实际测量值。

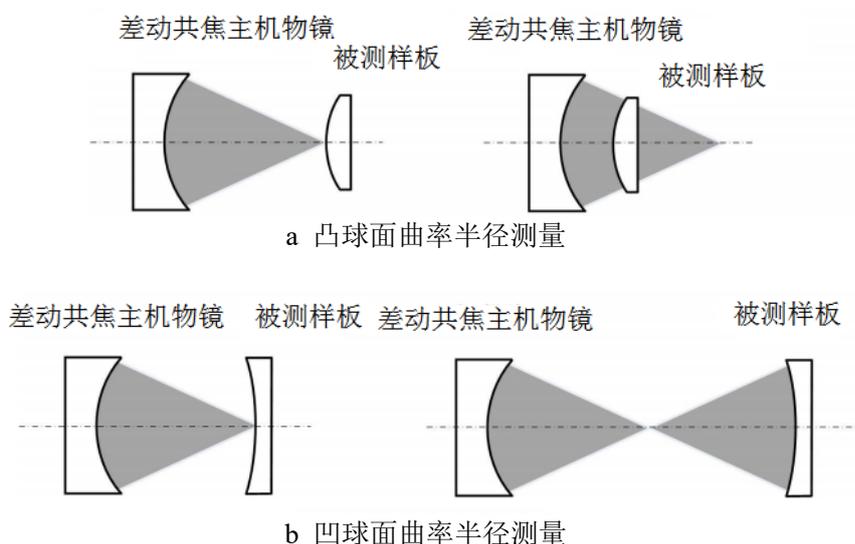


图 2 激光差动共焦曲率半径校准光路

6.4.2 采用高精度轮廓仪校准样板的曲率半径

将样板安装在轮廓仪台面上，操作仪器扫描样板表面，扫描间隔优于大致为样板的口径/20，可矩形扫描，也可圆形扫描。扫描结束后采用软件，剔除个别峰值点，或适当滤波滤除峰值点，拟合得曲率半径并记录之。

6.4.3 采用测长机或立式光学计进行球型样板曲率半径校准

对于球型样板，也可采用测长机或光学计进行校准。此处以立式光学计为例。采用三等量块和立式光学计校准半径为 5~30 mm 的球型样板，用千分尺测出被检球形样板的直径并组合量块，使组合值与直径之差小于 60 μm。将 φ8 mm 平面测帽装在光学计的测量杆上、把研合好的量块放在平工作台与测帽之间，利用工作台两对调整螺钉将工作台而调至与测帽平面相平行，平行度不应超 0.3 μm，调好后把量块放在测帽与工作台的正中。用光管微调螺钉使刻度尺对准零位，取下量块，换上样板，使样板接触测帽正中。从读数装置中读出对零位的偏差，校准应在样板五个不同方位上进行。样板直径的测得值 R 可按式 (1) 计算：

$$R = \frac{5L + l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5}{10} \quad (1)$$

式中：

R ——样板直径，mm；

L ——量块实测长度，mm；

l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 、 l_5 ——分别为五个位置上的读数，mm。

式中 L 为量块实测长度， l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 、 l_5 为五个位置上的读数。

7 校准结果表达

校准结果以校准证书（或校准报告）的形式给出。校准证书至少应包括下列信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，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) 本次校准所用测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，以及签发日期；
- 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，不得部分复印证书或报告的声明。

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、仪器自身质量等诸因素所决定的，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，建议不超过3年。

附录 A

球径仪样板校准原始记录参考格式

送校单位		仪器名称		温度	相对湿度
单位地址		型号规格		°C	%
生产厂家		仪器编号			
校准依据		证书编号			
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	证书编号	证书有效期	
外观检查： <input type="checkbox"/> 符合 <input type="checkbox"/> 不符合					
名义曲率半径	曲率半径类型	局部误差或 面形偏差	圆度误差	曲率半径校准结果	曲率半径校准结果的不确定度
	凸（球）				
	凹				
	凸（球）				
	凹				
	凸（弧）				
	凹				
	凸（弧）				
	凹				
	凸（弧）				
	凹				
	凸（弧）				
	凹				
	凸（弧）				
	凹				
校准日期	年 月 日	校准员		核验员	
备注					

附录 B

球径仪样板校准证书内页参考格式

B.1 校准证书第 2 页

证书编号：××××

校准机构授权说明				
校准所依据/参照的技术文件（代号、名称）				
校准环境条件及地点： 温度： ℃ 地点： 湿度： %RH 其它：				
校准使用的计量基（标）准装置（含标准物质）/主要仪器				
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

第 2 页 共 × 页

B.2 校准证书第 3 页

校准结果

外观检查					
名义曲率半径	曲率半径类型	局部误差或面形偏差	圆度误差	曲率半径校准结果	曲率半径校准结果的不确定度
	凸(球)				
	凹				
	凸(球)				
	凹				
	凸(弧)				
	凹				
	凸(弧)				
	凹				
	凸(弧)				
	凹				
	凸(弧)				
	凹				
	凸(弧)				
	凹				

说明：
复校时间间隔：球径仪样板的建议复校时间间隔为 2 年。

附录 C

激光差动共焦测量仪校准样板曲率半径的测量不确定度评定示例

依据 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求，以曲率半径为 20mm 的球径仪样板为例，给出激光差动共焦测量仪校准样板校准曲率半径的测量不确定度评定示例，其中包括各标准不确定度评定、合成不确定度以及扩展不确定度计算等。

C.1 测量模型

测量模型如下：

$$r = z_A - z_B \quad (\text{C.1})$$

式中：

z_A 、 z_B ——分别为被测透镜处于猫眼位置和共焦位置时的位移；

r ——样板曲率半径。

C.2 不确定度来源分析

激光差动共焦样板测量曲率半径的不确定度来源主要包括：

- a) 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- b) 干涉漂移死程误差引入的标准不确定度 u_2 ；
- c) 角镜和被测透镜表面之间间隙变化引入的标准不确定度 u_3 ；
- d) 面形误差引入的标准不确定度 u_4 ；
- e) 热胀效应引入的标准不确定度 u_5 ；
- f) 导轨机械轴与干涉仪光轴夹角引入的标准不确定度 u_6 ；
- g) 导轨机械轴与共焦测量光轴夹角引入的标准不确定度 u_7 ；

各标准不确定度分量的灵敏系数分别为： $c_1 = 1$ ； c_2 、 c_3 、 c_4 、 c_5 、 c_6 、 c_7 均为 1 或 -1。

C.3 不确定度分量的评定

C.3.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

用激光差动共焦测量仪重复测量样板曲率半径 10 次，测量结果如下：

表 C.1 激光差动共焦测量仪校准样板曲率半径测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	平均值/mm
------	---	---	---	---	---	--------

测量结果/mm	20.00020	20.00030	20.00010	20.00020	20.00020	20.00026
测量次数	6	7	8	9	10	
测量结果/mm	20.00020	20.00040	20.00040	20.00020	20.00030	

按下式计算，得到单次测量实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} = 0.10\mu\text{m} \quad (\text{C.2})$$

由于测量点实际测 3 次 ($n=3$)，因此重复测量引入的标准不确定度 u_1 为：

$$u_1 = \frac{0.10\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.058\mu\text{m} \quad (\text{C.3})$$

C.3.2 干涉仪漂移死程误差引入的标准不确定度 u_2

如果测量曲率半径 $r \leq 30\text{mm}$ 时，干涉漂移死程误差引入的曲率半径测量误差不大于 $0.15\mu\text{m}$ ，按均匀分布计算，则：

$$u_2 = \frac{0.15\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.08\mu\text{m} \quad (\text{C.4})$$

C.3.3 角镜和被测透镜表面之间的间隙变化引入的标准不确定度 u_3

角镜和被测透镜表面之间的间隙变化主要由五维调节架的热胀效应引起，调节架的材料为硬铝，热胀系数为 $2.3 \times 10^{-5}/\text{K}$ 。间隙距离约为 100mm ，在 3 分钟内（一个测量周期）温度稳定性约为 $\pm 0.03\text{K}$ ，按均匀分布计算，则：

$$u_3 = \frac{0.03\text{K} \times 2.3 \times 10^{-5} / \text{K} \times 100\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.05\mu\text{m} \quad (\text{C.5})$$

C.3.4 面形误差引入的标准不确定度 u_4

由 UA3P 和 ZYGO 干涉仪给出被测表面的面形数据，测量误差不大于 $\pm 0.05\mu\text{m}$ ，按均匀分布计算，则：

$$u_4 = \frac{0.05\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.029\mu\text{m} \quad (\text{C.6})$$

C.3.5 热胀效应引入的标准不确定度 u_5

实验所用透镜的材料为 K9 玻璃，其线膨胀系数为 $7.5 \times 10^{-6}/\text{K}$ 。通过测量环境温度进行补偿，将测量结果修正到 20°C ，可以从一定程度上降低温度波动对曲率半径测量结果的影响。考虑到温度计测量误差和材料与环境之间的温度差异，修正后的温度误差为 \pm

0.3K，按均匀分布计算，则：

$$u_5 = \frac{0.3K \times 7.5 \times 10^{-7} / K \cdot r}{\sqrt{3}} = 1.30 \times 10^{-7} \cdot r = 0.026 \mu\text{m} \quad (\text{C.7})$$

C.3.6 导轨机械轴与干涉仪光轴夹角引入的标准不确定度 u_6

在理想情况下，导轨机械轴和干涉仪光轴应互相平行。但在实际情况中，两者之间总是存在一定夹角，从而引入余弦误差：

$$e_\alpha = r(\cos \alpha - 1) = 2r \sin^2 \frac{\alpha}{2} \approx \frac{1}{2} r \alpha^2 \quad (\text{C.8})$$

在系统安装过程中，可以通过精密调整将两轴之间的夹角减少到 $\pm 1 \text{ m rad}$ 以内，由此引入的曲率半径相对误差为 -5.00×10^{-7} 到0之间，按均匀分布计算，则：

$$u_6 = \frac{5.00 \times 10^{-7} \cdot r}{2\sqrt{3}} = 1.44 \times 10^{-7} \cdot r = 0.029 \mu\text{m} \quad (\text{C.9})$$

由于余弦误差总是负值，曲率半径测量结果应加入修正值 $2.5 \times 10^{-7} \cdot r$ 。

C.3.7 导轨机械轴与共焦测量光轴夹角引入的标准不确定度 u_6

导轨机械轴与共焦测量轴夹角误差也在 $\pm 1 \text{ m rad}$ 以内。修正值为 $2.5 \times 10^{-7} \cdot r$ ，按均匀分布计算，则：

$$u_7 = \frac{5.00 \times 10^{-7} \cdot r}{2\sqrt{3}} = 1.44 \times 10^{-7} \cdot r = 0.029 \mu\text{m} \quad (\text{C.10})$$

C.4 不确定度分量汇总

各不确定分量汇总表如表 C.2 所示：

表 C.2 不确定度分量汇总表

不确定度来源	符号	灵敏系数	不确定度分量
测量重复性	u_1	1	$0.058 \mu\text{m}$
干涉仪漂移死程误差	u_2	1 或-1	$0.08 \mu\text{m}$
角镜和被测透镜表面之间的间隙变化	u_3	1 或-1	$0.05 \mu\text{m}$
面形误差	u_4	1 或-1	$0.029 \mu\text{m}$
热胀效应	u_5	1 或-1	$0.026 \mu\text{m}$
导轨机械轴与干涉仪光轴夹角	u_6	1 或-1	$0.029 \mu\text{m}$
导轨机械轴与共焦测量轴夹角	u_7	1 或-1	$0.029 \mu\text{m}$

C.5 合成标准不确定度

以上不确定度分量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + c_5^2 u_5^2 + c_6^2 u_6^2 + c_7^2 u_7^2} = 0.12\mu\text{m} \quad (\text{C.11})$$

C.6 扩展不确定度

取 $k=2$ 时，扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 0.24\mu\text{m} \quad (\text{C.12})$$

C.7 相对扩展不确定度

取 $k=2$ 时，扩展不确定度为：

$$U = 1.2 \times 10^{-5} \quad (\text{C.13})$$

附录 D

轮廓仪校准样板曲率半径测量不确定度评定示例

依据 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求，以曲率半径为 20mm 的球径仪样板为例，给出轮廓仪校准样板曲率半径的测量不确定度评定示例，其中包括各标准不确定度评定、合成不确定度以及扩展不确定度计算等。

D.1 测量模型

测量模型如下：

$$r = R \quad (\text{D.1})$$

式中：

式中：

r ——样板曲率半径，mm；

R ——轮廓仪曲率半径测量值，mm。

D.2 不确定度来源分析

轮廓仪校准样板曲率半径的不确定度来源主要包括：

- a) 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- b) 测量标准本身引入的标准不确定度 u_2 。

D.3 不确定度分量的评定

D.3.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

用轮廓仪重复测量样板曲率半径 10 次，测量结果如下：

表 D.1 轮廓仪校准样板曲率半径测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	平均值/mm
测量结果/mm	20.00020	20.00030	20.00010	20.00020	20.00020	20.00026
测量次数	6	7	8	9	10	
测量结果/mm	20.00020	20.00040	20.00040	20.00020	20.00030	

按下式计算，得到单次测量实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} = 0.10 \mu\text{m} \quad (\text{D.2})$$

实际校准时重复测量三次，由测量重复性引入的标准不确定度 u_1 为：

$$u_1 = \frac{0.10 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.058 \mu\text{m} \quad (\text{D.3})$$

D.3.2 测量标准引入的标准不确定度 u_2

轮廓仪测长最大误差为 $0.1 \mu\text{m}$ ，按均匀分布计算，则：

$$u_2 = \frac{0.1 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.058 \mu\text{m} \quad (\text{D.4})$$

D.4 不确定度分量汇总

各不确定分量汇总表如表 2 所示：

表 D.2 不确定度分量汇总表

不确定度来源	符号	灵敏系数	不确定度分量
测量重复性	u_1	1	$0.058 \mu\text{m}$
测量标准	u_2	1	$0.058 \mu\text{m}$

D.5 合成标准不确定度

以上不确定度分量相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2} = 0.082 \mu\text{m} \quad (\text{D.5})$$

D.6 扩展不确定度

取 $k=2$ 时，扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 0.17 \mu\text{m} \quad (\text{D.6})$$

D.7 相对扩展不确定度

取 $k=2$ 时，扩展不确定度为：

$$U = 0.9 \times 10^{-5} \quad (\text{D.7})$$