

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×

无损检测用平底孔试块校准规范

Calibration Specification of Flat-Bottomed Hole Test Blocks of
Non-Destructive Testing

（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

无损检测用平底孔试块 校准规范

JJF（石化）XXXX—202X

Calibration Specification of Flat-Bottomed Hole

Test Blocks of Non-Destructive Testing

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

山东瑞祥模具有限公司

参加起草单位：北京橡胶工业研究设计院有限公司

上海市计量测试技术研究院

山东恒量测试科技有限公司

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：

王 军（济宁市质量计量检验检测研究院）

张浩然（济宁市质量计量检验检测研究院）

董再孟（济宁市质量计量检验检测研究院）

魏玉龙（山东瑞祥模具有限公司）

参加起草人：

闫国强（北京橡胶工业研究设计院有限公司）

王 冰（山东瑞祥模具有限公司）

胡 玲（上海市计量测试技术研究院）

岳宗龙（山东恒量测试科技有限公司）

目录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(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)
7 校准结果.....	(6)
7.1 校准记录.....	(6)
7.2 校准证书.....	(6)
7.3 不确定度.....	(6)
8 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 无损检测用平底孔试块校准原始记录 (参考式样)	(7)
附录 B 校准证书内容及内页格式.....	(9)
附录 C 用数显外径千分尺测量无损检测用平底孔试块试块外径的测量不确定评定	(10)
附录 D 用游标卡尺测量无损检测用平底孔试块高度尺寸的测量不确定评定	(13)
附录 E 用高度卡尺测量无损检测用平底孔试块孔深尺寸的测量不确定评定	(16)
附录 F 无损检测用平底孔试块测量面的表面粗糙度测量结果的不确定度评定	(20)
附录 G 用影像测量仪校准无损检测用平底孔试块孔径尺寸的测量不确定评定.....	(22)
附录 H 用轮廓仪校准无损检测用平底孔试块孔底平面度尺寸的测量不确定评定	(26)

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》共同构成本规范制定的基础性系列规范。

本规范参考了 JJF 1487—2014《超声波探伤试块校准规范》、GB/T 11259—2015《无损检测 超声检测用钢参考试块的制作和控制方法》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》、JB/T 8428—2015《无损检测超声试块通用规范》并结合我国目前无损检测用平底孔试块实际生产和使用情况，对其具体技术指标和校准方法进行了规定和解释。

本规范为首次发布。

无损检测用平底孔试块校准规范

1 范围

本规范适用于孔径（ $\phi 0.5 \sim \phi 5$ ）mm 之间，孔深（0~100）mm 之间无损检测用平底孔试块的校准。

2 引用文件

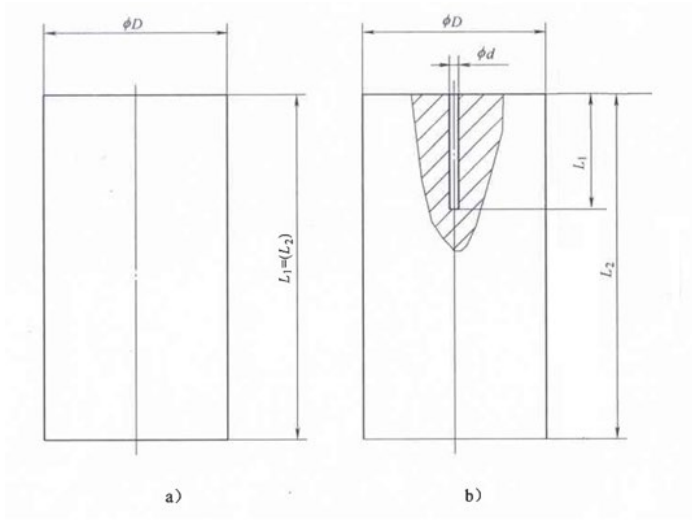
本规范引用了下列文件：

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》

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

无损检测用平底孔试块是指具有规定的几何形状、表面粗糙度的材料试块，可用于评定和校准超声检测设备、调节超声检测设备的幅度和(或)时间分度。平底孔试块与超声检测设备所检材料化学成分相似，是含有意义明确的参考反射体的试块，也称为对比试块。平底孔试块底面应与检测面平行，其外形尺寸示意图见图 1。



（a——左视图，b——剖切视图）

图 1 无损检测用平底孔试块结构示意图

ϕD ——试块外径 ϕd ——试块孔径 L_1 ——试块孔深 L_2 ——试块高度

4 计量特性

具体计量特性见表1。

表 1 无损检测用平底孔试块计量特性一览表

序号	项目	技术指标要求
1	试块外径误差 ϕD (mm)	MPE: ± 0.10
2	试块高度 L_2 (mm)	MPE: ± 0.10
3	试块孔深 L_1 (mm)	MPE: ± 0.10
4	测量面的表面粗糙度 (μm)	不超过 $Ra1.6$
5	试块孔径 ϕd (mm)	MPE: ± 0.05
6	孔底平面度 (mm)	MPEV: 0.03
注：以上技术指标仅作参考，不作为合格性判定依据。		

5 校准条件

5.1 环境条件

环境温度一般控制在 $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$ 范围内，相对湿度不超过 75%。校准前，应将待校无损检测用平底孔试块放置于室内 8 小时以上。

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	标准器名称及主要技术指标
1	试块外径	数显外径千分尺，MPE：±4 μm
2	试块高度	游标卡尺 分度值 0.02mm，MPE：±（0.02~0.05）mm
3	试块孔深	指示表：MPE：±0.02mm 数显高度卡尺 MPE：±0.03mm 0 级平板
4	测量面的表面粗糙度	表面粗糙度比较样块 MPE：+12%~—17% 或粗糙度测量仪 MPE：±10%
5	试块孔径	影像测量仪 MPE：±（3 μm+L/200）（L 单位为 mm） 或针规 MPE：±2 μm
6	孔底平面度	轮廓仪 MPE：±8 μm
注：允许使用技术指标满足要求的其它测量设备。		

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目见表 2。

6.2 外观

目测无损检测用平底孔试块不应有锈蚀、碰伤、裂纹等影响测量准确度的外观缺陷。

6.3 无损检测用平底孔试块试块外径

无损检测用平底孔试块试块外径用数显外径千分尺测量。测量应在平底孔试块全长范围内选取大致均匀分布的3个位置测量，每个位置应测量相互垂直两个方向上的直径。每测量位置测量3次。取所有外径尺寸测量结果中绝对值最大的作为外径尺寸校准结果。校准结果保留小数点后两位有效数字。外径尺寸按式（1）计算

$$D=A \quad (1)$$

式中：

D——无损检测用平底孔试块外径，mm；

A——数显外径千分尺读数，mm。

6.4 无损检测用平底孔试块高度

无损检测用平底孔试块高度用游标卡尺测量。测量应选取大致均匀分布的 3 个位置测量。每测量位置测量 3 次。取所有高度尺寸测量结果中绝对值最大的作为试块高度尺寸校准结果。校准结果保留小数点后两位有效数字。试块高度尺寸按式（2）计算

$$H = H_1 \quad (2)$$

式中：

H——无损检测用平底孔试块高度尺寸，mm；

H₁——游标卡尺读数值，mm。

6.5 无损检测用平底孔试块孔深

无损检测用平底孔试块孔深使用指示表、专用针规和高度卡尺在平板上测量。如图 2 所示。

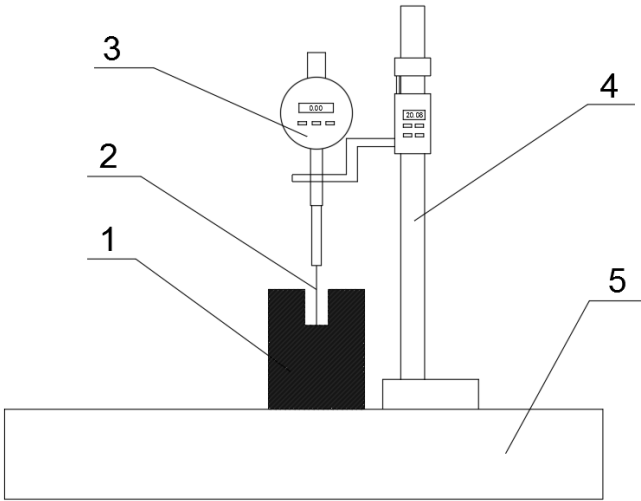


图2 平底孔试块孔深示值校准示意图

- 1——平底孔试块 2——针规 3——指示表
4——高度卡尺 5——0级平板

校准前，将指示表、专用针规和高度卡尺连接，要求连接紧密无松动，专用针规直径应小于等于平底孔试块标称孔径的 2/3，且专用针规应具有钢性不易弯曲变形。校准时，将平底孔试块放置于平板上，移动高度卡尺，使得图 2 中针规的顶部接触平底孔试块的上端面，调整高度卡尺和指示表位置，上下轻微拉动指示表表杆，至指示表和高度卡尺示值稳定无变化，记录高度卡尺的示值 σ_1 ，指示表的示值 δ_1 。升高游标卡尺高度，使针规离开平底孔试块上表面，移动高度卡尺底

座，使针规瞄准平底孔试块的微孔中心，缓缓降落高度卡尺，至针规接触平底孔试块微孔底部，即指示表的示值接近 $\delta 1$ ，上下轻微拉倒指示表表杆，使指示表示值稳定，调整高度卡尺的微调旋钮，使指示表的示值调整为 $\delta 1$ ，上下轻微拉倒指示表表杆，若指示表的示值不发生变化，记录高度卡尺的示值 $\sigma 2$ 。每测量位置测量 3 次。校准结果保留小数点后两位有效数字。试块孔深尺寸按式 (3) 计算，则平底孔试块孔深为：

$$L_1 = \sigma_1 - \sigma_2 \quad (3)$$

式中： L_1 ——平底孔试块孔深；

σ_1 ——针规处于平底孔试块上表面时高度卡尺的示值；

σ_2 ——针规处于平底孔试块孔底时高度卡尺的示值。

注：若高度卡尺和指示表均为数显式，可在针规处于平底孔试块上表面时，将高度卡尺和指示表在当前位置置零，则针规处于平底孔试块孔底时，指示表调整为零时，高度卡尺的示值即为平底孔的孔深。

6.6 无损检测用平底孔试块测量面的表面粗糙度

无损检测用平底孔试块测量面的表面粗糙度使用表面粗糙度样块比较测量或者使用粗糙度测量仪直接测量，每测量位置测量 3 次，取三次测量平均值作为校准结果，校准结果保留小数点后两位有效数字。

6.7 无损检测用平底孔试块孔径尺寸

6.7.1 专用针规校准平底孔试块孔径尺寸

平底孔试块孔径尺寸采用专用针规校准。根据平底孔试块孔径的标称值，选择标称值 $\pm 0.10\text{mm}$ 范围内，间隔为 0.01mm 的专用针规，逐个塞入平底孔试块的微孔内，以刚刚能塞入孔内的针规的标称尺寸作为孔径尺寸。

6.7.2 覆型膜测量法测量平底孔试块孔径尺寸

覆型膜测量法采用专用的化工材料，使用医用注射器将液体状的材料注入微孔。首先采用无油、无腐蚀性的溶剂（无水乙醇或丙酮）清洗平底孔，使用干燥的过滤空气吹干。根据微孔孔径选择适当大小的医用枕头和注射器，将配置好的有机硅凝胶混合液注入孔中，注入时从孔底开始注入，逐渐填充至表面，注入过程需确保没有气泡产生。同时在孔中插入一根金属丝以便于拔出覆型膜样本。置于恒温室 8h 后，待混合液固化后，用金属丝将复制品慢慢取出。覆型膜样本即显

示了平底孔的特征。

将覆型膜样板置于影像测量仪，测量覆型膜样本的外径。影像测量仪显示的外径值即为平底孔试块微孔的孔径值。影像测量仪应在覆型膜样本选取 5 个测量点，取 5 个测量点的平均值作为平底孔试块孔径尺寸。校准结果保留小数点后两位有效数字。每测量位置测量 3 次。试块孔径尺寸按式 (4) 计算，则平底孔试块孔径为：

$$D = D_1 \quad (4)$$

式中：

D ——无损检测用平底孔试块孔径尺寸，mm；

D_1 ——影像测量仪读数值，mm。

6.8 无损检测用平底孔试块孔底平面度

无损检测用平底孔试块孔底平面度采用覆型膜测量法和轮廓仪进行校准。覆型膜测量法同 6.7.2 所述。将覆型膜样本置于轮廓仪上，使用轮廓仪测量覆型膜样本底面的平面度，覆型膜样本底面的平面度即为无损检测用平底孔试块孔底平面度。

7 校准结果

7.1 校准记录

校准记录应尽可能详尽记录测量数据和计算结果，推荐的校准记录格式见附录 A。

7.2 校准证书

经校准的无损检测用平底孔试块应出具校准证书，校准结果应反映在校准证书上。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071—2010 中 5.12 的要求，推荐的校准结果格式见附录 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 (C~H)。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由试块的使用情况、使用者、试块本身质量等诸多因素所决定，建议复校时间间隔为 12 个月。

附录 A

无损检测用平底孔试块校准原始记录 (参考式样)

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	
制造厂商						出厂编号	
设备编号			环境温度	℃		相对湿度	%
校准前检查							
1. 外观检查: 无影响计量准确性的缺陷。 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>							
校准结果							
项目	测量结果						
2. 试块外径	测量次数				最大值	校准结果	扩展不确定度 U $k=2$
标称值	方向	1	2	3			
	水平						
	竖直						
3. 试块高度	测量次数				最大值	校准结果	扩展不确定度 U $k=2$
标称值	1	2	3				
4. 试块孔深	测量次数				最大值	校准结果	扩展不确定度 U $k=2$
	1	2	3				
标称值							
5. 测量面的表面粗糙度	测量次数				平均值	校准结果	扩展不确定度 U $k=2$
	1	2	3				
6. 试块孔径	测量次数				最大值	校准结果	扩展不确定度 U $k=2$
标称值	1	2	3				
7. 孔底平面度	测量次数				最大值	校准结果	扩展不确定度 U $k=2$
标称值	1	2	3				

所使用的计量器具						
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	

校准员：

核验员：

附录 B

无损检测用平底孔试块校准证书内容及内页格式

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 《无损检测用平底孔试块校准规范》				
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	试块外径		校准结果的扩展不确定度 ($k=2$)	
3	试块高度		校准结果的扩展不确定度 ($k=2$)	
4	试块孔深		校准结果的扩展不确定度 ($k=2$)	
5	测量面的表面粗糙度		校准结果的扩展不确定度 ($k=2$)	
6	试块外径		校准结果的扩展不确定度 ($k=2$)	
7	孔底平面度		校准结果的扩展不确定度 ($k=2$)	
备注				

附录 C

用数显外径千分尺测量无损检测用平底孔试块试块外径的 测量不确定评定

C.1 校准任务

用数显外径千分尺测量无损检测用平底孔试块 $\phi 100\text{mm}$ 的试块外径

C.2 原理、方法和条件

C.2.1 测量原理

测量原理：接触式，直接测量法，绝对测量。

C.2.2 测量方法

用测量范围为 $(75-100)\text{mm}$ 的数显外径千分尺测量。测量前应将仪器调整至满足测量需要的状态。测量时，首先将数显外径千分尺对零，将被校准试块放在工作台上，通过数显外径千分尺直接测量无损检测用平底孔试块的外径尺寸。

C.2.3 测量条件

环境温度为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，温度变化不超过 1°C/h ，环境相对湿度 $\leq 75\%$

数显外径千分尺和被校试块在实验室同一位置平衡时间 8h

数显外径千分尺和被校试块都视为钢制

C.3 测量模型

由测量原理和方法，得到测量模型：

$$D=A \quad (\text{C.1})$$

式中：

D——无损检测用平底孔试块外径，mm；

A——数显外径千分尺读数值，mm。

C.4 测量不确定度来源及说明见表 C.1

表 C.1 测量不确定度来源及说明

序号	不确定度来源	说明
1	数显外径千分尺示值误差	外径千分尺存在示值误差
2	仪器分辨力	外径千分尺的分辨力为 $1\mu\text{m}$
	测量重复性	A 类不确定度分量
3	温度	实验室温度对 20°C 会有偏离，而试块和外径千分尺之间存在热膨胀系数差
4	试块形状误差	试块的表面形状会对测量结果产生影响，主要影响因素是无损检测试块的圆度误差

C.5 不确定度评定—不确定度分量的说明与计算

C.5.1 由数显外径千分尺的示值误差引入的标准不确定度分量 u_1 (B 类评定)

$(75-100)\text{mm}$ 的数显外径千分尺 MPE: $\pm 3\mu\text{m}$ ，符合均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{3\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 1.73\mu\text{m} \quad (\text{C.2})$$

C.5.2 由仪器分辨力/重复性引入的标准不确定度分量 u_2 (A 类评定)

数显外径千分尺的分辨力为 $1\text{ }\mu\text{m}$ ，区间半宽度为 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ ，符合均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则由分辨力引入的不确定度分量为：

$$u_{21} = \frac{0.5\text{ }\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.29\text{ }\mu\text{m} \quad (\text{C.3})$$

在各种条件均不改变的情况下，在短时间内对标称值为 $\Phi 100\text{mm}$ 的无损检测用平底孔试块的外径尺寸进行重复性测量，共测量 10 次（即 $n = 10$ ）。实验数据见表 C.2（单位： mm ）：

C.2 重复性测量试验数据

测量次数	1	2	3	4	5
测得值	100.005	100.004	100.007	100.008	100.009
测量次数	6	7	8	9	10
测得值	100.007	100.006	100.005	100.008	100.006
平均值	100.0065				
贝塞尔公式	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1.58\text{ }\mu\text{m}$				

则由测量重复性引入的不确定度分量为：

$$u_{22} = s = 1.58\text{ }\mu\text{m} \quad (\text{C.4})$$

分辨力引入的不确定度分量 u_{21} 和测量重复性引入的不确定度分量 u_{22} ，取结果较大者，则：

$$u_2 = u_{22} = 1.58\text{ }\mu\text{m} \quad (\text{C.5})$$

C.5.3 由温度引入的标准不确定度分量 u_3 （B 类评定）

在测量前，无损检测用平底孔试块已经放置在工作台上充分恒温（即两者温度差忽略不计），所以此处主要考虑温度偏离 20°C ，数显外径千分尺与被校无损检测用平底孔试块的线膨胀系数的影响。在测量过程中，实验室温度保持在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的范围内，被校试块和数显外径千分尺的线膨胀系数为 $\alpha = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的温度区间内，其温度区间半宽为 1°C ，符合三角分布， $k = \sqrt{6}$ ，则

当校准尺寸 $L=100\text{mm}$ 时，由温度偏离 20°C 引入的极限误差为：

$$e_3 = \pm 100 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 5 = 1.15\text{ }\mu\text{m} \quad (\text{C.6})$$

则由温度引入的测量不确定度分量为

$$u_3 = 1.15\text{ }\mu\text{m} / \sqrt{6} = 0.469\text{ }\mu\text{m} \quad (\text{C.7})$$

C.5.4 由试块形状误差引入的标准不确定度分量 u_4 （B 类评定）

试块形状误差对测量结果产生影响的主要因素是圆度误差，机加工的试块圆度一般不大于 $10\text{ }\mu\text{m}$ ，区间半宽为 $5\text{ }\mu\text{m}$ ，符合均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_4 = 5\mu\text{m}/\sqrt{3} = 2.89\mu\text{m} \quad (\text{C.8})$$

C.6 合成标准不确定度

C.6.1 不确定度分量汇总

测量 $\phi 100\text{mm}$ 的无损检测用平底孔试块的测量不确定度分量及计算结果见表 C.2。

表 C.3 标准不确定度一览表

序号	影像测量不确定度的来源	标准不确定度分量代号 u_i	评定类型	分布类型	影响量/ μm	对测量结果影响的变化限/ μm	包含因子 k_i	标准不确定度分量 u_i / μm
1	数显外径千分尺	u_1	B	均匀	± 3	3	$\sqrt{3}$	1.73
2	分辨力/重复性	u_1	A	/	1.58	—		1.58
	分辨力	u_{21}	B	均匀	0.29	0.14	$\sqrt{3}$	0.29
	重复性	u_{22}	A	/	1.58	—		1.58
3	温度	u_3	B	三角	/	5.75	$\sqrt{6}$	0.47
4	形状误差	u_4	B	均匀	5	5	$\sqrt{3}$	2.89
合成标准不确定度： u_c								3.7
扩展不确定度 ($k = 2$)： U								7.4

C.6.2 合成标准不确定度计算

由于参与计算的各项标准不确定度分量之间不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{1.73^2 + 1.58^2 + 0.47^2 + 2.89^2} \mu\text{m} = 3.7\mu\text{m} \quad (\text{C.9})$$

C.7 扩展不确定度计算

包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度 U ：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 3.7\mu\text{m} = 7.4\mu\text{m} \quad (\text{C.10})$$

附录 D

用游标卡尺测量无损检测用平底孔试块高度尺寸的
测量不确定评定

D.1 校准任务

用游标卡尺测量无损检测用平底孔试块 $\phi 75\text{mm}$ 的高度尺寸

D.2 原理、方法和条件

D.2.1 测量原理

测量原理：接触式，直接测量法，绝对测量。

D.2.2 测量方法

用测量范围为 (0-200) mm 的游标卡尺测量。测量前应将仪器调整至满足测量需要的状态。测量时，首先将游标卡尺对零，将被校准试块放在工作台上，通过游标卡尺直接测量无损检测用平底孔试块的高度尺寸。

D.2.3 测量条件

环境温度为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，温度变化不超过 1°C/h ，环境相对湿度 $\leq 75\%$
游标卡尺和被校试块在实验室同一位置平衡时间 8h
游标卡尺和被校试块都视为钢制

D.3 测量模型

由测量原理和方法，得到测量模型：

$$H = H_1 \quad (\text{D.1})$$

式中：

H ——无损检测用平底孔试块高度尺寸，mm；

H_1 ——游标卡尺读数值，mm。

D.4 测量不确定度来源及说明见表 D.1

表 D.1 测量不确定度来源及说明

序号	不确定度来源	说明
1	游标卡尺示值误差	游标卡尺存在示值误差
2	仪器分辨力	游标卡尺的分辨力为 0.02mm
	测量重复性	A 类不确定度分量
3	温度	实验室温度对 20°C 会有偏离，而试块和游标卡尺之间存在热膨胀系数
4	试块形状误差	试块的表面形状会对测量结果产生影响，主要影响因素是无损检测试块的平面度误差

D.5 不确定度评定—不确定度分量的说明与计算

D.5.1 由游标卡尺的示值误差引入的标准不确定度分量 u_1 （B 类评定）

(0-200) mm 的游标卡尺 MPE: $\pm 0.03\text{mm}$ ，符合均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{0.03\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.017\text{mm} \quad (\text{D.2})$$

D. 5.2 由仪器分辨力/重复性引入的标准不确定度分量 u_2 （A类评定）

游标卡尺的分辨力为 0.01mm，区间半宽度为 0.005mm，符合均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则由分辨力引入的不确定度分量为：

$$u_{21} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003\text{mm} \quad (\text{D. 3})$$

在各种条件均不改变的情况下，在短时间内对高度标称值为 $\Phi 75\text{mm}$ 的无损检测用平底孔试块的高度尺寸进行重复性测量，共测量 10 次（即 $n = 10$ ）。实验数据见表 D.2（单位：mm）：

D.2 重复性测量试验数据

测量次数	1	2	3	4	5
测得值	75.01	75.01	75.01	75.02	75.01
测量次数	6	7	8	9	10
测得值	75.01	75.00	75.01	75.01	75.01
平均值	75.009				
贝塞尔公式	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.003\text{mm}$				

则由测量重复性引入的不确定度分量为：

$$u_{22} = s = 0.003\text{mm} \quad (\text{D. 4})$$

分辨力引入的不确定度分量 u_{21} 和测量重复性引入的不确定度分量 u_{22} ，取结果较大者，则：

$$u_2 = u_{22} = 0.003\text{mm} \quad (\text{D. 5})$$

D. 5.3 由温度引入的标准不确定度分量 u_3 （B类评定）

在测量前，无损检测用平底孔试块已经放置在工作台上充分恒温（即两者温度差忽略不计），所以此处主要考虑温度偏离 20℃，游标卡尺与被校无损检测用平底孔试块的线膨胀系数的影响。在测量过程中，实验室温度保持在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的范围内，被校试块和游标卡尺的线膨胀系数为 $\alpha = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ，在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的温度区间内，其温度区间半宽为 1°C ，符合三角分布， $k = \sqrt{6}$ ，则

当校准尺寸 $L=75\text{mm}$ 时，由温度偏离 20℃ 引入的极限误差为：

$$e_3 = \pm 75 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 1 = 0.001\text{mm} \quad (\text{D. 6})$$

则由温度引入的测量不确定度分量为

$$u_3 = 0.001\text{mm}/\sqrt{6} = 0.001\text{mm} \quad (\text{D. 7})$$

D. 5.4 由试块形状误差引入的标准不确定度分量 u_4 （B类评定）

试块形状误差对测量结果产生影响的主要因素是平面度误差，机加工的试块平面度一般不大于 $10\text{ }\mu\text{m}$ ，区间半宽为 $5\text{ }\mu\text{m}$ ，符合均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_4 = 5\mu\text{m}/\sqrt{3} = 0.003\text{mm} \quad (\text{D.8})$$

D.6 合成标准不确定度

D.6.1 不确定度分量汇总

测量 75mm 的无损检测用平底孔试块的测量不确定度分量及计算结果见表 D.3。

表 D.3 标准不确定度一览表

序号	影像测量不确定度的来源	标准不确定度分量代号 u_i	评定类型	分布类型	影响量/mm	对测量结果影响的变化限/mm	包含因子 k_i	标准不确定度分量 u_i/mm
1	游标卡尺	u_1	B	均匀	± 0.03	3	$\sqrt{3}$	0.017
2	分辨力/重复性	u_1	A	/	0.010	—		0.010
	分辨力	u_{21}	B	均匀	0.003	0.003	$\sqrt{3}$	0.003
	重复性	u_{22}	A	/	0.010	—		0.010
3	温度	u_3	B	三角	/	0.001	$\sqrt{6}$	0.001
4	形状误差	u_4	B	均匀	0.010	0.003	$\sqrt{3}$	0.003
合成标准不确定度： u_c								0.018
扩展不确定度 ($k = 2$)： U								0.03

D.6.2 合成标准不确定度计算

由于参与计算的各项标准不确定度分量之间不相关，则合成标准不确定度为：

$$\begin{aligned}
 u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{0.017^2 + 0.010^2 + 0.001^2 + 0.003^2} \text{mm} \\
 &= 0.018\text{mm} \quad (\text{D.9})
 \end{aligned}$$

D.7 扩展不确定度计算

包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度 U ：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.018\text{mm} = 0.04\text{mm} \quad (\text{D.10})$$

附录 E

用高度卡尺测量无损检测用平底孔试块孔深尺寸的
测量不确定评定

E.1 校准任务

用数显高度卡尺测量无损检测用平底孔试块 30mm 的孔深尺寸

E.2 原理、方法和条件

E.2.1 测量原理

测量原理：接触式，直接测量法，绝对测量。

E.2.2 测量方法

用测量范围为（0-200）mm 的数显高度卡尺测量。测量前应将仪器调整至满足测量需要的状态。测量时，首先将指示表，针规和数显高度卡尺组合安装。将针规顶部接触到被测孔深附近的试块上表面，将数显高度卡尺和指示表置零，升起数显高度卡尺，使针规离开试块上表面，移动测量装置，使针规对准圆孔中心，调整数显高度卡尺的高度，使针规插入圆孔，当数显高度卡尺数值接近 30mm 时，锁紧高度卡尺，调整微调旋钮，使指示表的显示值为零，记录数显高度卡尺的读数值，其读数值值的绝对值即为被测无损检测用平底孔试块的孔深尺寸。

E.2.3 测量条件

环境温度为（20±5）℃，温度变化不超过 1℃/h，环境相对湿度≤75%
数显高度卡尺和被校试块在实验室同一位置平衡时间 8h
数显高度卡尺和被校试块都视为钢制

E.3 测量模型

由测量原理和方法，得到测量模型：

$$H = -H_1 \text{ (E.1)}$$

式中：

H——无损检测用平底孔试块高度尺寸，mm；

H₁——数显高度卡尺读数值，mm。

E.4 测量不确定度来源及说明见表 E.1

表 E.1 测量不确定度来源及说明

序号	不确定度来源	说明
1	数显高度卡尺示值误差	数显高度卡尺存在示值误差
2	仪器分辨力	数显高度卡尺的分辨力为 0.01mm
	测量重复性	A 类不确定度分量
3	温度	实验室温度对 20℃会有偏离，而试块和数显高度卡尺之间存在热膨胀系数
4	试块形状误差	试块的表面形状会对测量结果产生影响，主要影响因素是无损检测试块上表面的平面度
5	测量仪器组合误差	针规的刚性和指示表的重复性对测量结果产生影响

E.5 不确定度评定—不确定度分量的说明与计算

E.5.1 由数显高度卡尺的示值误差引入的标准不确定度分量 u_1 (B类评定)

(0-200) mm 的数显高度卡尺 MPE: $\pm 0.03\text{mm}$, 符合均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_1 = \frac{0.03\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.017\text{mm} \quad (\text{E. 2})$$

E.5.2 由仪器分辨力/重复性引入的标准不确定度分量 u_2 (A类评定)

数显高度卡尺的分辨力为 0.01mm, 区间半宽度为 0.005mm, 符合均匀分布,

$k = \sqrt{3}$, 则由分辨力引入的不确定度分量为:

$$u_{21} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003\text{mm} \quad (\text{E. 3})$$

在各种条件均不改变的情况下, 在短时间内对孔深标称值为 30mm 的无损检测用平底孔试块的孔深尺寸进行重复性测量, 共测量 10 次 (即 $n = 10$)。实验数据见表 E.2 (单位: mm):

E.2 重复性测量试验数据

测量次数	1	2	3	4	5
测得值	30.02	29.98	30.03	30.01	30.03
测量次数	6	7	8	9	10
测得值	30.02	30.04	30.05	30.02	30.04
平均值	30.024				
贝塞尔公式	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.020\text{mm}$				

则由测量重复性引入的不确定度分量为:

$$u_{22} = s = 0.020\text{mm} \quad (\text{E. 4})$$

分辨力引入的不确定度分量 u_{21} 和测量重复性引入的不确定度分量 u_{22} , 取结果较大者, 则:

$$u_2 = u_{22} = 0.020\text{mm} \quad (\text{E. 5})$$

E.5.3 由温度引入的标准不确定度分量 u_3 (B类评定)

在测量前, 无损检测用平底孔试块已经放置在工作台上充分恒温 (即两者温度差忽略不计), 所以此处主要考虑温度偏离 20℃, 数显高度卡尺与被校无损检测用平底孔试块的线膨胀系数的影响。在测量过程中, 实验室温度保持在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的范围内, 被校试块和数显高度卡尺的线膨胀系数为 $\alpha = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的温度区间内, 其温度区间半宽为 1°C , 符合三角分布, $k = \sqrt{6}$, 则

当校准尺寸 $L=30\text{mm}$ 时，由温度偏离 20°C 引入的极限误差为：

$$e_3 = \pm 30 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 1 = 0.001\text{mm} \quad (\text{E. 6})$$

则由温度引入的测量不确定度分量为

$$u_3 = 0.001\text{mm}/\sqrt{6} = 0.001\text{mm} \quad (\text{E. 7})$$

E. 5. 4 由试块形状误差引入的标准不确定度分量 u_4 （B 类评定）

试块形状误差对测量结果产生影响的主要因素是平面度误差，机加工的试块

平面度一般不大于 $10\text{ }\mu\text{m}$ ，区间半宽为 $5\text{ }\mu\text{m}$ ，符合均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_4 = 5\mu\text{m}/\sqrt{3} = 0.003\text{mm} \quad (\text{E. 8})$$

E. 5. 5 由测量仪器组合引入的标准不确定度分量 u_5 （B 类评定）

由于针规要深入圆孔内部，指示表卡尺存在约为 1.5N 的测量力，再该测量力的影响下，针规会存在微变形，另外由于指示表的重复性影响。由钢的弹性模量 $E=2.06 \times 10^5\text{MPa}$ ， 1.5N 的测量力造成约 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 的形变。指示表的重复性造成的示值误差为一个分度值，即 0.01mm 。由于 0.01mm 远大于 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ ，因此取测量仪器组合的造成的误差影响为 0.01mm ，符合均匀分布 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_5 = 10\mu\text{m}/\sqrt{3} = 0.006\text{mm} \quad (\text{E. 9})$$

E. 6 合成标准不确定度

E. 6. 1 不确定度分量汇总

测量 30mm 的无损检测用平底孔试块的测量不确定度分量及计算结果见表 E. 3。

表 E. 3 标准不确定度一览表

序号	影像测量不确定度的来源	标准不确定度分量代号 u_i	评定类型	分布类型	影响量 /mm	对测量结果影响的变化限/mm	包含因子 k_i	标准不确定度分量 u_i/mm
1	数显高度卡尺	u_1	B	均匀	± 0.03	3	$\sqrt{3}$	0.017
2	分辨力/重复性	u_1	A	/	0.020	—		0.020
	分辨力	u_{21}	B	均匀	0.003	0.003	$\sqrt{3}$	0.003
	重复性	u_{22}	A	/	0.020	—		0.020
3	温度	u_3	B	三角	/	0.001	$\sqrt{6}$	0.001
4	形状误差	u_4	B	均匀	0.010	0.003	$\sqrt{3}$	0.003
5	测量仪器组合误差	u_5	B	均匀	0.006	0.006	$\sqrt{3}$	0.006
合成标准不确定度： u_c								0.017
扩展不确定度（ $k = 2$ ）： U								0.03

E.6.2 合成标准不确定度计算

由于参与计算的各项标准不确定度分量之间不相关,则合成标准不确定度为:

$$\begin{aligned}u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \\&= \sqrt{0.017^2 + 0.020^2 + 0.001^2 + 0.003^2 + 0.006^2} \text{mm} \\&= 0.027 \text{mm} \quad (\text{E. 10})\end{aligned}$$

E.7 扩展不确定度计算

包含因子 $k = 2$, 则扩展不确定度 U :

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.027 \text{mm} = 0.05 \text{mm} \quad (\text{E. 11})$$

附录 F

无损检测用平底孔试块测量面的表面粗糙度测量结果的
不确定度评定

F.1 测量方法

表面粗糙度的 Ra 值是用示值误差为±5%的触针式表面粗糙度测量仪测量的。

F.2 数学模型

由于表面粗糙度的 Ra 值可以在测量仪上直接读得，故有：

$$Y=d \text{ (F.1)}$$

式中：Y——测量面的表面粗糙度的测量结果 Ra 值。

d——测量时在仪器上读取的 Ra 值。

F.3 方差和传播系数

依
$$u_c^2(y) = \sum \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \text{ (F.2)}$$

有
其中
$$\begin{aligned} u_c^2(y) &= u^2(y) = c^2(d)u^2(d) \\ c(d) &= 1 \\ \text{得} u_c^2 &= u^2(d) \text{ (F.3)} \end{aligned}$$

F.4 标准不确定度见表F.1。

F.1标准不确定度一览表

序号	来源	符号	相对标准不确定度	自由度
1	仪器重复性	u_1	1%	9
2	示值误差	u_2	2.5%	50
3	被测表面粗糙度的不均匀性	u_3	0.95%	9

F.5 不确定度评定—不确定度分量的说明与计算

F.5.1 测量读数重复性带来的不确定度分量 u_1 （A类评定）

用触针式表面粗糙测量仪重复测量10次，由10次测量平均结果，得到其标准差见表F.2

F.2重复性测量数据

测量次数	1	2	3	4	5
测得值	1.26	1.25	1.24	1.22	1.23
测量次数	6	7	8	9	10
测得值	1.21	1.23	1.23	1.24	1.27
平均值	1.238				
贝塞尔公式	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 1\%$				

$$u_1 = s = 1\% \text{ (F.4)}$$

其自由度为 $v_1 = 10 - 1 = 9$

F.5.2 仪器示值误差引入标准不确定度分量 u_2 (B类评定)

依据JJF 1105-2018《触针式表面粗糙度测量仪校准规范》，触针式表面粗糙度测量仪的最大允许误差 $\pm 5\%$ 。按 $k = 2$ 估计，故：

$$u_2 = \frac{5\%}{2} = 2.5\% \quad (\text{F. 5})$$

校准触针式表面粗糙度测量仪时，其示值误差的相对不确定度以5%估计，此时自由度 ν_1 为 $\nu_{eft} = 66$

F.5.3 被测表面的粗糙度的不均匀引入的不确定度分量 u_3 (B类评定)

在被测表面的10个不同位置进行测量，取其平均值作为测量结果。其实验标准偏差不超过3%。因此其10测量平均值的标准差为：

$$u_3 = \frac{3\%}{\sqrt{10}} = 0.95\% \quad (\text{F. 6})$$

其自由度为 $\nu_3 = 10 - 1 = 9$

F.6 合成不确定度

由各分量的标准不确定度，可以计算的合成不确定度为

$$\begin{aligned} u_c &= u(d) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \\ &= \sqrt{(1\%)^2 + (2.5\%)^2 + (0.95\%)^2} \\ &= 2.86\% \quad (\text{F. 7}) \end{aligned}$$

F.7 有效自由度

$$\nu_{eft} = \frac{u_c^2}{\sum \frac{u_i^2}{\nu_i}} = 66 \quad (\text{F. 8})$$

F.8 扩展不确定度

$$U_{95} = t_{0.95}(66) \times u_c = 2.00 \times 2.86\% \approx 5.7\% \quad (\text{F. 9})$$

附录 G

用影像测量仪校准无损检测用平底孔试块孔径尺寸的
测量不确定评定

G.1 校准任务

用影像测量仪校准无损检测用平底孔试块 $\phi 2$ 的孔径尺寸

G.2 原理、方法和条件

G.2.1 测量原理

测量原理：光学影像法，间接测量法，绝对测量。

G.2.2 测量方法

首先针对无损检测用平底孔试块的平底孔，采用覆型膜提取法，将试块的平底孔完成复制品的提取。使用 XY 轴示值误差 MPE： $\pm (3+L/200) \mu m$ 的影像测量仪进行直接测量。读取覆型膜复制品的直径，其直径测量值即为无损检测用平底孔试块的孔径尺寸。

G.2.3 测量条件

环境温度为 $(20 \pm 2) ^\circ C$ ，温度变化不超过 $1 ^\circ C/h$ ，环境相对湿度 $\leq 75\%$
影像测量仪、覆型膜复制品和被校试块在实验室同一位置平衡时间 8h
影像测量仪视为光学线纹尺制品，覆型膜复制品为硅胶制品。

G.3 测量模型

由测量原理和方法，得到测量模型：

$$D = D_1 \quad (G.1)$$

式中：

D——无损检测用平底孔试块孔径尺寸，mm；

D_1 ——影像测量仪读数值，mm。

G.4 测量不确定度来源及说明见表 G.1

表 G.1 测量不确定度来源及说明

序号	不确定度来源	说明
1	影像测量仪示值误差	影像测量仪存在示值误差
2	仪器分辨力率	影像测量仪的分辨力为 $1 \mu m$
	测量重复性	A 类不确定度分量
3	温度	实验室温度对 $20 ^\circ C$ 会有偏离，而覆型膜复制品和影像测量仪之间存在膨胀系数差
4	试块形状误差	试块的孔径形状会对测量结果产生影响，主要影响因素是无损检测试块孔径的圆度误差
5	覆型膜测量法复制品误差	提取覆型膜复制品时，取出时复制品会存在微变形，影响测量结果

G.5 不确定度评定—不确定度分量的说明与计算

G.5.1 由影像测量仪的示值误差引入的标准不确定度分量 u_1 （B类评定）

影像测量仪 MPE： $\pm (3+L/200) \mu m$ ，符合均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{3.02\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 1.74\mu\text{m} \quad (\text{G. 2})$$

G. 5.2 由仪器分辨力/重复性引入的标准不确定度分量 u_2 (A类评定)

影像测量仪的分辨力为 $1\mu\text{m}$, 区间半宽度为 $0.5\mu\text{m}$, 符合均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则由分辨力引入的不确定度分量为:

$$u_{21} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29\mu\text{m} \quad (\text{G. 3})$$

在各种条件均不改变的情况下, 在短时间内对孔径标称值为 $\phi 2$ 的无损检测用平底孔试块的孔径尺寸进行重复性测量, 共测量10次 (即 $n = 10$)。实验数据见表 G. 2 (单位: mm):

G. 2 重复性测量试验数据

测量次数	1	2	3	4	5
测得值	2.008	2.004	2.006	2.008	2.009
测量次数	6	7	8	9	10
测得值	2.007	2.010	2.012	2.005	2.003
平均值	2.0072				
贝塞尔公式	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.78\mu\text{m}$				

则由测量重复性引入的不确定度分量为:

$$u_{22} = s = 2.78\mu\text{m} \quad (\text{G. 4})$$

分辨力引入的不确定度分量 u_{21} 和测量重复性引入的不确定度分量 u_{22} , 取结果较大者, 则:

$$u_2 = u_{22} = 2.78\mu\text{m} \quad (\text{G. 5})$$

G. 5.3 由温度引入的标准不确定度分量 u_3 (B类评定)

在测量前, 无损检测用平底孔试块的覆型膜复制品已经放置在工作台上充分恒温 (即两者温度差忽略不计), 所以此处主要考虑温度偏离 20°C , 影像测量仪与被校无损检测用平底孔试块覆型膜复制品的线膨胀系数的影响。在测量过程中, 实验室温度保持在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的范围内, 影像测量仪的线膨胀系数为 $\alpha = 9.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 覆型膜复制品使用的原材料硅胶的线膨胀系数为 $\alpha = 210 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 其线膨胀系数差为 $200.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的温度区间内, 其温度区间半宽为 1°C , 符合三角分布, $k = \sqrt{6}$, 则

当校准尺寸 $L=2\text{mm}$ 时, 由温度偏离 20°C 引入的线膨胀系数误差为:

$$e_3 = \pm 2 \times 200.5 \times 10^{-6} \times 1 = 0.40\mu\text{m} \quad (\text{G. 6})$$

则由温度引入的测量不确定度分量为

$$u_3 = 0.40/\sqrt{6} = 0.16\mu\text{m} \quad (\text{G.7})$$

G.5.4 由试块形状误差引入的标准不确定度分量 u_4 (B类评定)

试块形状误差对测量结果产生影响的主要因素是圆度误差, 机加工的试块平面度一般不大于 $5\mu\text{m}$, 区间半宽为 $2.5\mu\text{m}$, 符合均匀分布 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_4 = 2.5\mu\text{m}/\sqrt{3} = 1.44\mu\text{m} \quad (\text{G.8})$$

G.5.5 由提取覆型膜复制品的微变形引入的标准不确定度分量 u_5 (B类评定)

由于覆型膜复制品要在无损检测用平底孔试块孔径中完全凝固后提取, 在提供过程中, 会拉伸覆型膜复制品, 进而使得覆型膜复制品的直径略小于孔径值。经过生产企业对无损检测用平底孔试块的剖切后测量和覆型膜测量法的实验数据对比分析, 在提取过程中约产生 $8\mu\text{m}$ 的变形量。因此由提取覆型膜复制品的微变形引入的误差影响为 $8\mu\text{m}$, 符合均匀分布 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_5 = 8\mu\text{m}/\sqrt{3} = 4.62\mu\text{m} \quad (\text{G.9})$$

G.6 合成标准不确定度

G.6.1 不确定度分量汇总

测量 2mm 的无损检测用平底孔试块的测量不确定度分量及计算结果见表 G.3。

表 G.3 标准不确定度一览表

序号	影像测量不确定度的来源	标准不确定度分量代号 u_i	评定类型	分布类型	影响量/ μm	对测量结果影响的变化限/ μm	包含因子 k_i	标准不确定度分量 $u_i/\mu\text{m}$
1	影像测量仪	u_1	B	均匀	± 1.74	3.48	$\sqrt{3}$	1.74
2	分辨力/重复性	u_2	A	/	2.78	—		2.78
	分辨力	u_{21}	B	均匀	0.29	0.29	$\sqrt{3}$	0.29
	重复性	u_{22}	A	/	2.78	—		2.78
3	温度	u_3	B	三角	/	0.16	$\sqrt{6}$	0.16
4	形状误差	u_4	B	均匀	1.44	1.44	$\sqrt{3}$	1.44
5	覆型膜测量法复制品误差	u_5	B	均匀	4.62	4.62	$\sqrt{3}$	4.62
合成标准不确定度: u_c								5.85
扩展不确定度 ($k = 2$): U								11.7

G.6.2 合成标准不确定度计算

由于参与计算的各项标准不确定度分量之间不相关,则合成标准不确定度为:

$$\begin{aligned}u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \\&= \sqrt{1.74^2 + 2.78^2 + 0.16^2 + 1.44^2 + 4.62^2} \mu\text{m} \\&= 5.85 \mu\text{m} \quad (\text{G. 10})\end{aligned}$$

G.7 扩展不确定度计算

包含因子 $k = 2$, 则扩展不确定度 U :

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 5.85 \mu\text{m} = 0.01 \text{mm} \quad (\text{G. 11})$$

附录 H

用轮廓仪校准无损检测用平底孔试块孔底平面度尺寸的
测量不确定评定

H.1 校准任务

用轮廓仪校准无损检测用平底孔试块标称值为 0.03mm 的孔底平面度尺寸

H.2 原理、方法和条件

H.2.1 测量原理

测量原理：接触测量法，间接测量法，绝对测量。

H.2.2 测量方法

首先针对无损检测用平底孔试块的平底孔，采用覆型膜提取法，将试块的平底孔完成复制品的提取。使用示值误差 MPE： $\pm (1+L/100) \mu\text{m}$ 的轮廓仪进行直接测量。读取覆型膜复制品的端面平面度，其测量值即为无损检测用平底孔试块的孔底平面度尺寸。

H.2.3 测量条件

环境温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，温度变化不超过 1°C/h ，环境相对湿度 $\leq 75\%$

轮廓仪、覆型膜复制品和被校试块在实验室同一位置平衡时间 8h

轮廓仪视为光学线纹尺制品，覆型膜复制品为硅胶制品。

H.3 测量模型

由测量原理和方法，得到测量模型：

$$M = M_1 \quad (\text{H.1})$$

式中：

M——无损检测用平底孔试块孔底平面度尺寸，mm；

M_1 ——轮廓仪读数值，mm。

H.4 测量不确定度来源及说明见表 H.1

表 H.1 测量不确定度来源及说明

序号	不确定度来源	说明
1	轮廓仪示值误差	轮廓仪存在示值误差
2	仪器分辨率率	轮廓仪的分辨力为 $1 \mu\text{m}$
	测量重复性	A 类不确定度分量
3	温度	实验室温度对 20°C 会有偏离，而覆型膜复制品和轮廓仪之间存在膨胀系数差
4	试块形状误差	试块的孔径形状会对测量结果产生影响，主要影响因素是无损检测试块孔径的垂直度误差
5	覆型膜测量法复制品误差	提取覆型膜复制品时，取出时复制品会存在微变形，影响测量结果

H.5 不确定度评定—不确定度分量的说明与计算

H.5.1 由轮廓仪的示值误差引入的标准不确定度分量 u_1 （B 类评定）

轮廓仪 MPE： $\pm (1+L/100) \mu\text{m}$ ，符合均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{1\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.58\mu\text{m} \quad (\text{H. 2})$$

H. 5.2 由仪器分辨力/重复性引入的标准不确定度分量 u_2 (A类评定)

轮廓仪的分辨力为 $1\mu\text{m}$, 区间半宽度为 $0.5\mu\text{m}$, 符合均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则由分辨力引入的不确定度分量为:

$$u_{21} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29\mu\text{m} \quad (\text{H. 3})$$

在各种条件均不改变的情况下, 在短时间内对孔径标称值为 $\phi 2$ 的无损检测用平底孔试块的孔底平面度尺寸进行重复性测量, 共测量10次 (即 $n = 10$)。实验数据见表 H. 2 (单位: mm):

H. 2 重复性测量试验数据

测量次数	1	2	3	4	5
测得值	0.026	0.025	0.020	0.021	0.026
测量次数	6	7	8	9	10
测得值	0.025	0.027	0.026	0.022	0.029
平均值	0.0247				
贝塞尔公式	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.83\mu\text{m}$				

则由测量重复性引入的不确定度分量为:

$$u_{22} = s = 2.83\mu\text{m} \quad (\text{H. 4})$$

分辨力引入的不确定度分量 u_{21} 和测量重复性引入的不确定度分量 u_{22} , 取结果较大者, 则:

$$u_2 = u_{22} = 2.78\mu\text{m} \quad (\text{H. 5})$$

H. 5.3 由温度引入的标准不确定度分量 u_3 (B类评定)

在测量前, 无损检测用平底孔试块的覆型膜复制品已经放置在工作台上充分恒温 (即两者温度差忽略不计), 所以此处主要考虑温度偏离 20°C , 轮廓仪与被校无损检测用平底孔试块覆型膜复制品的线膨胀系数的影响。在测量过程中, 实验室温度保持在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的范围内, 轮廓仪的线膨胀系数为 $\alpha = 9.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 覆型膜复制品使用的原材料硅胶的线膨胀系数为 $\alpha = 210 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 其线膨胀系数差为 $200.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的温度区间内, 其温度区间半宽为 1°C , 符合三角分布, $k = \sqrt{6}$, 则

当校准尺寸 $M=0.03\text{mm}$ 时, 由温度偏离 20°C 引入的线膨胀系数误差为:

$$e_3 = \pm 0.03 \times 200.5 \times 10^{-6} \times 1 = 0.01\mu\text{m} \quad (\text{H. 6})$$

则由温度引入的测量不确定度分量为

$$u_3 = 0.01/\sqrt{6} = 0.01\mu\text{m} \quad (\text{H. 7})$$

H. 5. 4 由试块形状误差引入的标准不确定度分量 u_4 (B类评定)

试块形状误差对测量结果产生影响的主要因素垂直度误差, 机加工的试块垂直度一般不大于 $10\mu\text{m}$, 区间半宽为 $5\mu\text{m}$, 符合均匀分布 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_4 = 5\mu\text{m}/\sqrt{3} = 2.88\mu\text{m} \quad (\text{H. 8})$$

H. 5. 5 由提取覆型膜复制品的微变形引入的标准不确定度分量 u_5 (B类评定)

由于覆型膜复制品要在无损检测用平底孔试块孔径中完全凝固后提取, 在提供过程中, 会拉伸覆型膜复制品, 进而使得覆型膜复制品的直径略小于孔径值。经过生产企业对无损检测用平底孔试块的剖切后测量和覆型膜测量法的实验数据对比分析, 在提取过程中约产生 $8\mu\text{m}$ 的变形量。因此由提取覆型膜复制品的微变形引入的误差影响为 $8\mu\text{m}$, 符合均匀分布 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_5 = 8\mu\text{m}/\sqrt{3} = 4.62\mu\text{m} \quad (\text{H. 9})$$

H. 6 合成标准不确定度

H. 6. 1 不确定度分量汇总

测量 0.03mm 的无损检测用平底孔试块的测量不确定度分量及计算结果见表 H. 3。

表 H. 3 标准不确定度一览表

序号	影像测量不确定度的来源	标准不确定度分量代号 u_i	评定类型	分布类型	影响量/ μm	对测量结果影响的变化限/ μm	包含因子 k_i	标准不确定度分量 $u_i/\mu\text{m}$
1	轮廓仪	u_1	B	均匀	0.58	0.58	$\sqrt{3}$	0.58
2	分辨力/重复性	u_2	A	/	2.83	—		2.83
	分辨力	u_{21}	B	均匀	0.29	0.29	$\sqrt{3}$	0.29
	重复性	u_{22}	A	/	2.83	—		2.83
3	温度	u_3	B	三角	/	0.01	$\sqrt{6}$	0.01
4	形状误差	u_4	B	均匀	2.88	2.88	$\sqrt{3}$	2.88
5	覆型膜测量法复制品误差	u_5	B	均匀	4.62	4.62	$\sqrt{3}$	4.62
合成标准不确定度: u_c								6.16
扩展不确定度 ($k = 2$): U								12.32

H.6 合成标准不确定度计算

由于参与计算的各项标准不确定度分量之间不相关,则合成标准不确定度为:

$$\begin{aligned}u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \\&= \sqrt{0.58^2 + 2.83^2 + 0.01^2 + 2.88^2 + 4.62^2} \mu\text{m} \\&= 6.16 \mu\text{m} \quad (\text{H. 10})\end{aligned}$$

H.7 扩展不确定度计算

包含因子 $k = 2$,则扩展不确定度 U :

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 6.16 \mu\text{m} = 0.01 \text{mm} \quad (\text{H. 10})$$