



中华人民共和国工业和信息化部

电子计量技术规范

JJFZ(电子)002—2021

光切断法三维轮廓测量仪校准规范

Calibration Specification for Optical cut-off method three-dimensional profile measuring
instrument

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

光切断法三维轮廓测量仪校准规范

JJFZ(电子)002—2021

Calibration Specification for Optical
cut-off method three-dimensional profile
measuring instrument

归口单位：中国电子技术标准化研究院
主要起草单位：工业和信息化部电子第五研究所
参加起草单位：广州赛宝计量检测中心服务有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

张烈声（工业和信息化部电子第五研究所）

罗凯元（工业和信息化部电子第五研究所）

郑远伟（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

参加起草人：

慕容启源（工业和信息化部电子第五研究所）

陈少狮（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

夏 磊

目录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 光学三维测量系统	1
3.2 光切断法	1
3.3 结构光	1
3.4 探测误差	2
4 概述	2
5 计量特性	2
5.1 探测误差	2
5.2 示值误差	2
5.3 重复性	3
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
6.2 测量标准及其他设备	3
7 校准项目和校准方法	4
7.1 校准项目	4
7.2 外观及工作正常性检查	4
7.3 探测误差	4
7.4 示值误差	5
7.5 重复性	6
8 校准结果表达	6
9 复校时间间隔	7
附录 A 原始记录格式	8
附录 B 校准证书内页格式	10
附录 C 标准器样式	12
附录 D 测量不确定度评定示例	14

引言

本规范依据JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量名词术语》和JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

光切断法三维轮廓测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于 200mm×100mm×50mm 范围内,采用多条纹摩尔结构光投射,利用光切断原理并测量出各点的高度和位置,且具有闪测影像测量仪功能测量高精度宽度尺寸的三维轮廓测量仪校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJF 1094-2002 测量仪器特性评定

VDI/VDE 2634 Part 2 光学三维测量系统:基于区域扫描的光学系统 (Optical 3-D Measuring Systems :Optical Systems Based on Area Scanning)

VDI/VDE 2634 part 3 光学三维测量系统:基于区域扫描的多视角系统 (Optical 3D Measuring Systems : Multiple View Systems Based on Area Scanning)

JJF(军工)116-2016 三维轮廓光学扫描测量仪校准规范

JB/T 12639-2016 闪测影像测量仪

注: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 术语和计量单位

3.1 光学三维测量系统 Optical 3D measuring systems

光学三维测量系统是一种通用非接触测量和测试设备,可以用来获取被测物体的形貌数据,测量结果通常为各点的空间坐标。

[VDI/VDE 2634 Part 2 光学三维测量系统:基于区域扫描的光学系统]

3.2 光切断法 Optical cut-off method

投光镜头射出一束平行光带在一定角度投射与被测表面上,光带与表面轮廓相交的曲线影像即反映了被测表面的几何形状,受光镜头从正上方接收反射的曲线影像,通过CMOS 传感器使这些光线成像并进行运算,由此测量出各点的高度和位置。

3.3 结构光 Structured light

已知空间方向的投影光线的集合称为结构光。通常具有特定形状和分布,用于投射

到被测物表面。常见的机构光形状主要有点、线、多线、网格、光栅等。

[JJF(军工)116-2016 三维轮廓光学扫描测量仪校准规范]

3.4 探测误差 Probing error

探测误差是使用测量标准球半径的示值变化范围而确定的误差，主要反映了形状和尺寸的影响。

[JJF(军工)116-2016 三维轮廓光学扫描测量仪校准规范]

4 概述

光切断法三维轮廓测量仪主要原理由两个投光镜头射出多条纹摩尔结构光，光带与工件表面轮廓相交的曲线影像即反映了被测表面的几何形状，通过受光镜头和 COMS 传感器获得获取被测件三维轮廓的光学图像，再由计算机通过高精度图像分析算法对信号进行分析运算来达到测量的目的。现多用于复杂零部件三维尺寸的精密检测。

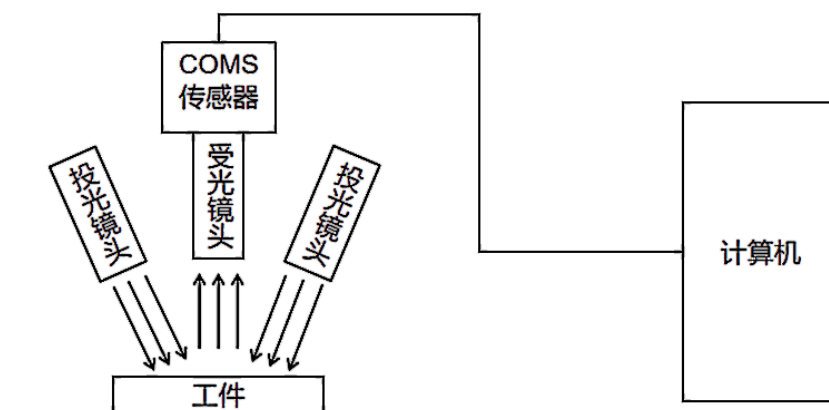


图1 结构原理图

5 计量特性

5.1 探测误差

形状探测误差和尺寸探测误差均不大于 $1.2\mu\text{m}$ 。

5.2 示值误差

5.2.1 高度尺寸测量示值误差

无 Z 轴连接高度尺寸最大允许误差： $\pm 2.5\mu\text{m}$ ；

有 Z 轴连接高度尺寸最大允许误差： $\pm 4.0\mu\text{m}$ 。

注：Z 轴连接是高度尺寸测量中有光栅尺进行拼接。

5.2.2 宽度尺寸测量示值误差

低倍率镜头宽度尺寸最大允许误差： $\pm 5\mu\text{m}$ ；

高倍率镜头宽度尺寸最大允许误差： $\pm 2\mu\text{m}$ 。

5.3 重复性

5.3.1 高度尺寸测量重复性

无 Z 轴连接高度尺寸测量重复性： $0.4\mu\text{m}$ ；

有 Z 轴连接高度尺寸测量重复性： $1.0\mu\text{m}$ 。

5.3.2 宽度尺寸测量的重复性

低倍率镜头宽度尺寸测量重复性： $1.0\mu\text{m}$ ；

高倍率镜头宽度尺寸测量重复性： $0.5\mu\text{m}$ 。

注：校准工作不判断合格与否，上述计量特性要求仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境的温度： $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，校准期间温度波动不大于 1°C/h ，被校仪器在室内温度平衡时间不少于 24h，标准器与被校仪器在同一环境下的温度平衡时间不少于 6h。

注：实际测量时，应以符合仪器出厂指标要求的环境条件进行测量。

6.1.2 环境相对湿度：30%~75%。

6.1.3 其他：周围无影响测量结果的灰尘、噪音、腐蚀性气体、电磁干扰和机械振动等。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 标准球

直径推荐 6mm、25mm、40mm；直径校准结果的不确定度 $U\leq 0.3\mu\text{m}$ ；圆度校准结果的不确定度 $U\leq 0.3\mu\text{m}$ ，其建议样式见附录 C。

6.2.2 标准阶梯块

相邻阶梯差值不确定度不大于被校光切断法三维轮廓测量仪 $1/4|MPE|$ ，测量点均匀分布在测量范围内，其建议样式见附录 C。

6.2.3 二维点阵掩模板

点阵坐标间的距离的不确定度不大于被校光切断法三维轮廓测量仪 $1/4|MPE|$ ，其测量范围不小于被校仪器测量范围的 $2/3$ ，其建议样式见附录 C。

注：也可使用满足不确定度要求的其他标准器进行校准。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

光切断法三维轮廓测量仪校准项目见表 1。

表 1 光切断法三维轮廓测量仪校准项目一览表

序号	项目名称
1	外观及工作正常性检查
2	探测误差
3	高度和宽度尺寸测量示值误差
4	高度和宽度尺寸测量重复性

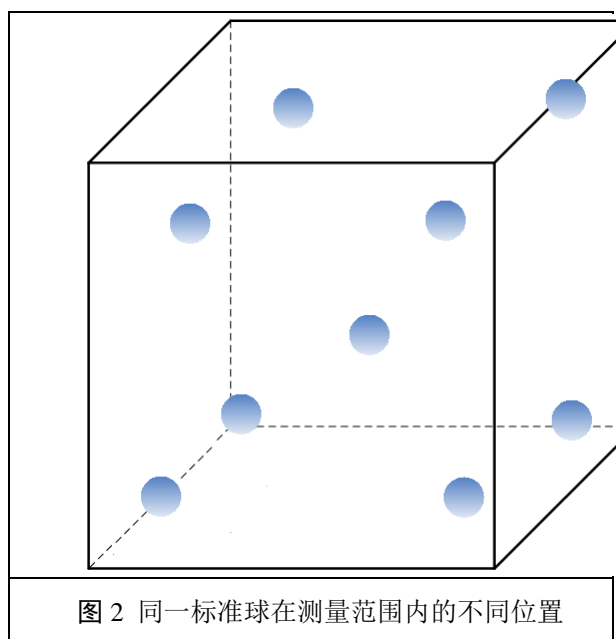
7.2 外观及工作正常性检查

检查被校仪器的结构是否完整，无影响正常工作的机械损伤。使用环境条件应满足仪器要求，无影响计量特性的因素。

7.3 探测误差

探测误差由两项影响量：形状探测误差 ΔF 和尺寸探测误差 ΔS 。探测误差的校准基于对标准球的形状和直径进行的测量。

根据被校仪器测量范围选择适当直径标准球；标准球符合附录C，底座加连接杆方式固定，避免因不稳定引入测量误差；在测量空间范围内大致空间中8个角点和中心处共9个位置来安装标准球确定探测误差，参见图2。



由被校仪器测量给出各个位置的拟合球直径和拟合球心，分析各个测量位置标准球表面的点到拟合球心距离。

所有点到拟合球心距离的最大值与最小值之差为该位置的形状探测误差 ΔF_i :

$$\Delta F_i = r_{\max} - r_{\min} \quad (1)$$

拟合球的直径 D_i 与标准球直径参考值 D_s 之间的差为该位置的尺寸探测误差 ΔS_i :

$$\Delta S_i = D_i - D_s \quad (2)$$

取各位置中形状探测误差和尺寸探测误差最大者，分别作为形状探测误差 ΔF 和尺寸探测误差 ΔS 的测量结果

$$\Delta F = \max(\Delta F_i) \quad (3)$$

$$\Delta S = \max(|\Delta S_i|) \quad (4)$$

式中： i 表示测量位置的序号， $i=1, 2, \dots, 9$ 。

7.4 示值误差

7.4.1 高度尺寸测量示值误差

对于被校仪器的高度尺寸测量示值误差，应当按被校仪器测量范围选择合适标准阶梯块，标准器的测量点在被校仪器测量范围内大致均匀分布 5 个点。将符合 6.2.2 要求的标准阶梯块平行放置于工作台上，调节扫描条件进行测量 3 次，将测量结果 $h_i (i=1,2,3)$

填入表 A.3.1，取 3 次测量结果的平均值 \bar{h} 。

测量结果处理：测量值平均值 \bar{h} 与标准器参考值 H 的差值为示值误差： $\Delta = \bar{h} - H$ ，所有示值误差均不应超过对应的最大允许误差。

注：若光切断法三维轮廓测量仪存在 Z 轴连接，则应分别对无 Z 连接和有 Z 连接的高度尺寸测量示值误差进行校准。

7.4.2 宽度尺寸测量示值误差

对于光切断法三维轮廓测量仪带有高精度摄像头集合闪测影像测量，首先应当按被校准仪器测量范围选择符合 6.2.3 的标准器，标准器的测量范围不小于被校仪器宽度测量范围的 2/3，在测量范围内均匀分布 5 个点。调整焦距使图像清晰，进行测量 3 次，将测量结果 $l_i(i=1,2,3)$ 填入表 A.3.2 中。取 3 次测量结果的平均值 \bar{l} 。

测量结果处理：测量值平均值 \bar{l} 与标准器参考值 L 的差值为示值误差： $\Delta = \bar{l} - L$ ，所有示值误差均不应超过对应的最大允许误差。

注：若光切断法三维轮廓测量仪存在不同倍率镜头，则应分别低倍和高倍宽度尺寸测量示值误差进行校准。

7.5 尺寸测量重复性

7.5.1 高度尺寸测量重复性

7.5.1.1 重复 7.4.1 的操作步骤对同一标准值于相同位置重复测量 10 次，并将测量结果 $h_i(i=1,2,3,...,10)$ 填入表 A.4.1 中。

7.5.1.3 以贝塞尔公式如下式计算实验标准偏差评价其重复性，重复性结果 s_h 应当满足仪器技术指标要求。

$$s_h = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (h_i - \bar{h})^2}{(n-1)}}$$

7.5.2 宽度尺寸测量的重复性

7.5.2.1 重复 7.4.2 的操作步骤对同一标准值于相同位置重复测量 10 次，将测量结果 $l_i(i=1,2,3,...,10)$ 填入表 A.4.2 中。

7.5.2.3 以贝塞尔公式如下式计算实验标准偏差来评价其重复性，重复性结果 s_l 应当满足

仪器技术指标要求。

$$s_l = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (l_i - \bar{l})^2}{(n-1)}}$$

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书应至少包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（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) 被校准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，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 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) 校准结果及其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。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、本身质量等诸多因素决定的，因此，申请校准单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
功能检查	

A.2 探测误差

表 A.2 探测误差

	实测值								
	(μm)								
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
形状探测误差									
尺寸探测误差									

A.3 示值误差

表 A.3.1 高度尺寸测量示值误差

标准值	指示值			平均值	示值误差	不确定度(k=2)
(mm)	(mm)			(mm)	(mm)	(μm)
...						

表 A.3.2 宽度尺寸测量示值误差

标准值	指示值			平均值	示值误差	不确定度(k=2)
(mm)	(mm)			(mm)	(mm)	(μm)
...						

A.4 重复性

表 A.4.1 高度尺寸测量重复性

指示值					重复性
(mm)					(mm)

表 A.4.2 宽度尺寸测量重复性

指示值					重复性
(mm)					(mm)

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
功能检查	

B.2 探测误差

表 B.2 探测误差

	实测值
	(μm)
形状探测误差	
尺寸探测误差	

B.3 示值误差

表 B.3.1 高度尺寸测量示值误差

标准值	指示值			示值误差	不确定度($k=2$)
(mm)	(mm)			(μm)	(μm)
...					

表 B.3.2 宽度尺寸测量示值误差

标准值	指示值			示值误差	不确定度($k=2$)
(mm)	(mm)			(μm)	(μm)
...					

B.4 重复性

表 B.4.1 高度尺寸测量重复性

实测值
(μm)

表 B.4.2 宽度尺寸重复性

实测值
(μm)

附录 C

标准器样式

C.1 标准球

标准球采用哑光处理的陶瓷，一般以直径为其型号规格，结构型式带连接杆和底座，其中连接杆可以自由摆动，如图 C.1

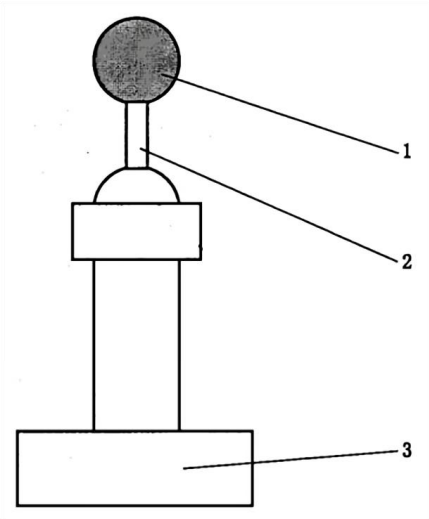


图 C.1 标准球结构示意图

1.球体； 2.连接杆； 3.底座

C.2 标准阶梯块

标准阶梯块采用哑光处理的陶瓷上按一定规律刻画一系列阶梯具有标准高度差值三维标准器。通过校准后可作为光切断法三维轮廓测量仪的标准器测量高度尺寸测量示值误差。标准阶梯块的测量点应分 5 个点均匀分布覆盖被校仪器测量范围，其样式建议如图 C.2，也可使用其他样式的标准阶梯块。

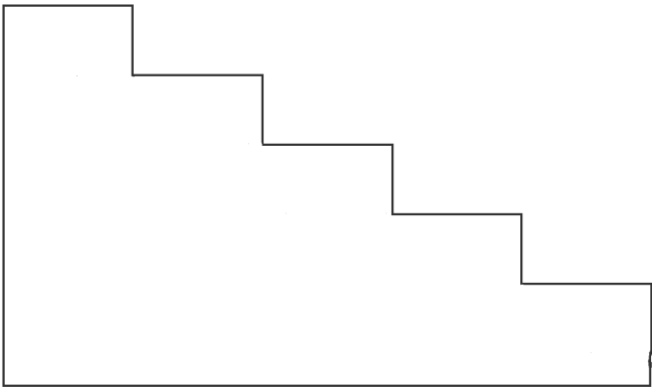


图 C.2 标准阶梯块样式示意图

C.3 二维点阵掩膜板

二维点阵掩模板是于特定材质的玻璃平板上按一定规律刻画一系列具有二维尺寸坐标的图形标记(如网格、十字标记、圆形标记等)的二维标准器。通过校准后可作为标准器测量宽度尺寸示值误差。其样式建议如图 C.3，也可使用其他样式的二维掩模板。

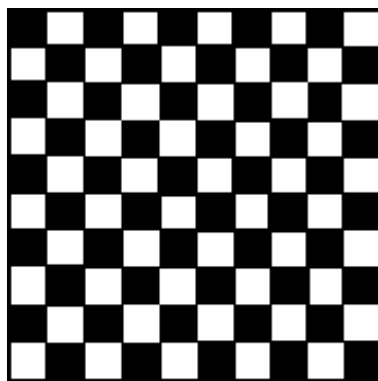


图 C.3 掩模板样式示意图

附录 D

测量不确定度评定示例

D.1 高度尺寸示值误差的测量不确定度

D.1.1 测量方法

用 0.2mm 标准阶梯去校准分辨率 0.1 μm 光切断法三维轮廓测量仪，按照 7.4.1 方法测量高度尺寸误差，温度控制(20 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 。

D.1.2 测量模型

$$\Delta_h = h - H$$

式中：

Δ_h ——高度尺寸测量示值误差(μm)；

h ——光切断法三维轮廓测量仪的测得值(μm)。

H ——标准阶梯块的标准值(μm)

D.1.3 方差和灵敏系数

考虑各分量彼此独立，依据不确定度传播律：

$$u_c^2 = u^2(\Delta_h) = c_1^2 u^2(h) + c_2^2 u^2(H)$$

式中：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta_h}{\partial h} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta_h}{\partial H} = -1$$

故：

$$u_c^2 = u^2(\Delta_h) = u^2(h) + u^2(H)$$

D.1.4 被检仪器测得值引入的标准不确定度分量 $u(h)$

被检仪器测得值引入的标准不确定度主要来源于测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(h)$ 或读数分辨率引入的标准不确定度 $u_2(h)$ ，这二者取大。

D.1.4.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(h)$

对标准阶梯块，重复测量 10 次，得到读数值如表 D.1.1 所示，用贝塞尔公式计算实验标准偏差。

表 D1.1 高度尺寸重复测量的读数值

	mm				
测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	0.2006	0.2010	0.2013	0.2009	0.2011
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	0.2008	0.2010	0.2011	0.2010	0.2014

则测量重复性引入的标准不确定度测量重复性引入的标准不确定度

$$u_1(h) = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (h_i - \bar{h})^2}{(n-1)}} = 0.23 \mu\text{m}$$

D.1.4.2 读数分辨率引入的标准不确定度 $u_2(h)$

被测仪器分辨率 0.0001mm,估计为均匀分布

$$u_2(h) = \frac{0.1}{2 \times \sqrt{3}} = 0.03 \mu\text{m}$$

则被检仪器测得值引入的标准不确定度分量 $u(h)=u_1(h)=0.23 \mu\text{m}$

D.1.5 标准阶梯块的标准值引入标准不确定度分量 $u(H)$

标准阶梯块的标准值引入标准不确定度主要来源于标准器测量值的标准不确定度 $u_1(H)$,标准器温度变化引入标准不确定度 $u_2(H)$ 和标准器线膨胀系数引入标准不确定度 $u_3(H)$ 。

D.1.5.1 标准器测量值的标准不确定度 $u_1(H)$

标准阶梯块阶梯差值测量不确定度 $U=0.4 \mu\text{m}$, $k=2$;故由此引入的标准不确定度

$$u_1(H)=U/k=0.2 \mu\text{m}。$$

D.1.5.2 标准器温度变化引入标准不确定度 $u_2(H)$

测量中标准器的线膨胀系数为 $(7.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,高度值为 0.2mm,温度测量不确定度优于 1°C ,按均匀分布,则:

$$u_2(H) = \frac{h \times \Delta\alpha \times \Delta t}{\sqrt{3}} = \frac{0.0002 \times 7.5 \times 1}{\sqrt{3}} = 0.0009 \mu\text{m}$$

D.1.5.3 标准器线膨胀系数引入标准不确定度 $u_3(H)$

测量中标准器的线膨胀系数半宽区间 $a=1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 估计均匀分布, 高度值为 0.2 mm , 实验室温度 $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, 按最大偏离 $\Delta t=2 ^\circ\text{C}$, 则:

$$u_3(H) = \frac{h \times a \times \Delta t}{\sqrt{3}} = \frac{0.0002 \times 1 \times 2}{\sqrt{3}} = 0.0002 \text{ } \mu\text{m}$$

则标准阶梯块的标准值引入标准不确定度分量

$$u(H) = \sqrt{u_1^2(H) + u_2^2(H) + u_3^2(H)} = 0.2 \text{ } \mu\text{m}$$

D1.6 高度尺寸示值误差的测量不确定度

$$u_c = u(\Delta_h) = \sqrt{u^2(h) + u^2(H)} = \sqrt{0.23^2 + 0.2^2} = 0.3 \text{ } \mu\text{m}$$

取 $k=2$, 高度尺寸示值误差的扩展不确定度

$$U = ku_c = 0.6 \text{ } \mu\text{m}$$

D1.7 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量见表 D1.7

表 D1.7 标准不确定度一览表

			μm	
被检点 $h(\text{mm})$			0.2	
标准不确定 度来源 u_c	被检仪器测得值引入的 标准不确定度 $u(h)$	测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(h)$	0.23	0.23
		读数分辨率引入的标准不确定度 $u_2(h)$	0.03	
	标准阶梯块的标准值引 入标准不确定度分量 $u(H)$	标准器测量值的标准不确定度 $u_1(H)$	0.2	0.2
		温度变化引入标准不确定度 $u_2(H)$	0.0004	
		线膨胀系数引入标准不确定度 $u_3(H)$	0.0001	
合成标准不确定度 u_c			0.3	
扩展不确定度 $U(k=2)$			0.6	