



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1096—2002

---

## 引伸计标定器校准规范

Calibration Specification for Calibrator of Extensometers

2002 - 11 - 04 发布

2003 - 02 - 04 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 引伸计标定器校准规范

**Calibration Specification for  
Calibrator of Extensometers**

**JJF 1096—2002**

---

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2002 年 11 月 04 日批准，并自 2003 年 02 月 04 日起施行。

**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：**陕西省计量测试研究所

**参加起草单位：**西安世纪测控技术研究所

钢铁研究总院分析测试研究所

**本规范主要起草人：**

张 磊 （陕西省计量测试研究所）

施纪泽 （西安世纪测控技术研究所）

王春华 （钢铁研究总院分析测试研究所）

## 目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(2)
4.1 测微头的刻线质量及各部分相对位置	(2)
4.2 上、下心轴的同轴度	(2)
4.3 分辨力	(2)
4.4 示值误差	(2)
4.5 示值稳定性	(3)
4.6 支架刚性	(3)
5 校准条件	(3)
5.1 环境条件	(3)
5.2 校准项目和校准用设备	(3)
6 校准方法	(3)
6.1 测微头的刻线质量和各部分相对位置	(4)
6.2 上、下心轴的同轴度	(4)
6.3 分辨力	(4)
6.4 示值误差	(4)
6.5 示值稳定性	(7)
6.6 支架刚性	(7)
7 校准结果表达	(7)
8 复校时间间隔	(7)
附录 A 引伸计标定器示值误差的测量不确定度	(8)
附录 B 校准引伸计标定器的专用工作台	(13)
附录 C 校准证书的内容	(14)

## 引伸计标定器校准规范

### 1 范围

本规范适用于引伸计专用校准装置（以下简称标定器）的计量特性校准。

### 2 引用文献

JJF1001—1998 通用计量术语及定义

JJF1059—1999 测量不确定度评定与表示

ISO 9513: 1999 金属材料 单轴向试验用引伸计的标定

JB/T 10033—1999 测微头

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

### 3 概述

标定器是用于对被标定的引伸计给出标准位移量的仪器。它由刚性支架、两个同轴的心轴或者装卡引伸计的夹具、能够准确地测量沿心轴轴向位移量变化的测微装置组成。标定器按测微装置形式分为 A 类和 B 类，结构示意图见图 1 和图 2。

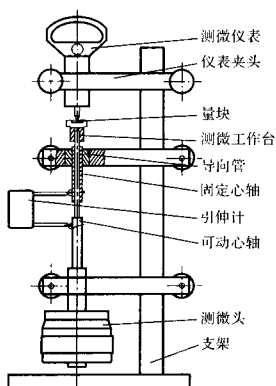


图 1 A 类标定器

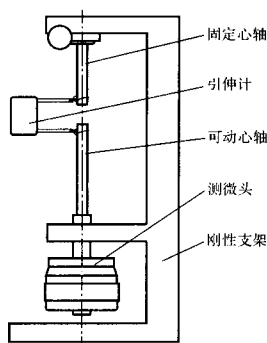


图 2 B 类标定器

A 类标定器一般由螺旋副结构的测微头实现位移，用安装在标定器支架上的测微仪表（比较仪、测微计或干涉仪光管等）配合量块进行测量。B 类标定器一般用测微头同时实现位移和测量。

## 4 计量特性

### 4.1 测微头的刻线质量及各部分相对位置

4.1.1 刻线应清晰、粗细均匀，刻线宽度差不超过 0.05mm；最小分度值不超过 0.25 $\mu$ m。

4.1.2 测微头微分筒锥面棱边上沿至固定套管刻线面间的距离不超过 0.4mm，见图 3；当微分筒零刻线与固定套管纵刻线对准时，微分筒圆锥面的端面应与固定套管上毫米刻线的下边缘相切，或只允许压线不超过 0.05mm，离线不超过 0.10mm。

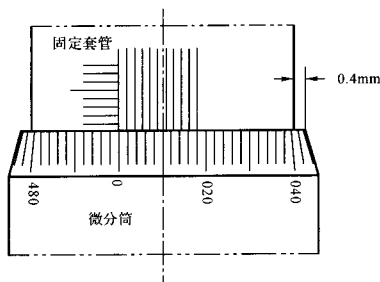


图 3 棱边至固定套管的距离

4.1.3 测微头应有准确可靠调整零位的装置；对零位时，固定套管游标刻线的零刻线与微分筒上相应刻线的重合度不超过 0.005mm 时，尾刻线与微分筒上相应刻线的重合度应不超过 0.05mm。

### 4.2 上、下心轴的同轴度

标定器上、下心轴的同轴度不超过  $\phi 0.1$ mm。

### 4.3 分辨力

测微装置的分辨力（或分度值）不超过表 1 中绝对误差值的 1/2。

### 4.4 示值误差

示值误差不超过表 1 规定的最大允许值。

表 1 示值的最大允许误差

标定器类别	被校引伸计的级别	绝对误差/ $\mu$ m	相对误差/%
		(校准范围不超过 1/3 mm 时采用)	(校准范围超过 1/3mm 时采用)
A 类或 B 类	0.2 级	[-0.2, +0.2]	[-0.06, +0.06]
	0.5 级	[-0.5, +0.5]	[-0.15, +0.15]
B 类	1 级	[-1.0, +1.0]	[-0.3, +0.3]
	2 级	[-2.0, +2.0]	[-0.6, +0.6]

## 4.5 示值稳定性

示值稳定性在 1h 内不超过表 1 中的绝对误差值。

## 4.6 支架刚性

上支架受到 1N 的垂向力时, 其位置变化量不超过  $0.1\mu\text{m}$ 。

注: 作为校准, 不判定合格与否, 上述计量特性指标仅供参考。

## 5 校准条件

## 5.1 环境条件

校准环境条件见表 2。

表 2 校准环境条件

标定量器类别	实验室温度/℃	室温变化/(℃/h)	校准前标定量器 在室内等温时间/h
A	$20 \pm 1$	$\leq 0.5$	> 24
B	$20 \pm 5$	$\leq 1$	> 12

## 5.2 校准项目和校准用设备

各校准项目使用(测量)标准及其他设备的要求见表 3。

表 3 校准项目和校准用设备

序号	校准项目	使用标准和其他设备的要求
1	测微头的刻线质量及各部分相对位置	5 倍放大镜; (必要时使用) 工具显微镜
2	上、下心轴的同轴度	75mm 刀口形直尺和塞尺 (均为 2 级)
3	分辨力	目力观察
4	示值误差	2 等、3 等、4 等或 5 等量块; 分度值 (或分辨力) 不超过 $0.1\mu\text{m}$ 的测微仪、比较仪或具有同等测量能力的其他测量仪器。所能提供的实验室测量能力* 不超过相应类别引伸计标定量器最大允许误差的 $(1/3) \sim (1/5)$ 应配置专用玛瑙工作台和三珠工作台 (见附录 B)
5	稳定性	除了序号 4 所需设备之外, 再加计时钟
6	支架刚性	100g 砝码和 (任意等级) 量块
* 或称最佳测量能力, 用 95% 置信概率 (或用包含因子 $k=2$ ) 的扩展不确定度 $U_p$ 表示。		

## 6 校准方法

首先检查外观, 确定没有影响校准结果的因素后再进行校准。

## 6.1 测微头的刻线质量和各部分相对位置

### 6.1.1 刻线宽度差

目力观察，必要时可用工具显微镜测量。

### 6.1.2 微分筒圆锥面棱边上沿至固定套管刻线面间的距离

用 0.4mm 塞尺置于固定套管刻线面上用比较法测量，微分筒圆锥面棱边上沿不应高于塞尺表面。在微分筒任意一周内不少于三个位置上测量。也可用工具显微镜测量。

### 6.1.3 微分筒圆锥面的端面与固定套管上横刻线的相对位置

先将微分筒调整至零刻线附近，然后使微分筒圆锥面端面与固定套管上任意毫米刻线的下边缘相切，同时读取微分筒上零刻线与固定套管上横刻线的偏移量即为离线或压线数值。见图 4。

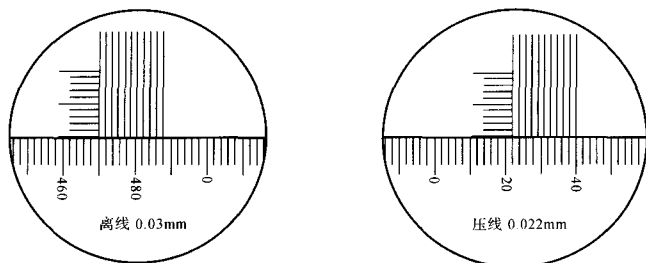


图 4 离线和压线

## 6.2 上、下心轴的同轴度

调整标定器上、下两心轴的端部相距约 1mm，将刀口形直尺测量边约 50mm 长沿轴线方向紧靠在固定心轴上，用塞尺测量出刀口形直尺与可动心轴端部的最大间隙值，以该值的两倍作为校准结果。

## 6.3 分辨力

目力观察。

## 6.4 示值误差

### 6.4.1 校准范围、校准用量块标称长度间隔和等级的选取

在选定的校准范围内，应按最大校准点  $E_{\max}$  与最小校准点  $E_{\min}$  之比应为 5 倍至 10 倍的原则选取各校准点，即：

$$5 \leq \frac{E_{\max}}{E_{\min}} \leq 10 \quad (1)$$

按上述原则，校准用量块标称长度间隔的选取示例见表 4。

各校准范围段内选取的量块等级可参考表 5。

### 6.4.2 直接法

如图 1 和图 5 所示，将指示或显示仪表装在标定器固定支架孔中，将专用的玛瑙或



表 4 校准用量块标称长度间隔的选取示例

mm

校准范围	校准用量块标称长度间隔	定零位用量块标称长度	校准用量块标称长度系列
(0~0.1]	0.01/0.02	1.0 {1.1}	1.01, 1.02, ..., 1.09
(0~0.5]	0.05/0.1	1.0 {1.5}	1.0, 1.05, 1.10, ..., 1.45
(0~1.0]	0.1/0.2	1.0 {2.0}	1.5, 1.6, ..., 1.9
(1~5]	0.5/1.0	1.0 {6.0}	1.5, 2.0, ..., 5.5
{5~25]	5	5 {30}	5, 10, 10+5, 20, 20+5, 30

注: { } 内为反向校准时选用的定零位用量块标称长度; 10+5 和 20+5 分别为 10mm(20mm) 和 5mm 量块的组合标称长度。

表 5 各校准范围段内选取的量块等级

标定器类别	被校引伸计的级别	直接法			配对法
		校准范围 (0, 1.0] mm	校准范围 (1, 5] mm	校准范围 (5, 25] mm	校准范围 (0, 1.0] mm
A 类或 B 类	0.2 级	—	2 等	4 等	2 等 (配对数按所配置测微仪表的相应规程或规范要求选)
	0.5 级	2 等	3 等		3 等 (配 3 对)
B 类	1 级	3 等	4 等	5 等	—
	2 级	4 等			—

三珠工作台装在标定器的可动心轴上, 使仪表的测量轴线通过玛瑙或三珠工作台的中心位置。将测微头调整到所选校准范围的起始位置, 在仪表的球面测头与玛瑙或三珠工作台间放入一块量块 (量块中心点大致在玛瑙或三珠工作台的中心), 调整仪表测头与量块接触并使其示值大致对零并记下初始值, 然后按所选校准间隔, 转动微分筒至各校准点, 再以递增或递减的方式依次置换各量块, 从仪表上读取并记录与初始值的偏差值。

对不超过 1/3mm 的受校点按式 (2) 计算各点示值的绝对误差  $\Delta$  为

$$\Delta = \Delta A - (\Delta l - \Delta l_0) \quad (2)$$

式中:  $\Delta A$ ——在某校准点时仪表的读数与初始值的偏差,  $\mu\text{m}$ ;

$\Delta l$ ——在该校准点时所用量块按等检定的偏差,  $\mu\text{m}$ ;

$\Delta l_0$ ——对准起始位置时所用量块按等检定的偏差,  $\mu\text{m}$ 。

对超过 1/3mm 的受校点按式 (3) 计算各点示值的相对误差  $\delta$  为

$$\delta = \frac{\Delta A - (\Delta l - \Delta l_0)}{l} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $l$ ——该校准点的标称值,  $\mu\text{m}$ 。

最后, 取同方向上各校准点重复测量 3 次中的最大差值作为该点的测量结果。

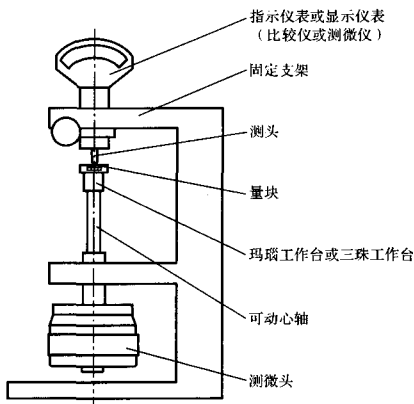


图5 B类标定器的校准

#### 6.4.3 配对法

用表5中“配对法”一栏所选量块等级对A类标定器1mm校准范围内进行校准。当以配对法校准正向或反向上某点示值时，转动微分筒以第一块量块对准仪表零位，然后以递增或递减的方式依次置换校准该点时相关长度的第二块量块，并在仪表上读数；再以第二块量块对准零位，然后再以递增或递减的方式依次置换相关长度的第三块量块，同时在仪表上读数；依次类推，直到所校准的点全部校完。在每一个校准点上取 $(n-1)$ 次读数的算术平均值作为该点的测得值。

该校准点的示值误差

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \Delta A_i - (\Delta l_n - \Delta l_1)}{n-1} \quad (4)$$

式中： $\sum_{i=1}^{n-1} \Delta A_i$ ——该校准点用各对量块校准时，读数值与标称值之差的代数和， $\mu\text{m}$ ；

$\Delta l_n$ ——第 $n$ 块（最后一块）量块按等检定的偏差， $\mu\text{m}$ ；

$\Delta l_1$ ——第一块用于对零位的量块按等检定的偏差， $\mu\text{m}$ ；

$n-1$ ——使用的量块对数； $n$ 为量块总数量。

例如，对配置数显电感测微仪的A类标定器，用4块3等量块配3对，对 $0.1\mu\text{m}$ 挡进行校准。以 $-10\mu\text{m}$ 和 $+10\mu\text{m}$ 两点为例，其校准结果见表6。

校准可以在可动心轴正、反两个位移方向分别进行，也可以选择一个方向进行。最后取同方向各点中绝对误差或相对误差的最大值作为校准结果。

校准正向示值时，量块标称长度按递增方式进行；校准反向示值时，量块标称长度按递减方式进行，这时必须注意先取掉量块，然后再调整微分筒的位移。

表 6 配对法校准  $\pm 10\mu\text{m}$  点的示值误差

校准 ( $-10\mu\text{m}$ ) 点				校准 ( $+10\mu\text{m}$ ) 点			
对零量块 /mm	校准量块 /mm	读数值 / $\mu\text{m}$	$\Delta A_i$ / $\mu\text{m}$	对零量块 /mm	校准量块 /mm	读数值 / $\mu\text{m}$	$\Delta A_i$ / $\mu\text{m}$
1.03	1.02	-9.9	+0.1	1.00	1.01	+9.9	-0.1
1.02	1.01	-10.3	-0.3	1.01	1.02	+9.7	-0.3
1.01	1.00	-10.1	-0.1	1.02	1.03	+9.5	-0.5
$\sum_{i=1}^3 \Delta A_i = -0.3\mu\text{m}$				$\sum_{i=1}^3 \Delta A_i = -0.9\mu\text{m}$			
1.00mm 量块的偏差: $+0.32\mu\text{m}$				1.03mm 量块的偏差: $-0.01\mu\text{m}$			
校准点 $-10\mu\text{m}$ 的示值误差: $\Delta = \frac{-0.3 - (+0.32 + 0.01)}{4 - 1} = -0.21\mu\text{m}$				校准点 $+10\mu\text{m}$ 的示值误差: $\Delta = \frac{-0.9 - (-0.01 - 0.32)}{4 - 1} = -0.19\mu\text{m}$			

### 6.5 示值稳定性

将标定器上仪表测头与测微工作台上放置的任意等级量块相接触, 示值调整到校准范围内任一点, 等示值稳定后记下第一次读数值, 然后每隔 15min 记录一次读数值, 连续观察 1h, 取其最大与最小读数值之差作为校准结果。

### 6.6 支架刚性

仍用图 1 或图 5 的装置, 仪表的指针 (指标) 对准某一标记 (刻度), 对上支架施加 1N 垂向力后 (如在上支架靠近指示表处挂吊 100g 砝码), 仪表的示值变化即为校准结果。

## 7 校准结果表达

校准结果应以“校准证书”或“校准报告”的形式给出。其内容见附录 C。

## 8 复校时间间隔

送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议一般不超过 1 年。

## 附录 A

## 引伸计标定器示值误差的测量不确定度

## A.1 测量方法和数学模型

## A.1.1 测量方法

对 A 类标定器，主要是测微仪表的示值误差。本例为电感测微仪， $0.1\mu\text{m}$  挡示值范围为  $[-0.1, +0.1]$  mm，在  $0.1\text{mm}$  校准范围内用 3 等量块以配对法测量获得。

对 B 类标定器，主要是测微头的示值误差。本例用 3 等量块以扭簧比较仪为指示器用直接法测量获得。当不确定度以绝对形式表示时，选取用绝对误差形式表达的最大校准点 ( $0.3\text{mm}$ ) 进行评定；当不确定度以相对形式表示时，选取用相对误差形式表达的最小校准点 ( $0.4\text{mm}$ ) 进行评定。

## A.1.2 数学模型

配对法测量时 A 类标定器在某校准点的误差  $\Delta$  为

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \Delta A_i - (\Delta l_n - \Delta l_1)}{n-1} - l (\alpha \cdot \delta t + \Delta t \cdot \delta \alpha) \quad (\text{A.1})$$

式中： $\sum_{i=1}^{n-1} \Delta A_i$ ——在某校准点用各对量块校准时，读数与标称值之差的代数和， $\mu\text{m}$ ；

$\Delta l_n$ ——第  $n$  块（最后一块）量块按等检定的偏差， $\mu\text{m}$ ；

$\Delta l_1$ ——第一块用于对零位的量块按等检定的偏差， $\mu\text{m}$ ；

$n-1$ ——使用的量块对数， $n$  为量块总数量；

$l$ ——该校准点的标称值 ( $\mu\text{m}$ )，本例为  $100\mu\text{m}$ ；

$\alpha$ ——量块的线膨胀系数为  $11.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ；

$\Delta t$ ——室温对参考温度 ( $20^\circ\text{C}$ ) 的偏差， $^\circ\text{C}$ ；

$\delta t$ ——引伸计标定器对量块的温度差，为  $0.5^\circ\text{C}$ ；

$\delta \alpha$ ——引伸计标定器对量块的线膨胀系数差，为  $2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

由于校准点的标称值很小，在校准条件下，上式第二项引入的不确定度分量可忽略不计。

直接法测量时标定器在某校准点的误差  $\Delta$  为

$$\Delta = \Delta A - (\Delta l - \Delta l_0) - l (\alpha \cdot \delta t + \Delta t \cdot \delta \alpha) \quad (\text{A.2})$$

式中： $\Delta A$ ——在某校准点时仪表的读数与初始值的偏差， $\mu\text{m}$ ；

$\Delta l$ ——在该校准点时所用量块按等检定的偏差， $\mu\text{m}$ ；

$\Delta l_0$ ——对准起始位置时所用量块按等检定的偏差， $\mu\text{m}$ ；

$l$ ——该校准点的标称值 ( $\mu\text{m}$ )，本例为  $300\mu\text{m}$  和  $400\mu\text{m}$ ；

其余同上。

在校准条件下，上式第三项引入的不确定度分量可忽略不计。

注：在本例中，若将温度变化引入的不确定度分量与其他各分量合成，发现它对合成标准不确定度贡献极小。故按微小分量处理，在以下的不确定度评定中不再考虑。

## A.2 方差和灵敏系数

各输入量彼此独立。依：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N [ |c_i| u(x_i) ]^2$$

A.2.1 用配对法时，由式 (A.1) 得：

$$u_c^2(\Delta) = \frac{1}{(n-1)^2} \left[ \sum_{i=1}^{n-1} u^2(A_i) + u^2(l_n) + u^2(l_1) \right]$$

由于  $l_n$  和  $l_1$  的尺寸相近，量块的测量不确定度值相同，所以，

$$\text{令 } u^2(l_n) = u^2(l_1) = u^2(l)$$

$$\text{则 } u_c^2(\Delta) = \frac{1}{(n-1)^2} \left[ \sum_{i=1}^{n-1} u^2(A_i) + 2u^2(l) \right] \quad (\text{A.3})$$

又因  $A_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n-1$ ) 的不确定度来源相同，设

$$u^2(A_i) = u^2(A_1) = u^2(A_2) = u^2(A_3) = \dots = u^2(A_{n-1})$$

所以

$$\sum_{i=1}^{n-1} u^2(A_i) = (n-1)u^2(A_i) \quad (\text{A.4})$$

式 (A.4) 代入式 (A.3)，得

$$u_c^2(\Delta) = \frac{1}{(n-1)} u^2(A_i) + \frac{2}{(n-1)^2} u^2(l) \quad (\text{A.5})$$

$$c_1 = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \quad c_2 = \frac{\sqrt{2}}{n-1}$$

$$\left[ \text{当 } n=4 \text{ (配 3 对) 时: } c_1 = \frac{1}{\sqrt{4-1}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \quad c_2 = \frac{\sqrt{2}}{4-1} = \frac{\sqrt{2}}{3} \right]$$

A.2.2 用直接法时，由式 (A.2) 得： $u_c^2(\Delta) = u^2(A) + u^2(l) + u^2(l_0)$

当校准点小于 1mm 时，由于  $l$  和  $l_0$  的尺寸相近，量块的测量不确定度值相同，所以，

$$\text{令 } u^2(l_0) = u^2(l)$$

$$\text{则 } u_c^2(\Delta) = u^2(A) + 2u^2(l) \quad (\text{A.6})$$

$$c_1 = 1 \quad c_2 = \sqrt{2}$$

## A.3 标准不确定度一览表

A 类标定器用 3 等量块以配对法 (配对量块总数  $n = 4$ ) 校准时，标准不确定度各分量见表 A.1。

表 A.1 A 类标定器在 0.1mm 校准点时示值误差不确定度评定一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 / $\mu\text{m}$	$c_i$	$ c_i  u(x_i) / \mu\text{m}$	概率分布	自由度
$u(l)$	量块的不确定度	0.039	$\frac{\sqrt{2}}{3}$	0.018	正态分布	$\infty$
$u(A)$	与读数有关的误差	0.076	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0.044		39

表 A.1 (续)

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $/\mu\text{m}$	$c_i$	$ c_i  u(x_i)/\mu\text{m}$	概率分布	自由度
$u_1(A)$	测量重复性	0.064			(A类评定)	20
$u_2(A)$	量化误差	0.041			均匀分布	$\infty$
$u_3(A)$	测量力变化	0.008			均匀分布	12
$u_c(\Delta) = 0.048\mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 56$ $k_{95} = 2.00$ $U_{95}(\Delta) = 0.10\mu\text{m}$						

对 B 类标定器用 3 等量块和扭簧比较仪用直接法校准时, 标准不确定度各分量见表 A.2。

表 A.2 B 类标定器在 0.3mm 和 0.4mm 校准点时示值误差标准不确定度评定一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $/\mu\text{m}$	$c_i$	$ c_i  u(x_i)/\mu\text{m}$	概率分布	自由度
$u(l)$	量块的不确定度	0.039	$\sqrt{2}$	0.055	正态分布	$\infty$
$u(A)$	与读数有关的误差	0.058	1	0.058		38
$u_3(A)$	测量力变化	0.029			均匀分布	12
$u_4(A)$	瞄准误差	0.041			三角分布	12
$u_5(A)$	示值变动性	0.029			均匀分布	$\infty$
$u_6(A)$	位置误差	0.006			投影分布	12
$u_c(\Delta) = 0.08\mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 137$ $k_{95} = 1.98$ $U_{95}(\Delta) = 0.16\mu\text{m}$						

#### A.4 计算分量标准不确定度

##### A.4.1 由量块的不确定度估算的分量 $u(l)$

若 0.1mm, 0.3mm 和 0.4mm 的校准点分别用 1mm, 1.1mm, 1.3mm 和 1.4mm 的 3 等量块, 则其中心长度测量的扩展不确定度  $U = (0.10 + 1l) \approx 0.10\mu\text{m}$ , 置信概率为 99% 正态分布时, 自由度  $\nu \rightarrow \infty$ , 包含因子  $k = 2.58$ , 不确定度估算的分量  $u(l)$  有:  $u(l) = 0.10/2.58 = 0.039\mu\text{m}$ 。

##### A.4.2 与读数有关的误差引入的分量 $u(A)$

###### A.4.2.1 由测量重复性估算的分量 $u_1(A)$

对 A 类标定器上所配置的电感测微仪校准时, 如 0.1mm 点, 在重复性条件下, 用配对使用的对零量块及校准(最后一块)量块连续测量 10 组(每组 3 次), 求出实验标准差  $s_p = 0.111\mu\text{m}$ 。在实际测量中只测一组, 其自由度  $\nu = 10 \times (3 - 1) = 20$ , 则标准不确定度分量  $u_1(A) = s_p/\sqrt{n} = 0.064\mu\text{m}$ 。

###### A.4.2.2 量化误差引入的分量 $u_2(A)$

数显仪表存在着量化误差带来的不确定度分量, 设分辨力为  $\delta_x$ , 则  $u(r) = 0.29\delta_x$ ; 数显电感测微仪在  $0.1\mu\text{m}$  挡时, 其分辨力  $\delta_x = 0.1\mu\text{m}$ , 用配对法每次校准某点时由于对零时和校准时两次影响读数, 故

$$u_2(A) = \sqrt{2}u(r) = 0.41\delta_x = 0.041\mu\text{m}$$

该分量均匀分布,  $\nu \rightarrow \infty$ 。

#### A.4.2.3 测量力变化引入的不确定度分量 $u_3(A)$

校准时测力变化产生对量块压陷量不同, 使测量结果出现误差, 用电感测微仪时, 该分量估计为  $0.014\mu\text{m}$ , 作均匀分布处理,

$$u_3(A) = \frac{0.014}{\sqrt{3}} = 0.008\mu\text{m}$$

按其可靠程度, 估计自由度  $\nu = 12$ 。

用扭簧比较仪时, 该分量估计为  $0.05\mu\text{m}$ , 作均匀分布处理,

$$u_3(A) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029\mu\text{m}$$

估计自由度同上。

#### A.4.2.4 微分筒瞄准误差引入的分量 $u_4(A)$

微分筒的分度值为  $0.2\mu\text{m}$ , 瞄准误差为  $0.1\mu\text{m}$ , 该量呈三角分布, 按其可靠程度, 估计自由度  $\nu = 12$ , 则不确定度引入的分量:

$$u_4(A) = \frac{0.1}{\sqrt{6}} = 0.041\mu\text{m}$$

#### A.4.2.5 仪表示值变动性引入的不确定度分量 $u_5(A)$

选用分度值为  $0.1\mu\text{m}$  的扭簧比较仪时, 其示值误差不超过  $0.15\mu\text{m}$ , 由该仪表的检定规程知其示值误差的三分之一为其示值变动性, 即  $0.05\mu\text{m}$ , 该量呈均匀分布, 自由度  $\nu \rightarrow \infty$ 。

其引入的分量  $u_5(A)$  估算为:

$$u_5(A) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029\mu\text{m}$$

#### A.4.2.6 仪表测头与量块测量面接触位置不正确引入的分量 $u_6(A)$

上、下心轴不同轴, 引起基准轴线与测量轴线的偏离。另外测量轴线与三珠工作台三珠接触点形成的定位面间垂直度最大为  $0.01\text{mm}$  (见附录 B 图 B.1), 放上量块时产生斜置误差。上述两项误差造成测头与量块测量面接触位置不正确, 该误差约为  $0.020\mu\text{m}$ 。设该量为投影分布, 包含因子  $k = 10/3$ , 则

$$u_6(A) = 0.02 \times 3/10 = 0.006\mu\text{m}$$

按其可靠程度, 估计自由度  $\nu = 12$ 。

注: 本例使用玛瑙工作台放置  $2\text{mm}$  以下量块时, 引起的斜置误差可忽略不计。

以上各项分量合成  $u(A)$ :

$$u^2(A) = \sum u_i^2(A)$$

对 A 类标器,  $0.1\text{mm}$  校准点的标准不确定度用绝对形式表示时 (见表 A.1): (用量块以配对法校准电感测微仪)  $u(A) = 0.076\mu\text{m}$

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{0.076^4}{\frac{0.064^4}{20} + \frac{0.041^4}{\infty} + \frac{0.008^4}{12}} \approx 39$$

对 B 类标器, 0.3mm 和 0.4mm 校准点的标准不确定度用绝对形式表示时 (见表 A.2): (用扭簧比较仪作指示器以量块校准微分筒)  $u(A) = 0.058\mu\text{m}$

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{0.058^4}{\frac{0.029^4}{12} + \frac{0.041^4}{12} + \frac{0.029^4}{\infty} + \frac{0.006^4}{12}} \approx 38$$

## A.5 合成标准不确定度

A.5.1 对 A 类标器校准时, 依式 (A.5), 得

$$u_c^2 = \frac{1}{3}u^2(A) + \frac{2}{9}u^2(l)$$

0.1mm 校准点:

$$u_c(\Delta) = \sqrt{\frac{1}{3} \times 0.076^2 + \frac{2}{9} \times 0.039^2} = 0.048 \mu\text{m}$$

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{0.048^4}{\frac{0.044^4}{39} + \frac{0.018^4}{\infty}} \approx 56$$

A.5.2 对 B 类标器 0.3mm 点校准时, 依式 (A.6):

$$u_c(\Delta) = \sqrt{0.058^2 + 2 \times 0.039^2} = 0.080 \mu\text{m}$$

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{0.080^4}{\frac{0.055^4}{\infty} + \frac{0.058^4}{38}} \approx 137$$

A.5.3 对 B 类标器 0.4mm 点校准时, 用相对不确定度的形式  $u_{\text{rel}}(y) = \frac{u_c(y)}{y}$  表示时:

$$u_{\text{rel}}(\delta) \approx \frac{u(\Delta)}{l} = \frac{0.08}{400} = 0.02\%$$

其有效自由度  $\nu_{\text{eff}}$  同 A.5.2

## A.6 扩展不确定度

A.6.1 对 A 类标器, 0.1mm 校准点:  $U_{95} = t_{95}(56) u_c(\Delta) = 2.00 \times 0.048\mu\text{m} = 0.10\mu\text{m}$

A.6.2 对 B 类标器, 0.3mm 校准点:  $U_{95} = t_{95}(137) u_c(\Delta) = 1.98 \times 0.08\mu\text{m} = 0.16\mu\text{m}$ ;

0.4mm 校准点:  $U_{95} = t_{95}(137) u_{\text{rel}}(\delta) = 1.98 \times 0.02\% = 0.04\%$

## A.7 表示形式

引伸计标器示值误差的扩展不确定度:

对 A 类标器 0.1mm 点校准时, 测量结果的扩展不确定度  $U_{95} = 0.10\mu\text{m}$  [由合成标准不确定度  $u_c(y) = 0.048\mu\text{m}$ , 置信概率  $p = 95\%$ , 包含因子  $k = 2.00$  所得];

对 B 类标器 0.3mm 点校准时, 测量结果的扩展不确定度  $U_{95} = 0.16\mu\text{m}$  [由合成标准不确定度  $u_c(y) = 0.08\mu\text{m}$ , 置信概率  $p = 95\%$ , 包含因子  $k = 1.98$  所得];

对 B 类标器 0.4mm 点校准时, 测量结果的扩展不确定度  $U_{95} = 0.04\%$  [由合成标准不确定度  $u_c(y) = 0.02\%$ , 置信概率  $p = 95\%$ , 包含因子  $k = 1.98$  所得]。

注: 也可直接取  $k = 2$ , 不必计算自由度。



## 附录 B

## 校准引伸计标定器的专用工作台

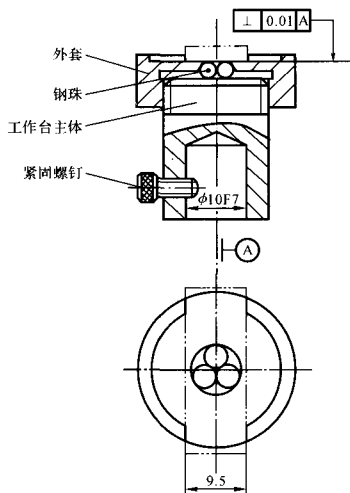


图 B.1 三珠工作台

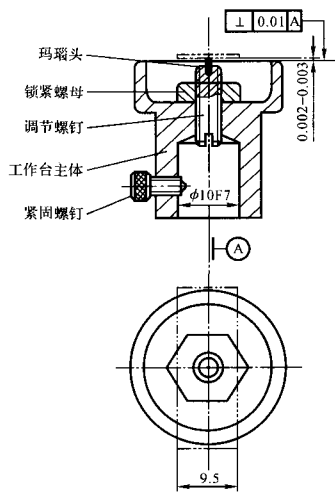


图 B.2 玛瑙工作台

## 附录 C

## 校准证书的内容

校准证书应至少包括以下信息：

- 1 标题：“校准证书”；
  - 2 实验室名称和地址；
  - 3 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
  - 4 送校单位的名称和地址；
  - 5 被校对象的描述和明确标识；
  - 6 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；
  - 7 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；
  - 8 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
  - 9 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
  - 10 校准环境的描述；
  - 11 校准结果及其测量不确定度的说明；
  - 12 校准证书签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
  - 13 校准结果仅对被校对象有效的声明；
  - 14 未经实验室书面批准，不得部分复印证书或报告的声明；
  - 15 建议下次校准日期。
-