



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1078—2002

---

## 光学测角比较仪校准规范

Calibration Specification for Optical Comparators for Angle Measurement

2002 - 04 - 15 发布

2002 - 07 - 01 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 光学测角比较仪校准规范

Calibration Specification for  
Optical Comparators for  
Angle Measurement

JJF 1078—2002  
代替 JJG 203—1980

---

本规范经国家质量监督检验检疫总局于2002年04月15日批准，并自2002年07月01日起施行。

归口单位：全国几何量角度计量技术委员会

起草单位：湖南省计量测试技术研究所

本规范由归口单位负责解释

**本规范主要起草人：**

肖小平 （湖南省计量测试技术研究所）

鲍 唯 （湖南省计量测试技术研究所）

www.scr.com.cn

## 目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(1)
4.1 外观	(1)
4.2 仪器光轴与工作台垂直度	(2)
4.3 测微装置回程差	(2)
4.4 测微鼓轮刻线与标尺刻线相符性	(2)
4.5 测微装置读数的示值变动性	(2)
4.6 工作台平面度	(2)
4.7 示值误差	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 校准用标准器及其他仪器设备	(2)
6 校准项目及校准方法	(2)
6.1 外观	(2)
6.2 仪器光轴与工作台的垂直度	(2)
6.3 测微装置回程差	(2)
6.4 测微鼓轮刻线与标尺刻线的相符性	(2)
6.5 测微装置读数的示值变动性	(2)
6.6 工作台的平面度	(3)
6.7 示值误差	(3)
7 校准结果的表达	(4)
8 复校时间间隔	(4)
附录 A 计算实例	(5)
附录 B 光学测角比较仪示值误差测量不确定度评定	(7)
附录 C 校准证书(内页)格式及内容	(16)

# 光学测角比较仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于光学测角比较仪的校准。

## 2 引用文献

本规范引用以下文献：

JJF1001—1998 通用计量术语及定义

JJF1059—1999 测量不确定度评定与表示

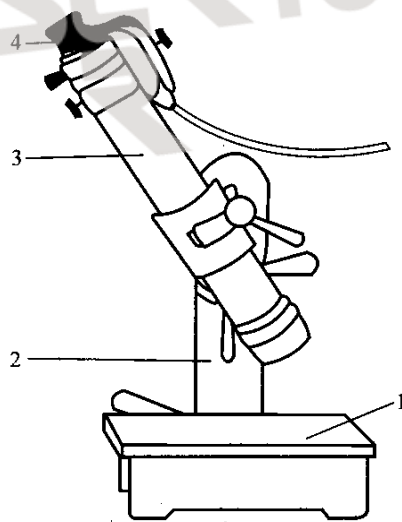
JB/26266—1992 光学测角比较仪基本参数

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

光学测角比较仪可通过与标准件或角度块的比较来测量金属和光学零件的角度，以及小角度的直接测量，也可测量导轨的直线性、零部件的平行度和垂直度。


光学测角比较仪可分为不带测微装置和带测微装置两种。



1—工作台 2—立臂 3—自准直光管 4—目镜

## 4 计量特性

### 4.1 外观

新制的光学测角比较仪应有制造厂名或商标、型号、出厂编号及  标志。

在视场内，成像应清晰，亮度均匀；反射标尺与固定标尺（不带测微装置）、反射标尺与指标线（带测微装置）间无明显视差；指标线与标尺刻线应无目视之倾斜。

#### 4.2 仪器光轴与工作台垂直度

当支架处于与工作台垂直位置时，调整光管位置，能使反射标尺在视场中央。

#### 4.3 测微装置回程差

不大于 0.5"。

#### 4.4 测微鼓轮刻线与标尺刻线相符性

不大于 0.5"。

#### 4.5 测微装置读数的示值变动性

不大于 0.5"。

#### 4.6 工作台平面度

不大于 0.004mm，工作台不允许呈凹形。

#### 4.7 示值误差

##### 4.7.1 在 60' 范围内不大于 6"。

##### 4.7.2 带测微装置的在 1' 范围内不大于 1"。

### 5 校准条件

#### 5.1 环境条件

##### 5.1.1 校准时，室内温度应为 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，温度变化每小时不超过 $1^\circ\text{C}$ 。

##### 5.1.2 校准前，被校仪器和校准工具在室内平衡温度的时间应不少于 4h。

#### 5.2 校准用标准器及其他仪器设备

一级或三等量块、小角度检查仪、300mm 0 级刀口形直尺。

### 6 校准项目及校准方法

#### 6.1 外观

目力观察和试验。

#### 6.2 仪器光轴与工作台的垂直度

目力观察和试验。

#### 6.3 测微装置回程差

转动测微鼓轮，使指标线正 反向瞄准标尺同一刻线进行读数，重复 5 次，正、反向瞄准的读数差的平均值即为回程差。此项目应在测微鼓轮的首、尾和中间 3 个位置进行，取最大值作为校准结果。

#### 6.4 测微鼓轮刻线与标尺刻线的相符性

将测微鼓轮对零，调整光管，使指标线瞄准反射标尺一条刻线，然后转动鼓轮，使指标线瞄准反射标尺相邻的一条刻线，读取鼓轮上示值，重复进行 3 次，取平均值，该平均值与反射标尺的分度值差值即为测微鼓轮刻线与反射标尺刻线的相符性。应在反射标尺的 3 个位置上进行，取最大值作为校准结果。

#### 6.5 测微装置读数的示值变动性

用测微装置单向瞄准反射标尺的同一刻线并读数，共瞄准读数 6 次，以各次读数的最大差值作为校准结果。

## 6.6 工作台的平面度

在工作台两对角线和纵、横向中心线 4 个方向上，用刀口形直尺和量块以标准光隙法测量，取最大值作为其平面度。

## 6.7 示值误差

在小角度检查仪上用一级或三等量块和测量不确定度不低于光学计的指示计进行校准。

将被校仪器置于小角度检查仪的一侧（两者须在同一基体上）。在小角度检查仪的一端工作台上放置反射镜，使其反射面垂直于两指示计测量轴线的垂直连线；调整被校仪器，使通过反射镜反射回来的像落在视场中央，并旋转小角度检查仪工作台升降微动螺钉，使反射标尺在全范围内不产生水平方向的偏移。

### 6.7.1 带测微装置光学测角比较仪的校准

#### 6.7.1.1 测微装置的校准

用三等量块进行校准。

将被校仪器鼓轮置于零位附近，在小角度检查仪两指示计下分别放置 1mm 的量块，调整两指示计示值处于零位。再调整光学测角比较仪，使指标线瞄准任一反射标尺刻线，进行首次读数。然后在一指示计下依次放置尺寸为 1.03mm, 1.06mm, 1.09mm, 1.12mm, 1.14mm 的量块，借助于小角度检查仪工作台升降微动螺钉，使两指示计示值处于零位，并在仪器内依次进行瞄准，每点读数 3 次。校准在正、反两个方向上进行，取其平均值作为校准点的读数；各校准点读数相对起始点读数差与标准角的差值即为校准点的误差。仪器测微装置的示值误差取各校准点误差中最大值与最小值之差为校准结果。所用量块尺寸与相对应的标准角关系及计算实例见附录 A1。

标准角  $\theta$  (") 按下式计算：

$$\theta = \frac{L_2 - L_1}{500} \rho \quad (1)$$

式中： $L_1$ ——起始点量块实际尺寸，mm；

$L_2$ ——校准点量块实际尺寸，mm；

$\rho$ ——换算系数，取 206 265。

#### 6.7.1.2 反射标尺的校准

用一级或三等量块进行校准。

在小角度检查仪两指示计下分别放置 1mm 的量块，使两指示计示值处于零位。调整光学测角比较仪和反射镜，使被校仪器双刻线处于标尺的 0' 刻线附近，旋转测微鼓轮，两次瞄准、读数；然后在一指示计下依次放置尺寸为 2.5mm, 4mm, 5.5mm, 7mm, 8.5mm, 9.5mm 的量块，借助于小角度检查仪工作台升降微动螺钉，使两指示计示值处于零位，在仪器内依次瞄准标尺对应刻线，并读数，各校准点进行 2 次瞄准、读数。取其平均值作为各校准点的读数，各校准点读数相对起始点读数差与标准角的差值即为该校准点的误差。仪器反射标尺的示值误差取各校准点误差中最大值与最小值之差为校准

结果。所用量块尺寸与相对应的标准角关系及计算实例见附录 A2。

### 6.7.2 不带测微装置的光学测角比较仪的校准

用一级或三等量块进行校准。

采用被校仪器瞄准，小角度检查仪指示计读数的方法进行。在指示计下分别放置 1mm 的量块，使两指示计示值处于零位，同时调整光学测角比较仪和反射镜，使被校仪器标尺处于 0'，借助小角度检查仪工作台升降螺钉，依次使被校仪器处于所需校准点的位置。各校准点光学计管读数的对应标准值（单位为  $\mu\text{m}$ ）按下式计算：

$$\Delta L = (L_2 - L_1) - 500 \times \theta / 206\ 265 \quad (2)$$

式中： $L_2$ ——该校准点量块尺寸，mm；

$L_1$ ——起始点量块尺寸，mm；

$\theta$ ——该校准点角度值，(″)。

保持一指示计示值于零位，另一指示计下依次放置尺寸为 2.5mm，4.0mm，5.5mm，7.0mm，8.5mm，9.5mm 的量块，并进行读数。

重复测量 2 次，各校准点 2 次读数的平均值与其对应的标准值之差即为该校准点的误差。

被校仪器的示值误差  $\Delta\delta$  (单位为 (″)) 可按下式计算：

$$\Delta\delta = \frac{\Delta}{500} \cdot \rho \quad (3)$$

式中： $\Delta$ ——各校准点误差的最大值与最小值之差，mm。

所用量块尺寸与相对应的标准角关系及计算实例见附录 A3。

不带测微装置测量范围为 40' 的光学测角比较仪的校准，方法同上，所用量块尺寸分别为 1mm，2.5mm，4mm，5.5mm，6.5mm。

## 7 校准结果的表达

校准后的光学测角比较仪，填发校准证书，给出校准结果及示值误差的测量不确定度。

## 8 复校时间间隔

建议一般不超过 2 年。



## 附录 A

## 计算实例

## A1 测微装置示值误差计算实例

量块尺寸 /mm	量块偏差 / $\mu\text{m}$	被校仪器读数/ (")							校准点相对起始点的 读数差 / (")	标准角 / (")	校准点的 误差 / (")
		正			反			平均值			
		1	2	3	1	2	3				
1.00	+0.06	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
1.03	-0.03	12.7	12.5	12.5	12.3	12.3	12.4	12.4	12.5	12.3	+0.2
1.06	+0.02	25.0	24.9	24.9	24.7	24.8	24.7	24.8	24.9	24.7	+0.2
1.09	+0.04	36.8	36.7	36.7	36.9	36.9	36.9	36.8	36.9	37.1	-0.2
1.12	0.00	49.0	49.2	49.1	49.4	49.2	49.3	49.2	49.3	49.5	-0.2
1.14	-0.02	56.9	57.0	56.8	57.2	57.1	57.2	57.0	57.1	57.7	-0.6
测微装置示值误差					$+0.2'' - (-0.6'') = 0.8''$						

## A2 带测微装置的仪器标尺示值误差计算实例

量块尺寸 /mm	被校仪器读数			校准点相对起始点的 读数差	标准角	校准点的 误差 / (")
	1	2	平均			
1	0'01.1"	0'01.2"	0'01.2"	0'00.0"	0'00.0"	0.0
2.5	10'17.2"	10'17.3"	10'17.2"	10'16.0"	10'18.8"	-2.8
4.0	20'34.9"	20'34.5"	20'34.7"	20'33.5"	20'37.6"	-4.1
5.5	30'52.6"	30'52.9"	30'52.8"	30'51.6"	30'56.4"	-4.8
7.0	41'13.6"	41'13.1"	41'13.4"	41'12.2"	41'15.2"	-3.0
8.5	51'29.8"	51'30.1"	51'30.0"	51'28.8"	51'34.0"	-5.2
9.5	58'23.0"	58'22.5"	58'22.8"	58'21.6"	58'26.5"	-4.9
仪器标尺示值误差			$0.0'' - (-5.2'') = 5.2''$			

A3 不带测微装置的仪器标尺示值误差计算实例

量块尺寸 /mm	校准点示 值/ (′)	指示计读数/ $\mu\text{m}$			校准点相对 起始点的读 数差	各校准点对 应标准值 / $\mu\text{m}$	各校准 点误差 / $\mu\text{m}$
		1	2	平均			
1.0	0	0.0	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0
2.5	10	+42.3	+42.5	+42.4	+42.5	+45.6	-3.1
4.0	21	-58.7	-60.1	-59.4	-59.3	-54.3	-5.0
5.5	31	-14.5	-14.0	-14.2	-14.1	-8.8	-5.3
7.0	41	+29.4	+31.1	+30.2	+30.3	+36.8	-6.5
8.5	51	+71.6	+72.2	+71.9	+72.0	+82.4	-10.4
9.5	59	-91.5	-92.2	-91.8	-91.7	-81.2	-10.5
仪器示值误差		$\Delta\delta = \frac{[0.0 - (-10.5)] \times 10^{-3}}{500} \times 206\,265 = 4.3''$					

## 附录 B

## 光学测角比较仪示值误差测量不确定度评定

(指示计采用光学计管)

## B1 不带测微装置

## B1.1 数学模型

$$\Delta\delta = \frac{\Delta_{\max} - \Delta_{\min}}{H} \rho + \Delta\theta \quad (1)$$

式中： $\Delta\delta$ ——被校仪器的示值误差，(″)； $\Delta_{\max}$ ——各校准点误差的最大值，mm； $\Delta_{\min}$ ——各校准点误差的最小值，mm； $H$ ——两光学计测量轴线间距，mm； $\rho$ ——系数，取 206 265； $\Delta\theta$ ——小角度检查仪原理误差，(″)。

## B1.2 方差及传播系数

由 (1) 式得

$$u_c^2 = c_1^2 u^2(\Delta_{\max}) + c_2^2 u^2(\Delta_{\min}) + c_3^2 u^2(H) + c_4^2 u^2(\Delta\theta) \quad (2)$$

$$c_1 = \frac{\rho}{H} = 412.53 \text{ (″) / mm}; \quad c_2 = -\frac{\rho}{H} = -412.53 \text{ (″) / mm};$$

$$c_3 = -\frac{\Delta_{\max} - \Delta_{\min}}{H^2} \rho; \quad c_4 = 1;$$

仪器示值误差小于 6″，则各校准点误差最大与最小值一般不大于 14.5μm，故  $c_3 = -0.012″/\text{mm}$ 。

由于不确定度来源相同，有：

$$u^2(\Delta_{\max}) = u^2(\Delta_{\min}) = u^2(\Delta); \quad (3)$$

$$u_c^2 = c_\Delta^2 u^2(\Delta) + c_H^2 u^2(H) + c_{\Delta\theta}^2 u^2(\Delta\theta)$$

$$c_\Delta = \sqrt{2} c_1 = 583.41″/\text{mm}; \quad c_H = c_3 = -0.012″/\text{mm}; \quad c_{\Delta\theta} = 1。$$

## B1.3 标准不确定度分量一览表 (见表 B1)

## B1.4 标准不确定度评定

B1.4.1 两光学计测头间的相对升降高度的不确定度分量  $u(\Delta)$ ：B1.4.1.1 量块中心长度的不确定度分量  $u_1(\Delta)$ ：

小于 10mm 一级量块中心长度偏差在  $\pm 0.2\mu\text{m}$  之间，在其半宽区域内呈两点分布。每一校准点的对零量块和读数量块均有影响，影响两次，则

$$u_1(\Delta) = 0.2 \times \sqrt{2} = 0.283\mu\text{m} = 0.000\ 283\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 10%， $\nu_1(\Delta) = 50$ 。B1.4.1.2 光学计对线误差引起的不确定度  $u_2(\Delta)$ ：

光学计分度值为 1μm，对线误差为 1/20 分度，即  $\pm 0.05\mu\text{m}$ ，影响 2 次，该量为均匀

表 B1 标准不确定度分量一览表

$u(X_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	$c_i = \frac{\partial f}{\partial X_i}$	$ c_i  u(X_i)$	自由度
$u(\Delta)$	测量高度	0.001 032mm	583.41"/mm	0.602"	15
$u_1(\Delta)$	量块中心长度	0.000 283mm			50
$u_2(\Delta)$	对线误差	0.000 035mm			18
$u_3(\Delta)$	估读误差	0.000 041mm			12
$u_4(\Delta)$	示值误差	0.000 144mm			50
$u_5(\Delta)$	瞄准误差	0.000 980mm			12
$u(H)$	两光学计测量轴线间距	0.058mm	-0.012"/mm	0.001"	50
$u(\Delta\theta)$	小角度检查仪原理误差	0.366"	1	0.366"	50

分布,重复测量 2 次,则

$$u_2(\Delta) = \frac{0.05 \times \sqrt{3}}{\sqrt{3} \times \sqrt{2}} = 0.000\ 035\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 15%, 故  $\nu_2(\Delta) = 18$ 。

#### B1.4.1.3 光学计估读误差引起的不确定度 $u_3(\Delta)$ :

光学计分度值为  $1\mu\text{m}$ , 可估读到  $0.1\mu\text{m}$ , 在其半宽为  $0.1\mu\text{m}$  区域内均匀分布, 重复测量 2 次取平均值, 故

$$u_3(\Delta) = 0.1/(\sqrt{3} \times \sqrt{2}) = 0.041\mu\text{m} = 0.000\ 041\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 20%, 故  $\nu_3(\Delta) = 12$ 。

#### B1.4.1.4 光学计示值误差引起的不确定度分量 $u_4(\Delta)$ :

由于在校准过程中须用到光学计  $\pm 100\mu\text{m}$  范围, 其示值误差  $\pm 0.25\mu\text{m}$  在半宽区域内呈均匀分布, 故

$$u_4(\Delta) = 0.25/\sqrt{3} = 0.144\mu\text{m} = 0.000\ 144\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 10%, 故  $\nu_4(\Delta) = 50$ 。

#### B1.4.1.5 被校仪器瞄准误差引起的标准不确定度分量 $u_5(\Delta)$

光学测角比较仪校准时用亮线套暗线, 可近似视为双线套单线。由于人眼的分辨力是有限的, 由此引起的瞄准误差可由以下经验公式计算 (观察条件系数  $\gamma$  取 1.0; 仪器目镜视觉放大倍率大于  $10\times$ ; 人眼明视距离最小分辨力角为  $\rho = \pm 10''$ ):

$$\Delta\alpha = \frac{\gamma \times \rho}{V} = \pm 1.0''$$

瞄准误差引起的对应两光学计测头间相对升降高度变化为

$$\Delta L = H \times \Delta\alpha / 206\,265 = \pm 0.002\,4\text{mm}$$

在半宽区域内为均匀分布，且取两次读数的平均值，故

$$u_5(\Delta) = 0.002\,4 / (\sqrt{2} \times \sqrt{3}) = 0.000\,980\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 20%， $\nu_5(\Delta) = 12$ 。

以上 5 项合成得

$$u(\Delta) = 0.001\,032\text{mm}$$

$$\nu(\Delta) = 15$$

#### B1.4.2 两光学计测量轴线间距引起的标准不确定度分量 $u(H)$

依据 JJG300—1982《小角度检查仪》要求，两光学计测量中心距允许偏差为  $\pm 0.05\text{mm}$ ；轴线平行度为  $\pm 0.02\text{mm}$ ；而光学计测帽球心与套孔轴线重合性为  $\pm 0.06\text{mm}$ ，由于有两个光学计，故应为  $\sqrt{2} \times (\pm 0.06\text{mm}) = \pm 0.08\text{mm}$ 。以上 3 项合成为  $0.10\text{mm}$ ，且呈均匀分布，故

$$u(H) = 0.10 / \sqrt{3} = 0.058\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 10%， $\nu(H) = 50$ 。

#### B1.4.3 由于测量范围较大，达到 $1^\circ$ ，故小角度检查仪存在原理误差：

$$\begin{aligned} u(\Delta\theta) &= \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} - \arctan \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} \\ &= \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} - \left\{ \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} - \left[ \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} \right]^3 / 3 \right. \\ &\quad \left. + \left[ \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} \right]^5 / 5 - \left[ \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} \right]^7 / 7 + \dots \right\} \\ &\approx \left[ \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} \right]^3 / 3 \end{aligned}$$

小角度检查仪产生  $1^\circ$  角度时，量块的差值应为  $8.73\text{mm}$ ， $H = 500\text{mm}$ ，故

$$u(\Delta\theta) = 1.77 \times 10^{-6} \text{rad} = 0.366''$$

估计其相对不确定度为 10%， $\nu_{\Delta\theta} = 50$ 。

#### B1.5 合成标准不确定度

$$\begin{aligned} u_c^2 &= c_\Delta^2 u^2(\Delta) + c_H^2 u^2(H) + c_{\Delta\theta}^2 u^2(\Delta\theta) \\ &= 0.602^2 + 0.001^2 + 0.366^2 \\ &= 0.496\,361 \end{aligned}$$

$$u_c = 0.71''$$

有效自由度  $\nu_{\text{eff}} = 27$

#### B1.6 扩展不确定度

取  $p = 95\%$ ， $t_{95}(\nu_{\text{eff}}) = 2.05$

$$U = t_{95}(27) \quad u_c = 2.05 \times 0.71 = 1.5''$$

### B2 带测微装置

#### B2.1 测微装置

## B2.1.1 数学模型

$$\Delta\delta = \Delta_{\max} - \Delta_{\min} \quad (1)$$

式中： $\Delta\delta$ ——被校仪器的示值误差，（"）；

$\Delta_{\max}$ ——各受校点误差的最大值，（"）；

$\Delta_{\min}$ ——各受校点误差的最小值，（"）。

又：

$$\Delta_{\max} = \theta_1 - \frac{L_1 - L_0}{H} \rho \quad (2)$$

$$\Delta_{\min} = \theta_2 - \frac{L_2 - L_0}{H} \rho \quad (3)$$

$\theta_1$ ——各受校点误差最大值所对应的测量角值，（"）；

$\theta_2$ ——各受校点误差最小值所对应的测量角值，（"）；

$L_1$ ——各受校点误差最大值所对应的量块尺寸，mm；

$L_2$ ——各受校点误差最小值所对应的量块尺寸，mm；

$L_0$ ——各受校点对零量块尺寸，mm；

$H$ ——两光学计测量轴线间距， $H = 500\text{mm}$ ；

$\rho$ ——系数，取 206 265。

故：

$$\Delta\delta = (\theta_1 - \theta_2) - \frac{L_1 - L_2}{H} \rho \quad (4)$$

## B2.1.2 方差及传播系数

由（4）式得

$$u_c^2 = c_1^2 u^2(\theta_1) + c_2^2 u^2(\theta_2) + c_3^2 u^2(L_1) + c_4^2 u^2(L_2) + c_5^2 u^2(H) \quad (5)$$

$$c_1 = 1; \quad c_2 = -1;$$

$$c_3 = -\frac{\rho}{H} = -412.53''/\text{mm}; \quad c_4 = \frac{\rho}{H} = 412.53''/\text{mm};$$

$$c_5 = \frac{L_1 - L_2}{H^2} \times \rho = 0.12''/\text{mm}$$

当小角度检查仪产生 1' 角度时， $L_1 - L_2 = (1.14 - 1) \text{mm}$ 。

由于不确定度来源相同，有：

$$u^2(\theta_1) = u^2(\theta_2) = u^2(\theta); \quad u^2(L_1) = u^2(L_2) = u^2(L);$$

$$u_c^2 = c_\theta^2 u^2(\theta) + c_L^2 u^2(L) + c_H^2 u^2(H) \quad (6)$$

$$c_\theta = \sqrt{2}; \quad c_L = \sqrt{2} c_3 = -583.41''/\text{mm}; \quad c_H = c_5 = 0.12''/\text{mm}$$

## B2.1.3 标准不确定度分量一览表（见表 B2）

## B2.1.4 标准不确定度评定

1) 两光学计测头间的相对升降高度的不确定度分量  $u(L)$ ：

a) 量块中心长度的不确定度分量  $u_1(L)$ ：

10mm 三等量块中心长度扩展不确定度为  $0.11\mu\text{m}$ ，置信概率为 99%，自由度为 29， $k = 2.76$ 。每一校准点对零量块和读数量块均有影响，影响 2 次，则

$$u_1(L) = 0.11 \times \sqrt{2}/2.76 = 0.056\mu\text{m} = 0.000\ 056\text{mm}$$

$$\nu_1(L) = 29$$

表 B2 标准不确定度分量一览表

$u(X_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	$c_i = \frac{\partial f}{\partial X_i}$	$ c_i u(X_i)$	自由度
$u(L)$	两光学计测头间 相对升降高度	0.000 081mm	-583.41"/mm	0.047"	44
$u_1(L)$	量块中心长度	0.000 056mm			29
$u_2(L)$	光学计对线误差	0.000 058mm			18
$u(H)$	两光学计测量 轴线间距	0.058mm	0.12"/mm	0.007"	50
$u(\theta)$	测微装置读数示 值变动性	0.081"	1.414	0.115"	4.5

b) 两光学计对线误差引起的不确定度  $u_2(L)$ ：

光学计分度值为  $1\mu\text{m}$ ，对线误差为 1/20 分度，即  $\pm 0.05\mu\text{m}$ ，影响 4 次，该量为均匀分布，则

$$u_2(L) = \frac{0.05 \times \sqrt{4}}{\sqrt{3}} = 0.000\ 058\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 15%，故  $\nu_2(L) = 18$

以上两项合成得  $u(L) = \sqrt{u_1^2(L) + u_2^2(L)}$

$$= 0.000\ 081\text{mm}$$

$$\nu(L) = 44$$

2) 两光学计测量轴线间距引起的标准不确定度分量  $u(H)$

依据 JJG300—1982《小角度检查仪》要求，两光学计中心距允许偏差为  $\pm 0.05\text{mm}$ ；轴线平行度为  $\pm 0.02\text{mm}$ ；而光学计测帽球心与套孔轴线重合性为  $\pm 0.06\text{mm}$ ，由于有两处光学计，故应为  $\sqrt{2} \times (\pm 0.06\text{mm}) = \pm 0.08\text{mm}$ 。以上三项合成为  $0.10\text{mm}$ ，且呈均匀分布，故

$$u(H) = 0.10/\sqrt{3} = 0.058\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 10%， $\nu(H) = 50$

3) 被校仪器的测量值引起的标准不确定度分量  $u(\theta)$

按规范要求，测微装置读数的示值变动性不大于  $0.5''$ ，即 6 次测量的极差  $R$  不大于  $0.5''$ ，其单次测量实验标准差可近似评定为：

$$s = 0.5''/2.53 = 0.198''$$

取 6 次读数的平均值，故

$$u(\theta) = s/\sqrt{6} = 0.081''$$

$$\nu(\theta) = 4.5$$

4) 小角度检查仪进行校准时，存在原理误差  
该项不确定度很小，可忽略不计。

#### B2.1.5 合成标准不确定度

$$\begin{aligned} u_c^2 &= c_\theta^2 u^2(\theta) + c_L^2 u^2(L) + c_H^2 u^2(H) \\ &= 0.047^2 + 0.007^2 + 0.115^2 \\ &= 0.015483 \end{aligned}$$

$$u_c = 0.13''$$

有效自由度  $\nu_{\text{eff}} = 6.1$

#### B2.1.6 扩展不确定度

取  $p = 95\%$ ， $t_{95}(\nu_{\text{eff}}) = 2.44$

$$U = t_{95}(6.1) u_c = 2.44 \times 0.13 = 0.32''$$

### B2.2 反射标尺

#### B2.2.1 数学模型

$$\Delta\delta = \Delta_{\text{max}} - \Delta_{\text{min}} + \Delta\theta \quad (7)$$

式中： $\Delta\delta$ ——被校仪器的示值误差，(″)；  
 $\Delta_{\text{max}}$ ——各校准点误差的最大值，(″)；  
 $\Delta_{\text{min}}$ ——各校准点误差的最小值，(″)；  
 $\Delta\theta$ ——小角度检查仪原理误差，(″)。

又：

$$\Delta_{\text{max}} = \theta_1 - \frac{L_1 - L_0}{H} \times \rho \quad (8)$$

$$\Delta_{\text{min}} = \theta_2 - \frac{L_2 - L_0}{H} \times \rho \quad (9)$$

$\theta_1$ ——各校准点误差最大值所对应的测量角值，(″)；

$\theta_2$ ——各校准点误差最小值所对应的测量角值，(″)；

$L_1$ ——各校准点误差最大值所对应的量块尺寸，mm；

$L_2$ ——各校准点误差最小值所对应的量块尺寸，mm；

$L_0$ ——各校准点对零量块尺寸，mm；

$H$ ——两光学计测量轴线间距， $H = 500\text{mm}$ ；

$\rho$ ——系数，为 206265。

故：

$$\Delta\delta = (\theta_1 - \theta_2) - \frac{L_1 - L_2}{H} \times \rho + \Delta\theta \quad (10)$$



## B2.2.2 方差及传播系数

由 (7) 式得

$$u_c^2 = c_1^2 u^2(\theta_1) + c_2^2 u^2(\theta_2) + c_3^2 u^2(L_1) + c_4^2 u^2(L_2) + c_5^2 u^2(H) + c_6^2 u^2(\Delta\theta) \quad (11)$$

$$c_1 = 1; c_2 = -1;$$

$$c_3 = -\frac{\rho}{H} = -412.53''/\text{mm}; c_4 = \frac{\rho}{H} = 412.53''/\text{mm};$$

$$c_5 = \frac{L_1 - L_2}{H^2} \times \rho = 7.2''/\text{mm}; c_6 = 1。$$

当小角度检查仪产生 60' 角度时,  $L_1 - L_2 = 8.73\text{mm}$ 。

由于不确定度来源相同, 有:

$$u^2(\theta_1) = u^2(\theta_2) = u^2(\theta); u^2(L_1) = u^2(L_2) = u^2(L);$$

$$u_c^2 = c_\theta^2 u^2(\theta) + c_L^2 u^2(L) + c_H^2 u^2(H) + c_{\Delta\theta}^2 u^2(\Delta\theta) \quad (12)$$

$$c_\theta = \sqrt{2}; c_L = \sqrt{2}c_3 = -583.41''/\text{mm}; c_H = c_5 = 7.2''/\text{mm}; c_6 = c_{\Delta\theta} = 1$$

## B2.2.3 标准不确定度分量一览表 (见表 B3)

表 B3 标准不确定度分量一览表

$u(X_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	$c_i = \frac{\partial f}{\partial X_i}$	$ c_i  u(X_i)$	自由度
$u(L)$	两光学计测头间 相对升降高度	0.000 289mm	-583.41''/mm	0.169''	54
$u_1(L)$	量块中心长度	0.000 283mm			50
$u_2(L)$	光学计对线误差	0.000 058mm			18
$u(H)$	两光学计测量轴 线间距	0.058mm	7.2''/mm	0.418''	50
$u(\theta)$	测微装置读数示 值变动性	0.081''	1.414	0.115''	4.5
$u(\Delta\theta)$	小角度检查仪原 理误差	0.366''	1	0.366''	50

## B2.2.4 标准不确定度评定

B2.2.4.1 两光学计测头间的相对升降高度的不确定度分量  $u(L)$ :

1) 量块中心长度的不确定度分量  $u_1(L)$ :

小于 10mm 一级量块中心长度偏差在  $\pm 0.2\mu\text{m}$  之间, 在其半宽区域内呈两点分布。每一校准点的对零量块和读数量块均有影响, 影响 2 次, 则

$$u_1(\Delta) = 0.2 \times \sqrt{2} = 0.283\mu\text{m} = 0.000 283\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 10%， $\nu_1(\Delta) = 50$

2) 两光学计对线误差引起的不确定度  $u_2(L)$ :

光学计分度值为  $1\mu\text{m}$ ，对线误差为  $1/20$  分度，即  $\pm 0.05\mu\text{m}$ ，影响 4 次，该量为均匀分布，则

$$u_2(L) = \frac{0.05 \times \sqrt{4}}{\sqrt{3}} = 0.000\ 058\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 15%，故  $\nu_2(L) = 18$

$$\begin{aligned} \text{以上两项合成得: } u(L) &= \sqrt{u_1^2(L) + u_2^2(L)} \\ &= 0.000\ 289\text{mm} \end{aligned}$$

$$\nu(L) = 54$$

B2.2.4.2 两光学计测量轴线间距引起的标准不确定度分量  $u(H)$

依据 JJG300—1982《小角度检查仪》要求，两光学计中心距允许偏差为  $\pm 0.05\text{mm}$ ；轴线平行度为  $\pm 0.02\text{mm}$ ；而光学计测帽球心与套孔轴线重合性为  $\pm 0.06\text{mm}$ ，由于有两个光学计，故应为  $\sqrt{2} \times (\pm 0.06\text{mm}) = \pm 0.08\text{mm}$ 。以上 3 项合成为  $0.10\text{mm}$ ，且呈均匀分布，故

$$u(H) = 0.10/\sqrt{3} = 0.058\text{mm}$$

估计其相对不确定度为 10%， $\nu(H) = 50$

B2.2.4.3 被校仪器的测量值引起的标准不确定度分量  $u(\theta)$

按规范要求，测微装置读数的示值变动性不大于  $0.5''$ ，即 6 次测量的极差  $R$  不大于  $0.5''$ ，其单次测量实验标准差可近似评定为

$$s = 0.5''/2.53 = 0.198''$$

取 6 次读数的平均值，故

$$u(\theta) = s/\sqrt{6} = 0.081''$$

$$\nu(\theta) = 4.5$$

B2.2.4.4 由于测量范围较大，达到  $1^\circ$ ，故小角度检查仪存在原理误差：

$$\begin{aligned} u(\Delta\theta) &= \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} - \arctan \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} \\ &= \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} - \left\{ \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} - \left[ \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} \right]^3/3 \right. \\ &\quad \left. + \left[ \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} \right]^5/5 - \left[ \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} \right]^7/7 + \dots \right\} \\ &\approx \left[ \frac{(l_2 + a) - l_1}{H} \right]^3/3 \end{aligned}$$

小角度检查仪产生  $1^\circ$  角度时，量块的差值应为  $8.73\text{mm}$ ， $H = 500\text{mm}$ ，故

$$u(\Delta\theta) = 1.77 \times 10^{-6} \text{rad} = 0.366''$$

估计其相对不确定度为 10%， $\nu_{\Delta\theta} = 50$

B2.2.5 合成标准不确定度

$$\begin{aligned}u_c^2 &= c_\theta^2 u^2(\theta) + c_L^2 u^2(L) + c_H^2 u^2(H) + c_{\Delta\theta}^2 u^2(\Delta\theta) \\ &= 0.169^2 + 0.418^2 + 0.115^2 + 0.366^2 \\ &= 0.350\ 466\end{aligned}$$

$$u_c = 0.59''$$

有效自由度  $\nu_{\text{eff}} = 120$

#### B2.2.6 扩展不确定度

取  $p = 95\%$ ,  $t_{95}(\nu_{\text{eff}}) = 1.98$

$$U = t_{95}(120) u_c = 1.98 \times 0.59 = 1.2''$$

www.scr.com.cn

## 附录 C

## 校准证书（内页）格式及内容

校准依据及代号：

校准标准名称：

校准地点：

标准有效期：

证书编号：

温度：

℃

湿度：

%RH

共 页 第 页

校准项目名称	结果
1 外观	
2 仪器光轴与工作台的垂直度	
3 测微装置回程差	
4 测微鼓轮刻线与标尺刻线相符性	
5 测微装置读数的示值变动性	
6 工作台的平面度	
7 示值误差	

示值误差测量不确定度为：

注：证书只对被校仪器有效。未经校准单位批准，不得部分复印。

校准单位：

电话：

地 址：

传真：