

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1915—2021

倾角仪校准规范

Calibration Specification for Clinometers

2021-07-28 发布

2022-01-28 实施

国家市场监督管理总局 发布

倾角仪校准规范

Calibration Specification for Clinometers

JJF 1915—2021
代替 JJF 1119—2004
JJF 1083—2002

归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

参加起草单位：中国计量科学研究院

常州市计量测试技术研究所

本规范由全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

刘兴荣（北京市计量检测科学研究院）

王志超（北京市计量检测科学研究院）

张漫山（北京市计量检测科学研究院）

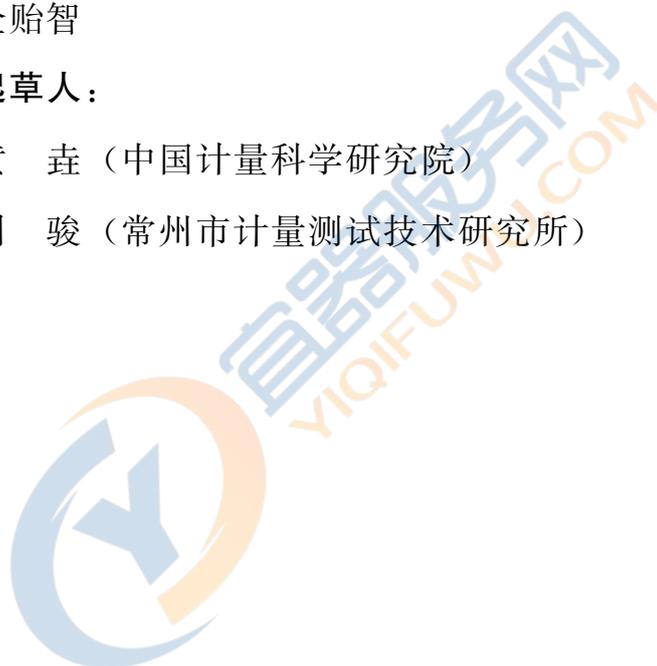
王 雪（北京市计量检测科学研究院）

全贻智

参加起草人：

黄 垚（中国计量科学研究院）

周 骏（常州市计量测试技术研究所）



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 概述	(1)
3 计量特性	(2)
3.1 多工作面电子数显倾角仪工作面间的平行度	(2)
3.2 多工作面电子数显倾角仪工作面间的垂直度	(2)
3.3 零值误差	(2)
3.4 零值误差一致性	(2)
3.5 示值误差	(2)
3.6 电子数显倾角仪测角示值重复性	(2)
4 校准条件	(2)
4.1 环境条件	(2)
4.2 校准用的标准器及其他设备	(2)
5 校准项目和校准方法	(3)
5.1 多工作面电子数显倾角仪工作面间的平行度	(3)
5.2 多工作面电子数显倾角仪工作面间的垂直度	(3)
5.3 零值误差	(4)
5.4 零值误差一致性	(4)
5.5 示值误差	(4)
5.6 电子数显倾角仪测角示值重复性	(4)
6 校准结果	(5)
7 复校时间间隔	(5)
附录 A 专用夹具	(6)
附录 B 示值误差测量结果不确定度评定示例	(7)

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范，本规范在制定中参考了JB/T 11104—2011《电子数显倾角尺》、JB/T 9344—1999《光学倾斜仪》、JG 142—2002《建筑用电子水平尺》、SJ/T 11276—2002《数字式角度测量仪规范》。

本规范代替JJF 1119—2004《电子水平尺校准规范》和JJF 1083—2002《光学倾斜仪校准规范》，与JJF 1119—2004和JJF 1083—2002相比，主要技术变化如下：

——扩大了规范的适用范围，增加了Ⅱ型矩形电子数显倾角仪、Ⅲ型方盒电子数显倾角仪的相关项目；

——将电子水平尺归入Ⅰ型条式电子数显倾角仪类型中；

——增加了多工作面电子数显倾角仪工作面间的平行度；

——增加了多工作面电子数显倾角仪工作面间的垂直度；

——增加了光学倾斜仪示值误差测量结果不确定度评定；

——修订了电子数显倾角仪零值误差的校准方法描述；

——修订了倾角仪示值误差校准方法的描述及计算；

——修订了电子数显倾角仪重复性校准方法的描述及计算；

——对电子数显倾角仪示值误差测量结果不确定度进行了重新评定；

——删除了JJF 1083—2002中使用十二面棱体和自准直仪进行示值误差校准的方法；

——删除了JJF 1119—2004计量性能要求中的回程误差项目；

——删除了JJF 1119—2004中附录B示值误差、测角重复性、回程误差计算实例；

——删除了JJF 1083—2002中附录A光学倾斜仪最大示值误差计算实例。

JJF 1083—2002的历次版本发布情况为：

——JJF 1083—2002；

——JJG 104—1986。

JJF 1119—2004的历次版本发布情况为：

——JJF 1119—2004。

倾角仪校准规范

1 范围

本规范适用于电子数显倾角仪和光学倾斜仪的校准。

2 概述

倾角仪是用于测量被测对象相对于水平面的倾斜角或两被测对象之间夹角的仪器，包括采用电子倾角传感器的电子数显倾角仪和机械倾角测量机构的光学倾斜仪。倾角仪广泛应用于机械、汽车、铁路、建筑、水利等相关行业。

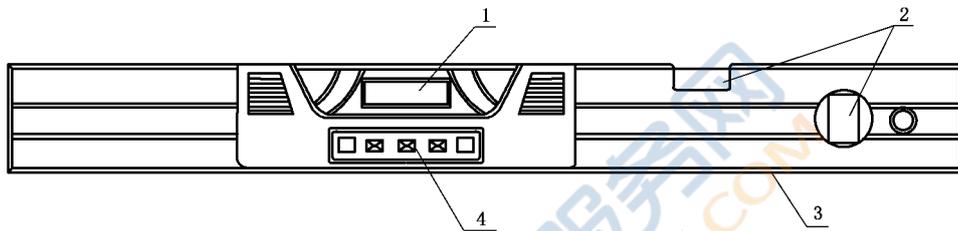


图1 I型条式电子数显倾角仪

1—显示屏；2—水准泡；3—工作面；4—功能键

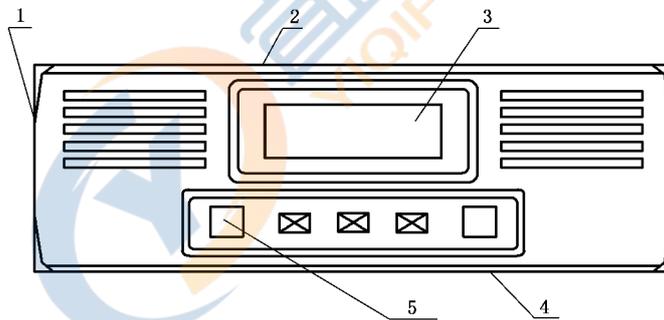


图2 II型矩形电子数显倾角仪

1—侧工作面；2—上工作面；3—显示屏；4—底工作面；5—功能键

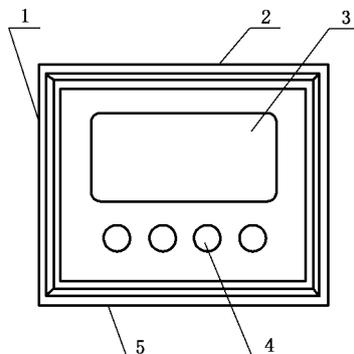


图3 III型方盒电子数显倾角仪

1—侧工作面；2—上工作面；3—显示屏；4—功能键；5—底工作面

电子数显倾角仪的型式分为Ⅰ型条式电子数显倾角仪（见图1）、Ⅱ型矩形电子数显倾角仪（见图2）、Ⅲ型方盒电子数显倾角仪（见图3）。其中，Ⅱ型矩形电子数显倾角仪和Ⅲ型方盒电子数显倾角仪为多工作面型数显倾角仪。

光学倾斜仪如图4所示。

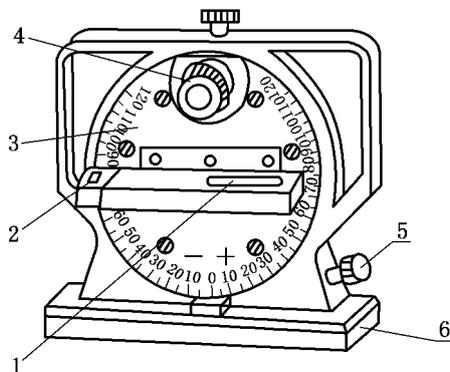


图4 光学倾斜仪

1—纵向水准器；2—横向水准器；3—金属度盘；4—读数显微镜；5—微调手轮；6—底板

3 计量特性

3.1 多工作面电子数显倾角仪工作面间的平行度

3.2 多工作面电子数显倾角仪工作面间的垂直度

3.3 零值误差

3.4 零值误差一致性

3.5 示值误差

3.6 电子数显倾角仪测角示值重复性

当需要进行符合性评定时，由生产商或用户规定最大允许误差，各计量特性应不大于生产商或用户规定的最大允许误差。

4 校准条件

4.1 环境条件

温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，温度变化每小时不超过 1°C 。

校准前，被校准仪器和校准标准器在室内平衡温度的时间不小于 2 h。

4.2 校准用的标准器及其他设备

推荐使用表1所列校准用的标准器及其他设备，允许使用满足不确定度要求的其他测量标准及其他设备进行校准。

表1 校准用标准器及其他设备

序号	校准项目	标准器和其他设备
1	工作面间的平行度	平板：0级，千分表：MPE $5\ \mu\text{m}$
2	工作面间的垂直度	平板：0级，方形角尺：0级，量块：4等
3	零值误差	平板：0级，圆柱检验棒：直线度 $0.001\ \text{mm}$

表 1 (续)

序号	校准项目	标准器和其他设备
4	零值误差一致性	平板：0 级，圆柱检验棒：直线度 0.001 mm
5	示值误差	分度头：分度值小于 5"
6	示值重复性	

5 校准项目和校准方法

5.1 多工作面电子数显倾角仪工作面间的平行度

将电子数显倾角仪置于 0 级平板上，用打表法测量上工作面的读数，测量示意如图 5 所示。在全测量范围内最大读数与最小读数之差即为上下两工作面间的平行度误差。

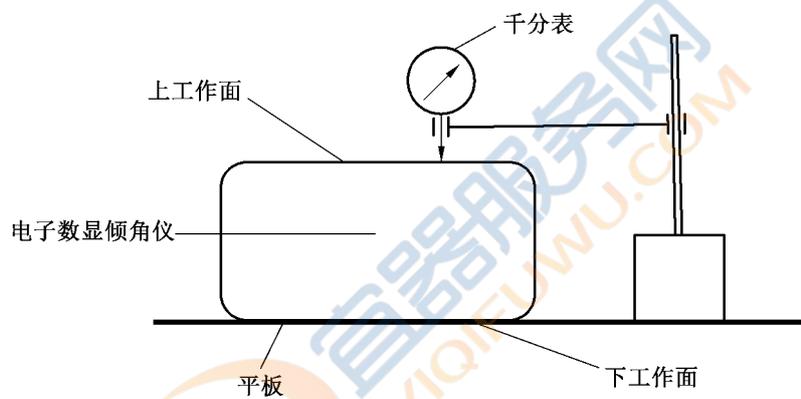


图 5 平行度校准示意

5.2 多工作面电子数显倾角仪工作面间的垂直度

将电子数显倾角仪与方形角尺同时置于 0 级平板上，在方形角尺与电子数显倾角仪侧工作面之间试塞 4 等量块，测量示意如图 6 所示。在全部测量范围内，可塞入量块尺寸的最大差值即为电子数显倾角仪侧工作面与底工作面间的垂直度误差。

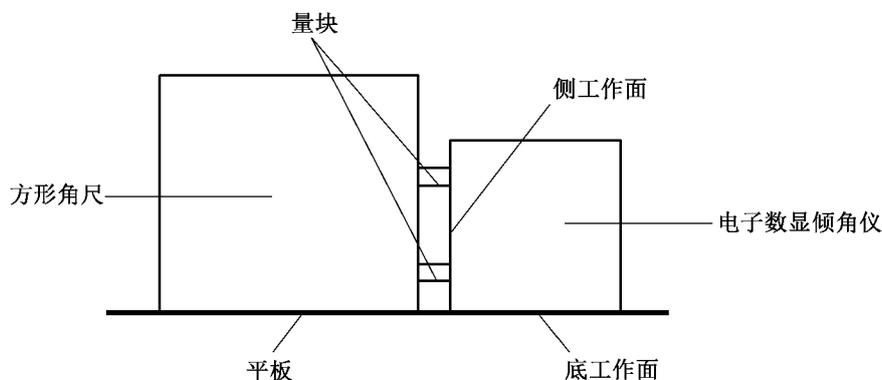


图 6 垂直度校准示意

5.3 零值误差

将倾角仪置于已调平的 0 级平板上，读取倾角仪的读数，然后将其在原位上调转 180° 读取另一个读数，两次读数之和的一半即为其零值误差。

将倾角仪 V 型槽工作面置于已调平的圆柱检验棒上，读取倾角仪的读数，然后将其在原位上调转 180° 读取另一个读数，两次读数之和的一半即为以 V 型槽工作面为基准的零值误差。

带零位自校功能的电子数显倾角仪不校准此项。

5.4 零值误差一致性

以底板平工作面为基准时的零值误差与以底板 V 型槽工作面为基准时的零值误差代数差的绝对值为零位一致性。

5.5 示值误差

5.5.1 电子数显倾角仪示值误差

在测量范围内均匀选取 3~6 个角度值进行校准，其中应至少包含一个非整数角度值。用专用夹具将电子数显倾角仪固定在分度头上，调整分度头，使电子数显倾角仪显示值为零，此时分度头上显示的角度值即为起始读数。再转动分度头，转动角（相对于起始点）分别为选取的标准角度值，记录电子数显倾角仪在各校准点的读数，正、反向各校准一次，各校准点正、反向的示值误差按公式（1）计算，取正、反向示值误差的平均值为该校准点的示值误差。

$$\Delta\alpha_i = \alpha_i - \alpha_s \quad (1)$$

式中：

$\Delta\alpha_i$ ——各校准点正、反向的示值误差值；

α_i ——电子数显倾角仪第 i 个校准点的读数值；

α_s ——分度头对应于各校准点的转动角。

5.5.2 光学倾斜仪的示值误差

在测量范围内均匀选取 3~6 个角度值进行校准，其中应至少包含一个非整数角度值。用专用检具将光学倾斜仪固定在光学分度头上，将光学倾斜仪调至零位，转动光学分度头使其纵向水准气泡居中，在光学分度头上读取起始读数。再转动分度头，转动角（相对于起始读数）分别为选取的标准角度值，每次转动光学分度头后调整光学倾斜仪使仪器纵向水准气泡居中并读取倾斜仪的读数。正、反向各校准一次，各校准点正、反向的示值误差按公式（2）计算，取正、反向示值误差的平均值为该校准点的示值误差。

$$\Delta\beta_i = \beta_i - \beta_s \quad (2)$$

式中：

$\Delta\beta_i$ ——各校准点正、反向的示值误差值；

β_i ——光学倾斜仪第 i 个校准点的读数值；

β_s ——分度头对应于各校准点的转动角。

5.6 电子数显倾角仪测角示值重复性

将电子数显倾角仪用专用夹具固定在分度头上，调整分度头，使电子数显倾角仪显示值为零，此时分度头上显示的角度值即为起始读数。再转动分度头，转动角（相对于

起始读数)为仪器测量范围 1/2 处,对同一校准点重复测量 5 次,用极差法按公式 (3) 计算重复性。

$$s = (\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) / 2.33 \quad (3)$$

式中:

s ——电子数显倾角仪的测角重复性;

α_{\max} ——电子数显倾角仪最大示值;

α_{\min} ——电子数显倾角仪最小示值。

6 校准结果

经校准后的倾角仪,应填发校准证书,校准证书应符合 JJF 1071—2010 中 5.12 的要求,并应给出各校准项目的测量结果。

当用户要求时,可以根据用户提供的计量特性最大允许误差进行符合性判定,并将结论列入校准证书。

7 复校时间间隔

根据被校倾角仪的使用情况自行确定复校时间间隔,建议一般为 1 年。

附录 A

专用夹具

应用光学分度头校准计量特性的专用夹具示意图 A.1。

单位为毫米

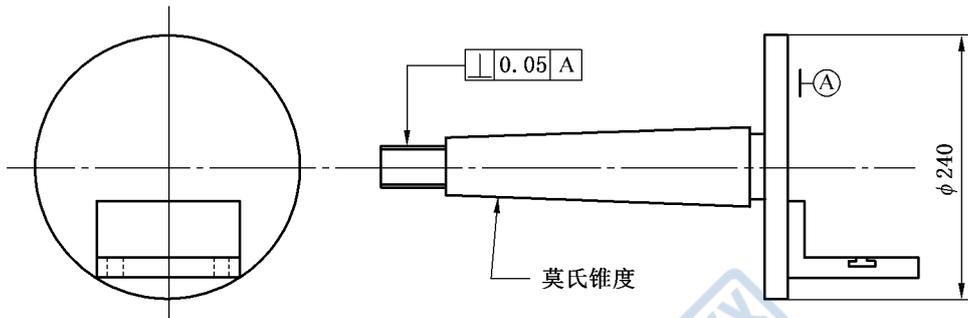


图 A.1 专用夹具示意图

附录 B

示值误差测量结果不确定度评定示例

B.1 电子数显倾角仪示值误差校准结果的测量不确定度评定

B.1.1 被测对象

分辨力为 0.01° 的电子数显倾角仪，根据 JB/T 11104—2011 《电子数显倾角尺》中规定 MPE: $\pm 0.02^\circ$ 。

环境条件: $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 80%，平衡温度时间不小于 2 h。

标准器: 分度值为 $2''$ 的分度头。

校准方法: 依据 5.5 中的规定。

B.1.2 测量模型

$$\Delta\alpha_i = \alpha_i - \alpha_s \quad (\text{B.1})$$

式中:

$\Delta\alpha_i$ ——各校准点正、反向的示值误差值;

α_i ——电子数显倾角仪第 i 个校准点的读数;

α_s ——分度头对应于各校准点的转动角。

B.1.3 合成标准不确定度及灵敏系数

输出量的合成标准不确定度为:

$$u_c^2(\Delta\alpha_i) = c_1^2 u^2(\alpha_i) + c_2^2 u^2(\alpha_s) \quad (\text{B.2})$$

其中:

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta\alpha_i)}{\partial(\alpha_i)} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial(\Delta\alpha_i)}{\partial(\alpha_s)} = -1$$

则

$$u_c(\Delta\alpha_i) = \sqrt{u^2(\alpha_i) + u^2(\alpha_s)} \quad (\text{B.3})$$

B.1.4 不确定度分量的评定

B.1.4.1 输入量 α_i 引入的标准不确定度 $u(\alpha_i)$

输入量 α_i 的不确定度来源主要是电子数显倾角仪的重复性引入的不确定度 $u(\alpha_i)$ 。

按本规范中规定的示值误差的校准方法，对电子数显倾角仪 45° 校准点，在重复性条件下进行 10 次独立测量，得到测量列 44.96° 、 44.96° 、 44.96° 、 44.97° 、 44.97° 、 44.96° 、 44.96° 、 44.97° 、 44.97° 、 44.96° 。

采用贝塞尔公式得到试验标准差，用 10 次独立测得值的算术平均值结果的实验标准差表示测量的标准不确定度:

$$s(\alpha_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{n-1}} = 0.005 2^\circ$$

$$u(\alpha_i) = \frac{s(\alpha_i)}{\sqrt{10}} = 0.0016^\circ$$

分辨力为 0.01° 的电子数显倾角仪读数时的量化误差以等概率出现在半宽 $a = 0.01^\circ/2$ 的区间内，故分辨力引入的标准不确定度 $u(\alpha_{i1})$ 为：

$$u(\alpha_{i1}) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0.01^\circ/2}{\sqrt{3}} = 0.0029^\circ$$

由此可见，分辨力引入的不确定度分量大于测量重复性引入的不确定度分量，因此以分辨力引入的不确定度分量作为分析结果。

$$u(\alpha_i) = u(\alpha_{i1}) = 0.0029^\circ$$

B.1.4.2 标准器引入的标准不确定度 $u(\alpha_s)$

标准器引入的不确定度主要包括光学分度头示值误差引入的标准不确定度和光学分度头的分辨力引入的标准不确定度。

B.1.4.2.1 光学分度头示值引入的标准不确定度 $u(\alpha_{s1})$

由光学分度头证书可知，分度值为 $2''$ 的光学分度头最大允许误差为 $\pm 4''$ 。因此由光学分度头分度值引入的标准不确定度可能值的区间半宽度为 $4''$ ，及 $a = 0.0011^\circ$ ，设在区间内服从均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。标准不确定度 $u(\alpha_{s1})$ 为：

$$u(\alpha_{s1}) = \frac{0.0011^\circ}{\sqrt{3}} = 0.0006^\circ$$

B.1.4.2.2 光学分度头分辨力引入的不确定度分量 $u(\alpha_{s2})$

光学分度头的分辨力 δ_x 为 $1.0''$ ，区间半宽度为 $a = \delta_x/2$ ，假设可能值在区间内为均匀分布，查表得 $k = \sqrt{3}$ ，因此由光学分度头分辨力引入的标准不确定度 $u(\alpha_{s2})$ 为：

$$u(\alpha_{s2}) = \frac{a}{k} = \frac{\delta_x}{2\sqrt{3}} = 0.29\delta_x = 0.00008^\circ$$

以上两项标准不确定度合成：

$$u(\alpha_s) = \sqrt{u^2(\alpha_{s1}) + u^2(\alpha_{s2})} = \sqrt{(0.0006^\circ)^2 + (0.00008^\circ)^2} = 0.0006^\circ$$

B.1.4.3 安装误差估算的不确定度分量 u_D

电子数显倾角仪用专用夹具安装在光学分度头上时，要求电子数显倾角仪的工作面垂直于光学分度头的轴线，但实际操作有偏差引起测角误差，一般最大变化不超过 0.002° ，区间半宽度为 $a = 0.001^\circ$ ，假设可能值在区间内为矩形分布，查表得 $k = \sqrt{3}$ ，因此安装误差引入的标准不确定度 u_D 为：

$$u_D = \frac{a}{k} = \frac{0.001^\circ}{\sqrt{3}} = 0.0006^\circ$$

B.1.5 标准不确定度分量汇总表

数显倾角测量仪校准时标准不确定度分量汇总见表 B.1。

表 B.1 数显倾角测量仪校准时标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	不确定度分量的值	灵敏系数	标准不确定度分量的值
$u(\alpha_i)$	输入量 α_i 引入的标准不确定度	0.002 9°	1	0.002 9°
$u(\alpha_s)$	标准器引入的标准不确定度	0.000 6°	1	0.000 6°
$u(\alpha_{s1})$	分度头示值误差	0.000 6°	1	0.000 6°
$u(\alpha_{s2})$	分度头分辨力	0.000 08°	1	0.000 08°
u_D	安装误差	0.000 6°	1	0.000 6°
$u_c = 0.003 2^\circ$ 扩展不确定度: $U = 0.006^\circ$ ($k=2$)				

B.1.6 合成标准不确定度

合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u^2(\alpha_i) + u^2(\alpha_s) + u_D^2} = 0.003 0^\circ$$

B.1.7 扩展不确定度

扩展不确定度由合成标准不确定度 $u_c(\Delta\alpha_i)$ 乘以包含因子 k 得到, 取包含因子 $k=2$ 。

$$U = k u_c = 2 \times 0.003 0^\circ = 0.006^\circ \quad (k=2)$$

B.2 光学倾斜仪示值误差校准结果的测量不确定度评定

B.2.1 被测对象

分辨力为 $1'$ 的光学倾斜仪, 根据 JB/T 9344—1999 《光学倾斜仪》中规定 MPE: $\pm 20''$ 。

环境条件: $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, 相对湿度不大于 80%, 平衡温度时间不小于 2 h。

标准器: 分度值为 $2''$ 的分度头。

校准方法: 依据 5.5 中的规定。

B.2.2 测量模型

$$\Delta\beta_i = \beta_i - \beta_s \quad (\text{B.3})$$

式中:

$\Delta\beta_i$ ——各校准点正、反向的示值误差值;

β_i ——光学倾斜仪第 i 个校准点的读数值;

β_s ——分度头对应于各校准点的转动角。

B.2.3 方差及灵敏系数

输出量的合成方差为:

$$u_c^2(\Delta\beta_i) = c_1^2 u^2(\beta_i) + c_2^2 u^2(\beta_s) \quad (\text{B.4})$$

其中:

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta\beta_i)}{\partial(\beta_i)} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial (\Delta\beta_i)}{\partial (\beta_s)} = -1$$

则

$$u_c(\Delta\beta_i) = \sqrt{u^2(\beta_i) + u^2(\beta_s)} \quad (\text{B.5})$$

B.2.4 不确定度分量的评定

B.2.4.1 输入量 β_i 引入的标准不确定度 $u(\beta_i)$

输入量 x_i 的不确定度来源主要是光学倾斜仪的测量重复性引入的不确定度 $u(\beta_i)$ 。

按本规范中规定的示值误差的校准方法，对光学倾斜仪 45° 校准点，在重复性条件下进行 5 次独立测量，得到测量列 $45^\circ 00' 06''$ 、 $45^\circ 00' 06''$ 、 $45^\circ 00' 12''$ 、 $45^\circ 00' 12''$ 、 $45^\circ 00' 12''$ 。

采用极差法得到试验标准差，用两次测量结果的实验标准差表示测量的标准不确定度：

$$s(\beta_i) = \frac{\beta_{\max} - \beta_{\min}}{2.33} = \frac{45^\circ 00' 12'' - 45^\circ 00' 06''}{2.33} = 2.6''$$

$$u(\beta_i) = \frac{s(\beta_i)}{\sqrt{2}} = 1.8''$$

B.2.4.2 标准器引入的标准不确定度 $u(\beta_s)$

标准器引入的不确定度主要包括光学分度头示值误差引入的标准不确定度和光学分度头引入的标准不确定度。

B.2.4.2.1 光学分度头示值引入的标准不确定度 $u(\beta_{s1})$

由光学分度头证书可知，分度值为 $2''$ 的光学分度头最大允许误差为 $\pm 4''$ 。因此由光学分度头分度值引入的标准不确定度可能值的区间半宽度为 $2''$ ，设在区间内服从均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。标准不确定度 $u(\beta_{s1})$ 为：

$$u(\beta_{s1}) = \frac{4}{\sqrt{3}} = 2.3''$$

B.2.4.2.2 光学分度头分辨力引入的不确定度分量 $u(\beta_{s2})$

光学分度头的分辨力 δ_x 为 $2''$ ，区间半宽度为 $a = \delta_x/2$ ，假设可能值在区间内为均匀分布，查表得 $k = \sqrt{3}$ ，因此由光学分度头分辨力引入的标准不确定度 $u(\beta_{s2})$ 为：

$$u(\beta_{s2}) = \frac{a}{k} = \frac{\delta_x}{2\sqrt{3}} = 0.29\delta_x = 0.6''$$

以上两项标准不确定度合成：

$$u(\beta_s) = \sqrt{u^2(\beta_{s1}) + u^2(\beta_{s2})} = \sqrt{(2.3'')^2 + (0.6'')^2} = 2.4''$$

B.2.4.3 安装误差估算引入的不确定度分量 u_D

光学倾斜仪用专用夹具安装在光学分度头上时，要求光学倾斜仪的工作面垂直于光学分度头的轴线，但实际操作有偏差引起测角误差，一般最大变化不超过 $6''$ ，区间半宽度为 $a = 3''$ ，假设可能值在区间内为矩形分布，查表得 $k = \sqrt{3}$ ，因此安装误差引入的标准不确定度 u_D 为：

$$u_D = \frac{a}{k} = \frac{3''}{\sqrt{3}} = 1.7''$$

B.2.5 标准不确定度分量汇总表

光学倾斜仪校准时标准不确定度汇总见表 B.2。

表 B.2 光学倾斜仪校准时标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	不确定度分量的值	灵敏系数	标准不确定度分量的值
$u(\beta_i)$	输入量 β_i 引入的标准不确定度	1.8''	1	1.8''
$u(\beta_s)$	标准器引入的标准不确定度	2.4''	1	2.4''
$u(\beta_{s1})$	分度头示值误差	2.3''	1	2.3''
$u(\beta_{s2})$	分度头分辨力	0.6''	1	0.6''
u_D	安装误差	1.7''	1	1.7''
$u_c = 3.4''$ 扩展不确定度: $U = 6.8''$ ($k=2$)				

B.2.6 合成标准不确定度

合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u^2(\beta_i) + u^2(\beta_s) + u_D^2} = 3.4''$$

B.2.7 扩展不确定度

扩展不确定度由合成标准不确定度 $u_c(\delta_i)$ 乘以包含因子 k 得到, 取包含因子 $k=2$, 则:

$$U = k u_c = 2 \times 3.4'' = 6.8'' \quad (k=2)$$