



福建省地方计量技术规范

JJF (闽) 1063—2014

体视显微镜校准规范

Calibration Specification for Stereomicroscope

2014-07-15 发布

2014-10-15 实施

福建省质量技术监督局 发布

体视显微镜校准规范

Calibration Specification for
Stereomicroscope

JJF (闽) 1063—2014

本规范经福建省质量技术监督局 2014 年 07 月 15 日批准，并自 2014 年 10 月 15 日起实施。

归口单位：福建省质量技术监督局

主要起草单位：厦门市计量检定测试院

参加起草单位：福建省计量科学研究院

麦克奥迪实业集团有限公司

本规范由厦门市计量检定测试院负责解释。

本规范主要起草人：

邓水发 (厦门市计量检定测试院)

郑伟峰 (厦门市计量检定测试院)

鄢周灵 (厦门市计量检定测试院)

参加起草人：

刘 震 (福建省计量科学研究院)

肖 倩 (麦克奥迪实业集团有限公司)

目 录

引言	(III)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
3.1 变倍齐焦差	(1)
3.2 左右齐焦差	(1)
3.3 变倍齐中差	(1)
3.4 左右齐中差	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 成像清晰范围	(2)
5.2 变倍齐焦差	(2)
5.3 左右齐焦差	(2)
5.4 变倍齐中差	(3)
5.5 左右齐中差	(3)
5.6 分辨力	(3)
5.7 物镜放大倍率误差	(3)
5.8 左右光学系统放大倍率差	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.1.1 温湿度条件	(3)
6.1.2 其它条件	(3)
6.2 校准项目及主要测量设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 成像清晰范围	(4)
7.2 变倍齐焦差	(5)
7.3 左右齐焦差	(5)
7.4 变倍齐中差	(6)
7.5 左右齐中差	(6)
7.6 分辨力	(6)

7.7 物镜放大倍率误差·····	(7)
7.8 左右光学系统放大倍率差·····	(7)
8 校准结果表达·····	(8)
9 复校时间间隔·····	(8)
附录 A 栅格状分辨率板线宽表·····	(9)
附录 B 校准记录(式样)·····	(10)
附录 C 校准证书内容及内页格式·····	(11)
附录 D 物镜放大倍率误差的校准结果测量不确定度评定·····	(12)

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》共同构成支撑本校准规范的基础性系列技术文件。

本规范参照 GB/T 19863—2005《体视显微镜试验方法》、GB/T 19864.1—2005《体视显微镜（第1部分：普及型体视显微镜）》、GB/T 19864.2—2005《体视显微镜（第2部分：高性能体视显微镜）》制定。

体视显微镜校准规范

1 范围

本规范适用于普及型体视显微镜和高性能体视显微镜的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 19863—2005 体视显微镜试验方法

GB/T 19864.1—2005 体视显微镜（第1部分：普及型体视显微镜）

GB/T 19864.2—2005 体视显微镜（第2部分：高性能体视显微镜）

GB/T 22059—2008/ISO 8039：1997 显微镜 放大率

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

GB/T 19864.1—2005、GB/T 19864.2—2005、GB/T 22059—2008/ISO 8039：1997 中界定的以及下列术语和定义适用于本规范。

3.1 变倍齐焦差

变换物镜倍数时，由于像面的位移导致成像不清晰而需要重新调焦的位移。

注：在国标中称为“齐焦”。

3.2 左右齐焦差

在固定倍率情况下，左右光学系统不同焦面位置差异。

注：国标中称为“左右光学系统的聚焦差”。

3.3 变倍齐中差

变倍时像平面的横向位移。

3.4 左右齐中差

物面中央物点的像在左右视场内对应位置的一致性。

4 概述

体视显微镜是通过光学系统将微小物体所成的像放大后，由双目显微镜中两组同样的成像光路，获得具有立体感觉的清晰图像，用于观察物体的表面形貌及组织结构，并利用分划板上的刻度尺测量物体的几何尺寸。

体视显微镜按结构形式可分为连续变倍型、有级变换型、物镜卸换型三种，按照技术性能可分为普及型与高性能两种。

图 1 为一种常见的体视显微镜的外形图。



图 1 体视显微镜的外形图

1—目镜；2—视度调节圈；3—目镜筒；4—变倍手轮；5—弹性压片；6—载物台；7—底座；8—棱镜罩；9—电源线；10—立柱；11—调焦滑座；12—调焦手轮；13—光源；14—物镜；15—亮度调节旋钮。

5 计量特性

5.1 成像清晰范围

体视显微镜视场成像清晰范围应满足表 1 中的要求：

表 1 成像清晰范围

普及型	高性能
上下方向 $\geq 60\%$ ，左右方向 $\geq 50\%$ 。	上下方向 $\geq 70\%$ ，左右方向 $\geq 60\%$ 。

5.2 变倍齐焦差

体视显微镜变换不同放大倍率物镜时，变倍齐焦差一般不大于 0.6mm。

5.3 左右齐焦差

目镜光学系统的左右齐焦差一般不大于 $1.5D_F$ 。 D_F 按照下式计算：

$$D_F = \frac{\lambda}{2 \times (NA)^2} + \frac{1}{7 \times NA \times M} \quad (1)$$

式(1)中:

D_F — 景深;

NA — 数值孔径;

M — 总放大率;

λ — 光波波长, 通常 $\lambda=0.00055\text{mm}$ 。

5.4 变倍齐中差

体视显微镜使用不同放大倍率物镜时, 变倍齐中差应符合表 2 中的要求。

表 2 变倍齐中差技术指标

(单位: mm)

类型	普及型	高性能
连续变倍型	—	≤ 0.4
有级变换型	≤ 1.2	
物镜卸换型	≤ 2.5	

5.5 左右齐中差

左右光学系统的左右齐中差应符合以下要求:

上下方向: 一般不大于 0.2mm; 左右方向: 一般不大于 0.4mm。

5.6 分辨力

物镜分辨力一般不小于 $1200 \cdot NA$ 。

5.7 物镜放大倍率误差

物镜放大倍率误差应符合以下要求:

普及型体视显微镜: 一般不超过 $\pm 5\%$; 高性能体视显微镜: 一般不超过 $\pm 4\%$ 。

5.8 左右光学系统放大倍率差

光学系统的左右放大倍率差应符合以下要求:

普及型: 一般不大于 2%; 高性能: 一般不大于 1.5%。

注: 校准不对测量结果作合格与否的判断, 以上技术指标供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温湿度条件: 校准室内温度为 $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$, 相对湿度不大于 85%。

6.1.2 其它条件: 校准室内应无影响测量的灰尘、振动、气流和腐蚀性气体。

6.2 校准项目及主要测量设备

校准项目及主要测量设备见表 3。

表 3 校准项目及主要测量设备

序号	校准项目	主要测量设备
1	成像清晰范围	分度值 0.2mm、0.5mm 的网格板
2	变倍齐焦差	分度值 0.2mm、0.5mm 的网格板、百分表
3	左右齐焦差	分度值 0.2mm、0.5mm 的网格板、百分表
4	变倍齐中差	分度值为 0.1mm 的十字分划目镜 (MPE: ±0.01mm)、 十字分划板
5	左右齐中差	分度值为 0.1mm 的十字分划目镜 (MPE: ±0.01mm)、 十字分划板
6	分辨力	A4、A5、A7 号分辨力板
7	物镜放大倍率误差	分度值为 0.1mm、0.01mm 的玻璃线纹尺 (MPE: ± 0.01mm)
8	左右光学系统放大倍率差	分度值为 0.1mm、0.01mm 的玻璃线纹尺 (MPE: ± 0.01mm)

注：也可采用满足测量不确定度要求的其它测量设备进行校准。

7 校准项目和校准方法

校准前，以目视方法检查体视显微镜的光学系统。光学系统应成像清晰，视场内不应有影响测量的霉斑、脏物、划痕等疵病，照明装置应在视场范围内使被测对象得到均匀并有足够亮度的照明。

以手动方法检查各部分相互作用，可运动部分的移动或转动应平稳舒适，定位可靠，没有滞涩或急跳现象。光学调焦机构应稳定、可靠。固定在立柱上的调焦滑座不会由于本身以及附加装置的质量而自行下降。

在确定无影响计量特性的因素后，再进行校准。

7.1 成像清晰范围

将玻璃线纹尺置于载物台上，朝向调为视场的左右方向。体视显微镜使用最高倍物镜，通过调焦使玻璃线纹尺刻度像清晰的范围为最大，使用玻璃线纹尺分别测量视场左右方向长度以及玻璃线纹尺刻度像清晰的长度，视场左右方向成像清晰范围 D_1 按下式计算：

$$D_1 = \frac{L'}{L} \times 100\% \quad (2)$$

式中： L — 视场左右方向长度，格；

L' — 玻璃线纹尺刻度像清晰的长度，格。

将玻璃线纹尺朝向调为上下方向，按以上方法可得到体视显微镜视场上下方向成像清晰范围 D_2 。

7.2 变倍齐焦距

体视显微镜变倍齐焦距使用网格板校准，物镜倍率不大于 1 倍时一般采用 0.5mm 网格板，大于 1 倍时一般采用 0.2mm 网格板。

把网格板置于载物台上，调整左侧目镜，使分划板上的刻度清晰，用高倍物镜对网格板调焦清晰后，转换至最低倍物镜，调节视度筒使像清晰，如此反复多次，直至像都清晰为止，此时分划板上的刻度与网格板的像应无视差，否则应重新细调目镜与调焦手轮，使两者位于同一像面。用百分表测得调焦滑座此时的高度位置，逐一调换其它各倍物镜，调换每个物镜后，应保持目镜视度调节圈不动，仅使用调焦手轮调焦，将网格板像调焦至最清晰，用百分表分别测得此时调焦滑座的高度位置，并记录百分表的示值 $h_{b左i}$ ($i=1, 2, 3, \dots$)。

使用左侧目镜时，各倍物镜的变倍齐焦距 $h_{b左}$ 按下式计算：

$$h_{b左} = h_{左max} - h_{左min} \quad (3)$$

对于有级变换型和物镜卸换型的体视显微镜，应对每个倍率分别测量变倍齐焦距。对于连续变倍型体视显微镜，可对物镜高、中、低三个倍率分别测量变倍齐焦距。

然后使用右侧目镜，按上述测量方法测得 $h_{b右i}$ ($i=1, 2, 3, \dots$)。各倍物镜的变倍齐焦距 $h_{b右}$ 按下式计算：

$$h_{b右} = h_{右max} - h_{右min} \quad (4)$$

以上左侧或右侧目镜观察分划板时，应始终保持用同一只眼睛观察。

在使用左、右两侧目镜所得到的测量结果中，取最大值作为变倍齐焦距测量结果。

7.3 左右齐焦距

可利用 7.2 变倍齐焦距中得到的测量值，按下式计算各倍物镜左右齐焦距 h_{zi} 。

$$h_{zi} = h_{左i} - h_{右i} \quad (i=1, 2, 3, \dots) \quad (5)$$

从上式计算得到的各倍物镜测量值中取绝对值最大的那一个测量结果作为左右齐焦差的测量结果。

7.4 变倍齐中差

将十字分划板置于载物台上，被检显微镜目镜筒内插入十字分划目镜，在显微镜最高倍率下对分划板调焦，按照 7.2 变倍齐焦差的方法，调整目镜分划板上的刻度与物方十字分划板的十字像位于同一像面，使两者间无视差。然后调整物方分划板使物方分划板像的中心与十字分划目镜的分划板中心重合，从最高倍率至最低倍率变换过程中，找出物方十字分划线像中心的最大偏移位置，用十字分划目镜测量其偏移的大小即为左侧目镜的变倍齐中差 $\Delta_{左}$ 。

然后使用右侧目镜，按上述测量方法测得右侧目镜的变倍齐中差 $\Delta_{右}$ ，取左、右两侧目镜所得到的测量结果中的最大值作为变倍齐中差的测量结果 Δ 。

7.5 左右齐中差

调节显微镜的瞳距至 65mm，将十字分划板置于视场中央，目镜筒中插入十字分划目镜，显微镜对十字分划板调焦，使体视显微镜左（右）侧光路中的目镜视场中心和十字分划板中心重合，在体视显微镜右（左）侧光路的目镜视场中读出十字分划板像中心相对于视场中心的左右偏差 Δx 和上下偏差 Δy ，分别取绝对值最大的测量值作为左右齐中差 Δx 、 Δy 测量结果。

对于有级变换型和物镜卸换型的体视显微镜，本项目应对每个倍率分别进行测量，对于连续变倍型体视显微镜，本项目应对低、中、高倍率分别进行测量，取绝对值最大的测量值为测量结果。

7.6 分辨力

选用合适板号的分辨力板置于载物台上，利用调焦手轮与左右目镜的视度调节圈对视场中的分辨力板图案像调焦，尽可能使图案像清晰的面积为最大，观察图案中各个不同线宽单元中的图案，记下清晰的图案中线宽最小的图案单元的号码。

根据分辨力板号与图案单元的号码，从附录 A（栅格状分辨率板线宽表）查出线宽度 b 值。依据式（6）可求出分辨力 N 。

$$N = \frac{1000}{2b} (\text{mm}^{-1}) \quad (6)$$

调换其他倍率的物镜，按照上述测量方法分别测量各个倍率物镜的分辨力。对于有级变换型和物镜卸换型的体视显微镜，应对每个倍率的物镜分别测量分辨力。对于连续变倍型体视显微镜，可只对物镜调至最高倍率时测量分辨力。

从以上得到的各倍物镜测量值中取最小的那一个测量值作为分辨力测量结果。

7.7 物镜放大倍率误差

将玻璃线纹尺置于载物台上，体视显微镜使用最高倍物镜，在左侧目镜装上十字分划目镜，通过调焦使玻璃线纹尺刻线在分划目镜的分划尺上成清晰像，并调整两者使玻璃线纹尺刻线像与分划目镜刻线方向平行。

将玻璃线纹尺刻度间距像与目镜分划尺相比较，在左侧目镜分划尺上读取玻璃线纹尺所用刻度间距像的示值，按式(7)求得左侧光路的物镜放大倍率 $\beta_{左i}$ ：

$$\beta_{左i} = \frac{L'}{L} \quad (7)$$

式中： L — 玻璃线纹尺所用刻度间距，格；

L' — 目镜分划尺上读得的玻璃线纹尺所用刻度间距像的值，格。

按式(8)求得左侧光路的物镜放大倍率误差 $\delta_{左i}$ ：

$$\delta_{左i} = \frac{\beta_{标} - \beta_{左i}}{\beta_{标}} \times 100\% = \frac{L - L'}{L} \times 100\% \quad (8)$$

式中： $\delta_{左i}$ — 左侧光路的物镜放大倍率误差；

$\beta_{左i}$ — 左侧光路的物镜放大倍率；

$\beta_{标}$ — 物镜标称放大倍率。

对于右侧光路同样按照上述方法进行测量，可以求得右侧光路的物镜放大倍率 $\beta_{右i}$ 与物镜放大倍率误差 $\delta_{右i}$ 。

调换其他倍率的物镜，按照上述测量方法分别测量各个倍率物镜的放大倍率误差。对于有级变换型和物镜卸换型的体视显微镜，应对每个倍率的物镜分别测量放大倍率误差。对于连续变倍型体视显微镜，可对物镜高、中、低三个倍率分别测量放大倍率误差。

从以上得到的各倍物镜测量值中取最大的那一个测量值作为物镜放大倍率误差测量结果。

7.8 左右光学系统放大倍率差

按 7.7 物镜放大倍率误差获得的测量值，按式(9)计算出左右光学系统的

放大倍率差:

$$\Delta\beta = |\beta_{左i} - \beta_{右i}| = |\delta_{左i} - \delta_{右i}| \quad (9)$$

8 校准结果表达

经校准的体视显微镜出具校准证书。

校准证书的内页格式参见附录 C。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由体视显微镜的使用保养情况、使用者和体视显微镜本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

栅格状分辨率板线宽表

分辨率板号	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
分辨率图 案单元号	线宽度 b 值/ μm						
1	160	80.0	40.0	20.0	10.0	7.50	5.00
2	151	75.5	37.8	18.9	9.44	7.08	4.72
3	143	71.3	35.6	17.8	8.91	6.68	4.45
4	135	67.3	33.6	16.8	8.41	6.31	4.20
5	127	63.5	31.7	15.9	7.94	5.95	3.97
6	120	59.9	30.0	15.0	7.49	5.62	3.75
7	113	56.6	28.3	14.1	7.07	5.30	3.54
8	107	53.4	26.7	13.3	6.67	5.01	3.34
9	101	50.4	25.2	12.6	6.38	4.72	3.15
10	95.1	47.6	23.8	11.9	5.95	4.46	2.97
11	89.8	44.9	22.4	11.2	5.61	4.21	2.81
12	84.8	42.4	21.2	10.6	5.30	3.97	2.65
13	80.0	40.0	20.0	10.0	5.00	3.75	2.50
14	75.3	37.8	18.9	9.44	4.72	3.54	2.36
15	71.3	35.6	17.8	8.91	4.45	3.34	2.23
16	67.3	33.6	16.8	8.41	4.20	3.15	2.10
17	63.5	31.7	15.9	7.94	3.97	2.98	1.98
18	59.5	30.0	15.0	7.49	3.75	2.81	1.87
19	56.6	28.3	14.1	7.07	3.54	2.65	1.77
20	53.4	26.7	13.3	6.67	3.34	2.50	1.67
21	50.4	25.2	12.6	6.30	3.15	2.36	1.57
22	47.6	23.8	11.9	5.95	2.97	2.23	1.49
23	44.9	22.4	11.2	5.61	2.81	2.10	1.40
24	42.4	21.2	10.6	5.30	2.65	1.99	1.32
25	40.0	20.0	10.0	5.00	2.50	1.88	1.25

附录 B

校准记录 (式样)

送校单位						记录编号					
样品	名称	体视显微镜			型号规格						
	制造厂					出厂编号					
标准器	名称	型号规格		仪器编号	技术特征		证书编号				
技术依据	JJF (闽) ****—2013 《体视显微镜校准规范》										
校准地点					温度:	°C	相对湿度:	%			
校准日期					证书编号						
校准员					核验员						
序号	校准项目		技术要求				校准结果				
			普及型		高性能						
1	成像清晰范围		上下	$\geq 60\%$	$\geq 70\%$						
			左右	$\geq 50\%$	$\geq 60\%$						
2	变倍齐焦差		$\leq 0.6\text{mm}$								
3	左右齐焦差		$< 1.5D_F$								
4	变倍齐中差		有级变换型 $\leq 1.2\text{mm}$	$\leq 0.4\text{mm}$		左光路					
			物镜卸换型 $\leq 2.5\text{mm}$			右光路					
5	左右齐中差		上下 $\leq 0.2\text{mm}$, 左右 $\leq 0.4\text{mm}$								
6	分辨力		$\geq 1200NA$ 线对/mm				倍率				
							左光路				
							右光路				
7	物镜放大倍率误差		$\pm 5\%$	$\pm 4\%$							
8	左右光学系统放大倍率差		2%	1.5%							
标称倍率	左光路			右光路			左右倍率差	变倍齐焦差	左右齐焦差	左右齐中差	
	像 L'	物 L	δ	像 L'	物 L	δ				Δx	Δy
物镜放大倍率误差的校准结果测量不确定度:											
备注											

附录 C

校准证书内容及内页格式

C.1 校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室的名称和地址；
- 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) 校准结果仅对校准对象有效的声明；
- p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

C.2 校准证书内页格式：

校准证书内页格式见表C.1。

表C.1 校准证书内页格式

序号	校准项目		校准结果	
1	成像清晰的范围			
2	变倍齐焦差			
3	左右齐焦差			
4	变倍齐中差			
5	左右齐中差			
6	分辨力			
标称倍率	7. 左光路放大倍率误差	7. 右光路放大倍率误差	放大倍率校准结果测量不确定度 ($k=2$)	8. 左右光学系统放大倍率差
附加说明：				

附录 D

物镜放大倍率误差的校准结果测量不确定度评定

D.1 测量方法

将有分划板的目镜装在体视显微镜上,把玻璃线纹尺置于载物台中央,显微镜对玻璃线纹尺调焦,在显微镜中找到玻璃线纹尺像,并使像的首端与目镜分划板刻尺首端重合,根据目镜分划板上的刻尺,读出玻璃线纹尺像的尾端在目镜标尺刻线上的值 L' ,依据玻璃线纹尺所用两刻线之间的间距 L 及标称放大倍率 $\beta_{\text{标}}$,按照公式 (D.2) 即可计算出物镜放大倍率误差。

D.2 数学模型

物镜放大倍率误差的计算公式为:

$$\delta_i = \frac{\beta_{\text{标}} - \beta_i}{\beta_{\text{标}}} \times 100\% = \left(1 - \frac{\beta_i}{\beta_{\text{标}}}\right) \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

把 $\beta_i = \frac{L'}{L}$ 代入上式 (D.1) 可得

$$\delta_i = \left(1 - \frac{L'}{L \cdot \beta_{\text{标}}}\right) \times 100\% \quad (\text{D.2})$$

式中: δ_i — 物镜放大倍率误差;

L' — 玻璃线纹尺相应刻线在目镜标尺上的读数值, mm;

L — 玻璃线纹尺所用两刻线之间的间距, mm;

$\beta_{\text{标}}$ — 标称放大倍率;

β_i — 实测放大倍率。

D.3 方差和灵敏系数

考虑到各输入量彼此独立,依

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

可得:
$$u_c^2(y) = u^2(\delta_i) = c_1^2 u^2(L') + c_2^2 u^2(L) \quad (\text{D.3})$$

式中灵敏系数:
$$c_1 = \frac{\partial \delta_i}{\partial L'} = -\frac{1}{L \cdot \beta_{\text{标}}}$$

$$c_2 = \frac{\partial \delta_i}{\partial L} = \frac{L'}{L^2 \cdot \beta_{\text{标}}}$$

因为 $L' \approx L \cdot \beta_{\text{标}}$, 故 c_2 可简化为 $c_2 = \frac{1}{L}$

把 c_1 、 c_2 代入式 (D.3) 可得方差:

$$u^2(\delta_i) = \left(\frac{1}{L \cdot \beta_{\text{标}}}\right)^2 u^2(L') + \left(\frac{1}{L}\right)^2 u^2(L) \quad (\text{D.4})$$

D.4 标准不确定度分量的计算

D.4.1 输入量 L' 引入的不确定度分量 $u(L')$

输入量 L' 引入的不确定度分量 $u(L')$ 由测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(L')$ 和目镜标尺允许误差引入的不确定度分量 $u_2(L')$ 组成。

D.4.1.1 测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(L')$

采用 A 类不确定度方法进行评定, 在显微镜正常工作及重复性条件下, 以物镜 1 倍放大倍数为例, 10 次测量结果如下:

表 D.1 重复性测量结果

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值	99.0	99.1	99.2	99.3	99.4	99.5	99.5	99.5	99.6	99.6

依据表 D.1 可得单次实验标准差 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.21$ 格, 由于目镜分度值为 0.1mm, 故

$$u_1(L') = s = 0.021\text{mm}$$

D.4.1.2 目镜标尺允许误差引入的标准不确定度分量 $u_2(L')$

采用 B 类不确定度方法进行评定, 目镜标尺刻线间距的允许误差为 $\pm 0.01\text{mm}$, 估计为均匀分布, $k = \sqrt{3}$,

$$u_2(L') = 0.01\text{mm} / \sqrt{3} = 0.006\text{mm}$$

依据 D.4.1.1 和 D.4.1.2 有

$$u(L') = \sqrt{u_1^2(L') + u_2^2(L')} = \sqrt{0.021^2 + 0.006^2} = 0.022\text{mm}$$

D.4.2 玻璃线纹尺允许误差引入的不确定度分量 $u(L)$

采用 B 类不确定度方法进行评定, 玻璃线纹尺的刻线间距的允许误差为 $\pm 0.01\text{mm}$, 估计为均匀分布, $k = \sqrt{3}$,

$$u(L) = 0.01\text{mm} / \sqrt{3} = 0.006\text{mm}$$

D.5 标准不确定度分量一览表

根据标准不确定度分量的计算, 以物镜 1 倍放大率为例, 把各标准不确定度分量汇总在表 D.2 中, 便于理解和查看。

表 D.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$ (mm)	$c_i = \frac{\partial \delta}{\partial x_i}$	$ c_i \times u(x_i)$
$u(L')$	输入量 L_1	0.022	-0.1	0.0022
$u_1(L')$	测量重复性	0.021	/	/
$u_2(L')$	目镜标尺允许误差	0.006	/	/
$u(L)$	玻璃线纹尺允许误差	0.006	0.1	0.0006
$u(\delta_i) = 0.0023 = 0.23\%$				

D.6 合成标准不确定度

依据公式 (D.4), 以 1 倍放大倍率为例有

$$\begin{aligned}
 u^2(\delta_i) &= \left(\frac{1}{L \cdot \beta_{\text{标}}}\right)^2 u^2(L') + \left(\frac{1}{L}\right)^2 u^2(L) \\
 &= \frac{1}{(10 \times 1)^2} \times 0.022^2 + \frac{1}{10^2} \times 0.006^2 \\
 &= 5.2 \times 10^{-6} \\
 u(\delta_i) &= 0.0023 = 0.23\%
 \end{aligned}$$

D.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 物镜放大 1 倍时, 扩展不确定度为

$$\begin{aligned}
 U &= k \cdot u(\delta_i) = 2 \times 0.23\% \\
 &= 0.5\%
 \end{aligned}$$

同理可以计算得到其它放大倍率误差的测量结果不确定度, 如表 D.3。

表 D.3 各放大倍率误差的测量结果不确定度

放大倍率 $\beta_{\text{标}}$	线纹尺间距 L	灵敏系数		不确定度分量		标准不确定度 u	扩展不确定度 U_{rel} ($k=2$)
		c_1	c_2	$u(L')$	$u(L)$		
0.5×	10	-0.2	0.1	0.022	0.006	0.0044	0.9%
1×	10	-0.1	0.1	0.022	0.006	0.0023	0.5%
2×	5	-0.1	0.2	0.022	0.006	0.0026	0.6%
4×	2.5	-0.1	0.4	0.022	0.006	0.0032	0.7%
5×	2	-0.1	0.5	0.022	0.006	0.0037	0.8%

D.8 扩展不确定度报告形式

依据 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求，测量结果的小数点位数与测量结果不确定度的位数应一致，故体视显微镜的放大倍率误差的测量结果不确定度可表示为如下形式：

当 $\beta_{\text{标}}$ 为 0.5 倍时： $U_{\text{rel}}=0.9\%$ ， $k=2$ ；

当 $\beta_{\text{标}}$ 为 1 倍时： $U_{\text{rel}}=0.5\%$ ， $k=2$ ；

当 $\beta_{\text{标}}$ 为 2 倍时： $U_{\text{rel}}=0.6\%$ ， $k=2$ ；

当 $\beta_{\text{标}}$ 为 4 倍时： $U_{\text{rel}}=0.7\%$ ， $k=2$ ；

当 $\beta_{\text{标}}$ 为 5 倍时： $U_{\text{rel}}=0.8\%$ ， $k=2$ 。

D.9 结语

依据本校准方法，体视显微镜的物镜放大倍率误差应不超过 4%，而文中分析的结果均小于三分之一的最大允许误差。由此可见，此方法科学可行。
