

陕西省地方计量技术规范

JJF (陕) XX-2019

金相显微镜校准规范

Calibration Specification for Metallurgical Microscope

(报批稿)

2019-XX-XX 发布

2019-XX-XX 实施

陕西省市场监督管理局 发布

金相显微镜校准规范
Calibration Specification for
metallurgical microscope

JJF (陕) xx—2019

归口单位：陕西省市场监督管理局

主要起草单位：渭南市计量测试所

西安计量技术研究院

参加起草单位：陕西省计量科学研究院

本规范由陕西省市场监督管理局负责解释

本规范主要起草人：

冯彩群 (渭南市计量测试所)

张娟 (西安计量技术研究院)

胡畅 (西安计量技术研究院)

参加起草人：

刘颖 (渭南市计量测试所)

党鑫 (渭南市计量测试所)

宋冬 (陕西省计量科学研究院)

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(3)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(4)
6.2 测量标准及其他测量设备.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 校准前检查.....	(4)
7.2 零视度时, 两目镜筒端面高低差.....	(5)
7.3 金相显微镜物镜放大倍数相对误差.....	(5)
7.4 双目金相显微镜左右两系统放大倍数相对差.....	(6)
7.5 双目金相显微镜左右视场中心偏差.....	(7)
7.6 示值误差.....	(7)
8 校准结果表达.....	(9)
9 复校时间间隔.....	(9)
附录 A.....	(10)
附录 B.....	(13)
附录 C.....	(15)
附录 D.....	(19)

引言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF(苏) 131《金相显微镜》、JJG (教委) 012-1996《金相显微镜》和 JJF 1402-2013《生物显微镜》进行编制。

本规范为首次发布。

金相显微镜校准规范

1 范围

本规范适用于单目金相显微镜、双目金相显微镜、图像传感器接收系统金相显微镜的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF(苏) 131-2011 《金相显微镜》

JJG (教委) 012-1996 《金相显微镜》

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

显微镜放大倍数

显微镜放大倍数是目镜的放大倍数与物镜的放大倍数的乘积，显微镜的放大倍数越大，观察到的物像就越大，但观察的视野范围就越小。

4 概述

金相显微镜是用于研究观察金属、陶瓷、矿石等有透明固体物质的组织结构，它是利用照明光在样品上的反射，经透镜的折射，把原来无法观察到粉末及细小颗粒的粒度等参数经物镜和目镜两个光学放大系统放大后，获得清晰的像，金相显微镜按结构分为单目金相显微镜、双目金相显微镜、图像传感器接收系统金相显微镜。具体结构见图 1、图 2，图 3。

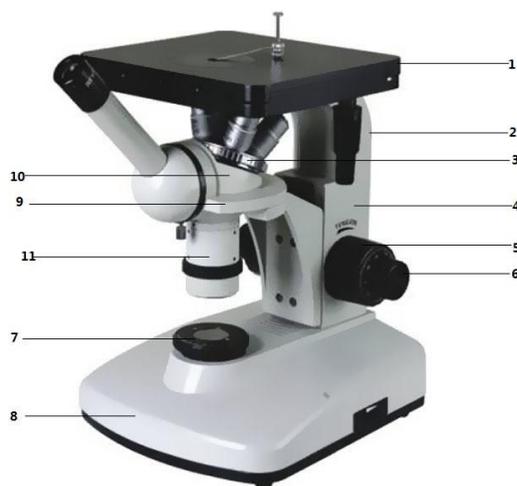


图1 单目镜金相显微镜的外形图

1—载物台；2—镜臂；3—物镜转化器；4—微动台；5—粗动调微手轮；6—细动调微手轮；
7—照明装置；8—底座；9—平台托盘；10—碗头组；11—物镜。



图2 双目镜金相显微镜的外形图

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。

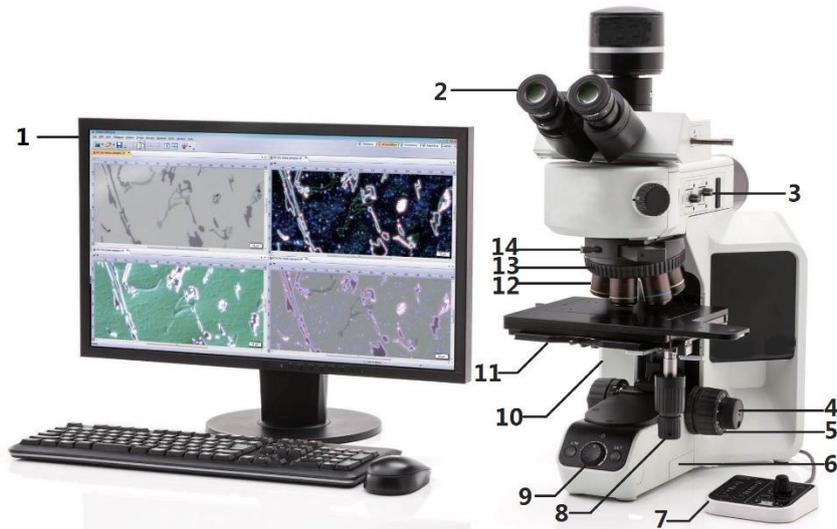


图3 图像传感器接收系统金相显微镜的外形图

1—显示器；2—目镜；3—光路选择按钮；4—细动调微手轮；5—粗动调微手轮；6—底座；
7—手动开关；8—X/Y轴旋钮；9—亮度调节按钮；10—微动台；11—载物台；12—物镜；13—
—孔径光阑调节环；14—物镜转化器。

5 计量特性

金相显微镜的计量特性见表1。

表1 计量特性一览表

序号	校准项目		技术要求
1	零视度时，两目镜筒端面高低差		MPEV: 1.5mm
2	金相显微镜物镜放大倍数相对误差		MPE: $\pm 5\%$
3	双目金相显微镜左右两系统放大倍数相对差		MPEV: 2%
4	双目金相显微镜左 右视场中心偏差	上下方向	MPEV: 0.2 mm
		左右方向外侧	MPEV: 0.2 mm
		左右方向内侧	MPEV: 0.4 mm
5	示值误差		MPE: $\pm 15\mu\text{m}$

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(20±10)℃。

相对湿度：≤80%。

仪器不受阳光直接照射，无明显振动。

6.2 测量标准及其他测量设备

测量标准及其他测量设备见表 2。

表 2 测量标准及其他测量设备

序号	校准项目	校准用标准器及计量特性
1	零视度时，两目镜筒端面高低差	刀口形直尺：125mm，直线度 MPEV：1.0 μm 钢直尺：分度值 0.5mm，MPE：±0.10mm
2	金相显微镜物镜放大倍数相对误差	十字分划目镜：分度值为 0.1mm，任意两分划线间的最大允许误差不超过±5μm，十字分划中心与目镜外圆机械轴同轴度不超过 50μm，十字分划刻线面与目镜定位面之间距离不超过 (10±0.1) mm 玻璃线纹尺：分度值 0.1mm 和 0.01mm，测量不确定度： $U=1.0\mu\text{m}$ ， $k=2$ 倍率计：分度值 0.1mm，MPE：±10μm
3	双目金相显微镜左右两系统放大倍数	玻璃线纹尺：分度值 0.1mm 和 0.01mm，测量不确定度： $U=1.0\mu\text{m}$ ， $k=2$ 倍率计：分度值 0.1mm，最大允许误差：±10μm
4	双目金相显微镜左右视场中心偏差	10×十字分划目镜 十字线分划板
5	示值误差	玻璃线纹尺：分度值 0.1mm 和 0.01mm，测量不确定度： $U=1.0\mu\text{m}$ ， $k=2$

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

7.1 校准前检查

校准前，对仪器的外观、各部分相互作用及光学系统进行检查，各移动、转动部位应灵活，无过松、过紧、滞涩、急跳等现象，视场内应照明均匀、成像清晰，无影响测量的霉斑、阴影、色差、场曲等因素。

带有摄影、摄像功能的金相显微镜，其显示屏视场内应洁净、亮度均匀，无影响观察的阴影、斑点、反射光斑等因素；用目镜观察与用显示屏观察的图像应同步、方位基本一致。

在确定无影响计量特性的因素后，再进行校准。

7.2 零视度时，两目镜筒端面高低差

在被校金相显微镜放上分度值为 0.1mm 的十字分划目镜，把两目镜调至零视度位置，然后将刀口形直尺置于目镜筒端面上，用钢直尺测量刀口至另一镜筒端面的距离。

7.3 金相显微镜物镜放大倍数相对误差

7.3.1 目镜可拆卸的物镜放大倍数相对误差

将目镜视度调节至 0 位置，将分度值为 0.1mm 或 0.01mm 的玻璃线纹尺放置载物台上，调节物镜的像面距离，使玻璃线纹尺在目镜分划尺上成清晰像，取下金相显微镜的目镜，装上分度值为 0.1mm 的十字分划目镜，在该目镜分划尺上读得玻璃线纹尺所用间距 $L_{标准}$ 像的示值 $L_{实测}$ 。按公式 (1) 计算物镜实际放大倍数，取 2 次测量结果的平均值作为物镜实际放大倍数。

$$\beta_{物镜实测} = \frac{L_{实测}}{L_{标准}} \quad (1)$$

式中：

$\beta_{物镜实测}$ —物镜实际放大倍数；

$L_{实测}$ —目镜分划尺上读得玻璃线纹尺所用间距像的长度，mm。

$L_{标准}$ —玻璃线纹尺所用间距，mm。

物镜实际放大倍数相对误差为

$$\Delta\beta_{相对} = \frac{\beta_{物镜实测} - \beta_{物镜标称}}{\beta_{物镜标称}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\Delta\beta_{相对}$ —物镜放大倍数相对误差；

$\beta_{物镜实测}$ —物镜放大倍数实测值；

$\beta_{物镜标称}$ —物镜放大倍数标称值。

7.3.2 目镜不可拆卸的物镜放大倍数相对误差

将倍率计置于目镜上，目镜视度调节至 0 位置，调节物镜的像面距离，使玻璃线纹尺在倍率计分划尺上成清晰像，读得分划尺刻线与玻璃线纹尺像的相应刻线的示值，按公式 (3) 计算总的放大倍数实测值，取 2 次测量结果的平均值作为总的放大倍数实测值。

$$\beta_{\text{总的实测}} = \frac{L_{\text{实测}}}{L_{\text{标准}}} \quad (3)$$

式中:

$\beta_{\text{总的实测}}$ —总的放大倍数实测值;

$L_{\text{实测}}$ —目镜分划尺上读得玻璃线纹尺所用间距像的长度, mm。

$L_{\text{标准}}$ —玻璃线纹尺所用间距, mm。

总的放大倍数实测值由两部分来源, 一部分是物镜放大倍数实测值, 一部分是目镜放大倍数实测值。因此, 物镜实际放大倍数为:

$$\beta_{\text{物镜实测}} = \frac{\beta_{\text{总的实测}}}{\beta_{\text{目镜实测}}} \quad (4)$$

式中:

$\beta_{\text{物镜实测}}$ —物镜放大倍数实测值;

$\beta_{\text{总的实测}}$ —总的放大倍数实测值;

$\beta_{\text{目镜实测}}$ —目镜放大倍数实测值。

物镜实际放大倍数相对误差按照公式(2)进行计算。

7.3.3 图像传感器接收系统物镜放大倍数相对误差

将分度值为 0.1mm 或 0.01mm 的玻璃线纹尺放置载物台上, 调节物镜的像面距离, 使玻璃线纹尺在显示屏上清晰成像, 用线到线的距离的测量程序测量显示屏上读得玻璃线纹尺所用间距 $L_{\text{标准}}$ 像的长度 $L_{\text{实测}}$, 按公式 (1) 计算物镜实际放大倍数, 取 2 次测量结果的平均值作为物镜实际放大倍数。按公式 (2) 计算物镜实际放大倍数相对误差。

7.3.4 图像传感器接收系统金相显微镜自带刻度分划尺目镜时参照 7.3.1 进行测量。

7.4 双目金相显微镜左右两系统放大倍数相对差

在不拆卸金相显微镜目镜的情况下, 按照 7.3.2 的步骤, 对左右两个观察系统的放大倍数分别校准, 依据公式 (3)、(4) 分别得到左右两系统放大倍数 $\beta_{\text{物镜实测左}}$ 、 $\beta_{\text{物镜实测右}}$ 。按公式 (5) 计算左右两系统放大倍数差 $\Delta\beta_{\text{左右}}$ 。

$$\Delta\beta_{\text{左右}} = |\beta_{\text{物镜实测左}} - \beta_{\text{物镜实测右}}| \quad (5)$$

式中:

$\Delta\beta_{\text{左右}}$ —左右两系统放大倍数差;

$\beta_{\text{物镜实测左}}$ —左系统物镜放大倍数实测值；

$\beta_{\text{物镜实测右}}$ —右系统物镜放大倍数标称值。

左右两系统放大倍数相对差按照公式(6)进行计算。

$$\Delta\beta_{\text{左右相对}} = \frac{\Delta\beta_{\text{左右}}}{\beta_{\text{物镜标称}}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$\Delta\beta_{\text{左右相对}}$ —左右两系统放大倍数相对差；

$\beta_{\text{物镜实测}}$ —左右两系统放大倍数差；

$\beta_{\text{物镜标称}}$ —物镜放大倍数标称值。

7.5 双目金相显微镜左右视场中心偏差

在金相显微镜载物台上放置十字分划板。左筒内装十字分划目镜，并对十字分划板调焦。在左筒视场内，使十字分划板像的中心与目镜分划板的中心重合。然后将十字分划目镜从左筒取下，放入右筒，在右筒视场内，观察十字分划板像的中心在目镜分划板上的位置（见图 3），读出其与目镜分划板标尺中心（上，下，左右外侧，左右内侧）偏离值即为校准结果。

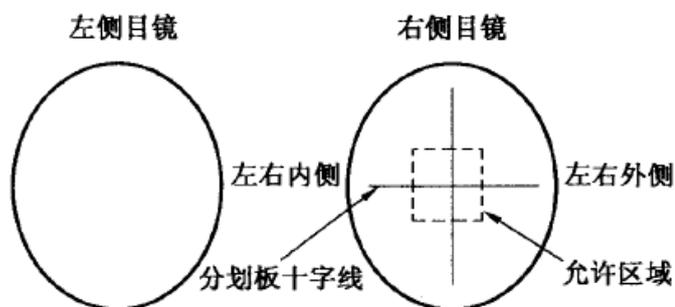


图 3 视场中心偏差区域

7.6 示值误差

7.6.1 目镜观察式测量系统示值误差

根据物镜的不同放大倍数，在载物台上放置分度值为 0.1mm 或 0.01mm 的玻璃线纹尺，调焦至目镜视场清晰，移动载物台，调整玻璃线纹尺的刻线方向与目镜标尺刻线平行，将目镜中的玻璃线纹尺首条刻线与目镜中标尺左端首条刻线对齐，在目镜标尺全长范围内均匀选择 1~5 条玻璃线纹尺刻线进行校准，每条选定的玻璃线纹尺刻线，在目镜中读取选定玻璃线纹尺刻线相对于目镜标

尺左端首条刻线的格值 Δ ，取其 2 次读数平均值作为测量结果。按照公式

(7) 计算所用玻璃线纹尺间距在目镜中测得的实际值 L_0 。

$$L_0 = \Delta \times \frac{L_{\text{标尺}}}{n_{\text{标尺}} \times \beta_{\text{总的标称}}} \quad (7)$$

式中：

L_0 —所用玻璃线纹尺间距在目镜中测得的实际值，mm；

Δ —目镜中选定玻璃线纹尺刻线相对于目镜标尺左端首条刻线的格值，格；

$L_{\text{标尺}}$ —目镜标尺长度，mm；

$n_{\text{标尺}}$ —目镜标尺总格数，格；

$\beta_{\text{总的标称}}$ —总的放大倍数标称值。

按照公式(8)计算校准点的示值误差。取目镜标尺全长范围内所有选定刻线的最大误差值作为校准结果。

$$\Delta L = L_0 - L'_s \quad (8)$$

式中：

ΔL —校准点的示值误差，mm；

L_0 —所用玻璃线纹尺间距在目镜中测得的实际值，mm；

L'_s —所用玻璃线纹尺间距的标准值，mm。

注：对于目镜带有刻度标尺的金相显微镜(即 7.6.1 所述目镜观察式测量系统)，在物镜放大倍数误差和示值误差校准中，可任选一项校准。对于目镜不带刻度标尺的金相显微镜，只校准物镜放大倍数误差。

7.6.2 图像传感器接收系统示值误差

在载物台上横向放置相适应的玻璃线纹尺，调焦至玻璃线纹尺图像清晰，选定物镜被测倍率，调整玻璃线纹尺的刻线方向与目镜标尺刻线平行，将显示屏中的玻璃线纹尺首条刻线与显示屏左端首条刻线对齐，在视屏全长范围内均匀选择 1~5 条玻璃线纹尺刻线进行校准，对选定的刻线，用线到线距离的测量程序，测量出在其对应总的放大倍数下，所用玻璃线纹尺间距在图像传感器接收系统中测得的实际值 L'_0 ，取其 2 次读数平均值作为测量结果。并按照公式(9)计算该校准点的示值误差。取视屏全长范围内所有选定刻线的最大的误差

值作为横向校准结果。用相同的方法，对纵向示值误差进行校准。给出纵向校准结果。

$$\Delta L' = L'_0 - L'_s \quad (9)$$

式中：

$\Delta L'$ —测量点的示值误差，mm；

L'_0 —所用玻璃线纹尺间距在图像传感器接收系统中测得的实际值，mm；

L'_s —所用玻璃线纹尺间距的标准值，mm。

注：图像传感器接收系统的金相显微镜，在物镜放大倍数误差和示值误差校准中，可任选一项校准。

8 校准结果表达

经校准的金相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

建议复效时间间隔不超过 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、仪器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

金相显微镜校准原始记录推荐格式(供参考)

委托单位: _____ 记录编号: _____
 器具名称: _____ 规格型号: _____
 制造厂商: _____ 出厂编号: _____
 校准依据: JJF (陕) xx—2019《金相显微镜校准规范》

校准用主要测量设备:

校准用设备	测量范围	准确度等级/ 最大允许误差/ 测量不确定度	溯源机构及 证书编号	有效期至

校准地点: _____ 环境温度: _____ °C 相对湿度: _____ %

1. 校准前检查: 符合要求 不符合要求

2. 零视度时, 两目镜筒端面高低差:

3. 金相显微镜物镜放大倍数相对误差

3.1. 目镜可拆卸的物镜放大倍数相对误差

物镜标 称放大 倍数 $\beta_{\text{物镜标称}}$	玻璃线纹尺 所用间距 $L_{\text{标准}}$ /(mm)	目镜分划尺上读得玻璃线纹尺 所用间距像的长度 $L_{\text{实测}}$ /(mm)			物镜放大倍 数实测值 $\beta_{\text{物镜实测}}$	物镜放大 倍数相对 误差 $\Delta\beta_{\text{相对}}$	测量不确 定度 U $k=2$
		1	2	平均值			
×							
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

3.2. 目镜不可拆卸的物镜放大倍数相对误差

观察系统 (分为单 目、双目 左、双目 右)及物 镜放大倍 数标称值 $\beta_{\text{物镜标称}}$	目镜放 大倍数 实测值 $B_{\text{目镜实测}}$	玻璃线 纹尺所 用间距 $L_{\text{标准}}$ /(mm)	目镜分划尺上读得玻 璃线纹尺所用间距像 的长度 $L_{\text{实测}}$ /(mm)			总的放 大倍数 实测值 $\beta_{\text{总的实测}}$	物镜放 大倍数 实测值 $\beta_{\text{物镜实测}}$	物镜放 大倍数 相对误 差 $\Delta\beta_{\text{相对}}$	测量不 确定度 U $k=2$
			1	2	平均值				
<input type="checkbox"/> 单目 <input type="checkbox"/> 双目左 <input type="checkbox"/> 双目右 ×	×								

∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

3.3. 图像传感器接收系统物镜放大倍数相对误差

物镜标称放大倍数 $\beta_{\text{物镜标称}}$	玻璃线纹尺所用间距 $L_{\text{标准}}/(\text{mm})$	显示屏上读得玻璃线纹尺所用间距像的长度 $L_{\text{实测}}/(\text{mm})$			物镜放大倍数实测值 $\beta_{\text{物镜实测}}$	物镜放大倍数相对误差 $\Delta\beta_{\text{相对}}$	测量不确定度 U $k=2$
		1	2	平均值			
×							
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

4. 双目金相显微镜左右两系统放大倍数差:

物镜放大倍数标称值 $\beta_{\text{物镜标称}}$	目镜放大倍数实测值 $\beta_{\text{目镜实测}}$	观察系统	物镜放大倍数实测值 $\beta_{\text{物镜实测}}$	左右两系统放大倍数差 $\Delta\beta_{\text{左右}}$	左右两系统放大倍数相对差 $\Delta\beta_{\text{左右相对}}$
×		双目左			
×		双目右			
∴	∴	∴	∴	∴	∴

5. 双目金相显微镜左右视场中心偏差:

上向(mm)	下向(mm)	左右方向外侧(mm)	左右方向内侧(mm)
		X: Y:	X: Y:

6. 示值误差:

6.1 目镜观察式测量系统示值误差

目镜标尺长度 $L_{\text{标尺}}$: mm				目镜标尺总格数 $n_{\text{标尺}}$: 格			
总的放大倍数	目镜中选定玻璃线纹尺刻线相对于目镜标尺左端首条刻线的格值(格)	平均值(格)	所用玻璃线纹尺间距在目镜中测得的实际值(mm)	所用玻璃线纹尺间距的标准值(mm)	示值误差(μm)	最大示值误差(μm)	测量不确定度 U $k=2$ (μm)
×							
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

6.2 图像传感器接收系统示值误差

标尺方向	总的放大倍数	所用玻璃线纹尺间距在图像传感器接收系统中测得的实际值	平均值(mm)	所用玻璃线纹尺间距的标准值	示值误差(μm)	最大示值误差(μm)	测量不确定度 U $k=2$ (μm)

		(mm)			(mm)			
横向 <input type="checkbox"/> 纵向 <input type="checkbox"/>	×							
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

校准人员：

核验人员：

校准时间：

附录 B

校准证书内容及内页格式

B.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) 送校单位的名称；
- 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。

B.2 校准证书内页格式：

校准证书内页格式见图 B.2.1。

校准证书内页格式(供参考)

- 1、校准前检查：
- 2、零视度时，两目镜筒端面高低差：
- 3、载物台旋转中心偏离：
- 4、金相显微镜物镜放大倍数相对误差：

物镜标称放大倍数 $\beta_{\text{物镜标称}}$	物镜放大倍数实测值 $\beta_{\text{物镜实测}}$	物镜放大倍数测量不确定度 $U \quad k=2$	物镜放大倍数相对误差 $\Delta \beta_{\text{相对}}$	物镜放大倍数相对不确定度 $U_{\text{rel}} \quad k=2$
×				
×				
×				

- 5、双目金相显微镜左右两系统放大倍数差：

物镜放大倍数标称值 $\beta_{\text{物镜标称}}$	目镜放大倍数实测值 $\beta_{\text{目镜实测}}$	左右两系统放大倍数差 $\Delta \beta_{\text{左右}}$	左右两系统放大倍数相对差 $\Delta \beta_{\text{左右相对}}$
×			
×			
×			

- 6、双目金相显微镜左右视场中心偏差：

上向(mm)	下向(mm)	左右方向外侧(mm)	左右方向内侧(mm)
		X: Y:	X: Y:

- 7、示值误差：

标尺方向	总体放大倍数	示值误差 (μm)	相对误差 (%)	相对不确定度 $U_{\text{rel}} \quad k=2$
	×			
	×			
	×			
	×			
	×			
	×			

图 B2.1 校准证书内页格式

附录 C

金相显微镜物镜放大倍数相对误差测量结果不确定度评定

C.1 测量方法

以分度值为 0.1mm 玻璃线纹尺和分度值为 0.1mm 的十字分划目镜组合进行测量, 对不同倍数的物镜, 以十字分划目镜对玻璃线纹尺像的相应刻线测量, 以目镜分划尺刻线与玻璃线纹尺像的相应刻线不重合的偏差值与玻璃线纹尺所用间距的像对应目镜分划尺标称长度的比值, 作为金相显微镜物镜放大倍数误差。下面以 10×物镜放大倍数测量为例进行评定, 所用十字分划目镜内的刻度范围为 10mm, 玻璃线纹尺的刻度范围为 1mm。

C.2 测量模型

物镜实际放大倍数为:

$$\beta_{\text{物镜实测}} = \frac{L_{\text{实测}}}{L_{\text{标准}}} \quad (\text{C.1})$$

式中:

$\beta_{\text{物镜实测}}$ —物镜实际放大倍数;

$L_{\text{实测}}$ —目镜分划尺上读得玻璃线纹尺所用间距像的长度, mm;

$L_{\text{标准}}$ —玻璃线纹尺所用间距, mm。

物镜实际放大倍数相对误差为

$$\Delta\beta = \frac{\beta_{\text{物镜实测}} - \beta_{\text{物镜标称}}}{\beta_{\text{物镜标称}}} \times 100\% \quad (\text{C.2})$$

式中:

$\Delta\beta_{\text{相对}}$ —物镜放大倍数相对误差;

$\beta_{\text{物镜实测}}$ —物镜放大倍数实测值;

$\beta_{\text{物镜标称}}$ —物镜放大倍数标称值。

C.3 不确定度传播公式和灵敏系数

由于 $\beta_{\text{物镜标称}}$ 为常量, 对公式 (C.2) 求导, 得 $c_{\beta_{\text{物镜实测}}} = 1/\beta_{\text{物镜标称}}$

因此, 物镜实际放大倍数相对误差测量不确定度的传播率公式为:

$$u^2_{\text{crel}}(\Delta\beta_{\text{相对}}) = c^2_{\beta_{\text{物镜实测}}} u^2(\beta_{\text{物镜实测}}) = u^2(\beta_{\text{物镜实测}})/\beta^2_{\text{物镜标称}} = (u(\beta_{\text{物镜实测}})/\beta_{\text{物镜标称}})$$

(C.3)

分析公式 (C.1)，此模型属于连乘连除的数学模型，可以使用相对不确定度进行计算。即：

$$u_{\text{rel}}^2(\beta_{\text{物镜实测}}) = u_{\text{rel}}^2(L_{\text{实测}}) + u_{\text{rel}}^2(L_{\text{标准}}) \quad (\text{C.4})$$

C.4 标准不确定度评定

C.4.1 $u_{\text{rel}}(\beta_{\text{物镜实测}})$ 的评定

C.4.1.1 不确定度分量 $u_{\text{rel}}(L_{\text{实测}})$

该分量不确定度来源主要包括目镜分化刻划误差、对零瞄准误差、估读误差、测量重复性等。

C.4.1.1.1 目镜分划尺刻划误差引入的标准不确定度 $u(L_{\text{实测}1})$

用目镜分划尺测量时，其引入的不确定度主要由两分划线间的最大允许误差决定，因为所用十字分划目镜任意两分划线间的 MPE 为 $\pm 5\mu\text{m}$ ，所用刻度范围 2mm 时，以均匀分布估计，其标准不确定度为：

$$u(L_{\text{实测}1}) = \frac{\text{MPE}}{\sqrt{3}} = \frac{0.005\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.003\text{mm}$$

C.4.1.1.2 对零瞄准误差引入的标准不确定度 $u(L_{\text{实测}2})$

对零瞄准时采用单线瞄准，估计其瞄准精度 $\alpha = 60''$ ，对于 10×物镜和 0.1mm 的十字分划目镜，其整体放大倍率为 $K = 10$ ，其瞄准误差为

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{0.002}{1 \times \sqrt{3}} \times \frac{250a}{\rho K} = \frac{0.002}{2 \times 10^5} \times \frac{250a}{10} = 0.0075\text{mm} \\ &= 0.0075\text{mm} \end{aligned}$$

以均匀分布估计，其标准不确定度为：

$$u(L_{\text{实测}2}) = \frac{\delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.0075\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.004\text{mm}$$

C.4.1.1.3 估读误差引入的标准不确定度 $u(L_{\text{实测}3})$

相应刻线间隔点测量时，采用观察标准刻线与被测刻线的符合程度确定刻线间隔误差，当存在不符合情况时，需要读出被测刻线与标准刻线的间隔量作为刻线间隔误差，读数采用估读的方式，其估读误差为十字分划目镜刻线分度的 1/5 即 0.1mm 的 1/5 即 $A = 0.02\text{m}$ ，其半宽为 0.01mm，以均匀分布估计，其标准不确定度为：

$$u(L_{\text{实测}3}) = \frac{A}{\sqrt{3}} = \frac{0.01\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.006\text{m}$$

C.4.1.1.4 测量重复性引入的不确定度 $u(\text{ref})$

进行 10 次重复性试验, 在分度值为 0.1mm 的十字分划目镜中得到如下结果: 19.6 格、19.6 格、19.8 格、19.8 格、19.8 格、19.8 格、19.6 格、19.6 格、20.0 格、20.0 格, 平均值为 19.8 格

用贝赛尔公式试验标准偏差:

$$\text{单次测量实验标准差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1}} = 0.16 \text{ 格}$$

由于 1 格为 0.1mm, 因此, $s = 0.16 \text{ 格} \times 0.1 \text{ mm/格} = 0.016 \text{ mm}$

$L_{\text{实测}} = 19.8 \text{ 格} \times 0.1 \text{ mm/格} = 1.98 \text{ mm}$

实际测量中, 取次测量结果算术平均值为测量结果, 可得到:

$$u(\text{ref}) = s/\sqrt{2} = 0.011 \text{ mm}$$

C.4.1.1.5 四项合并

$$\begin{aligned} u(L_{\text{实测}}) &= \sqrt{u^2(L_{\text{实测}1}) + u^2(L_{\text{实测}2}) + u^2(L_{\text{实测}3}) + u^2(\text{ref})} \\ &= \sqrt{0.003^2 + 0.004^2 + 0.006^2 + 0.011^2} = 0.013 \text{ mm} \\ u_{\text{rel}}(L_{\text{实测}}) &= u(L_{\text{实测}}) / L_{\text{实测}} = 0.013 / 1.98 = 0.0068 \end{aligned}$$

C.4.1.2 不确定度分量 $u_{\text{rel}}(L_{\text{标准}})$

该分量不确定度来源主要为玻璃线纹尺不准。

C.4.1.2.1 玻璃线纹尺不准引入的标准不确定度 $u_{\text{rel}}(L_{\text{标准}1})$

所用玻璃线纹尺经校准, 依据上级校准证书, 其扩展不确定度为 $U = 1.0 \mu\text{m}$ $k=2$, 以均匀分布估计, 其标准不确定度为:

$$u(L_{\text{标准}1}) = \frac{U}{2} = 0.5 \mu\text{m}$$

$$u_{\text{rel}}(L_{\text{标准}1}) = \frac{u(L_{11})}{0.2 \times 1000} = 0.0025$$

$$\text{即: } u_{\text{rel}}(L_{\text{标准}}) = u_{\text{rel}}(L_{\text{标准}1}) = 0.0025$$

C.5 合成标准不确定度

$$u_{\text{rel}}(\beta_{\text{物镜实测}}) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(L_{\text{实测}}) + u_{\text{rel}}^2(L_{\text{标准}})}$$

$$\text{即: } u_{\text{rel}}(\beta_{\text{物镜实测}}) = \sqrt{0.0068^2 + 0.0025^2} = 0.0072$$

$$u(\beta_{\text{物镜实测}}) = u_{\text{rel}}(\beta_{\text{物镜实测}}) \times \beta = 0.0072 \times 10 = 0.072$$

$$u_{\text{crel}}^2(\Delta\beta_{\text{相对}}) = (u(\beta_{\text{物镜实测}}) / \beta_{\text{物镜标称}})^2 = (0.072 / 10)^2$$

$$u_{\text{crel}}(\Delta\beta_{\text{相对}}) = 0.0072$$

C.6 扩展不确定度

按照 $k=2$, 则

$$U_{\text{rel}}(\Delta\beta_{\text{相对}})=k \times u_{\text{crel}}(\Delta\beta_{\text{相对}})=2 \times 0.0072=0.015=1.5\%$$

C.7 结语

依据本校准方法, 金相显微镜物镜放大倍数相对误差应不超过 $\pm 5\%$, 而文中分析的测量不确定度结果小于等于最大允许误差的三分之一。由此可见, 此方法科学可行。

附录 D

金相显微镜示值误差测量结果不确定度评定

D.1 测量方法

根据物镜的不同放大倍数，在载物台上放置分度值为 0.1mm 的玻璃线纹尺，调焦至目镜视场清晰，移动载物台，调整玻璃线纹尺的刻线方向与目镜标尺刻线平行，将目镜中的玻璃线纹尺首条刻线与目镜中标尺左端首条刻线对齐，观察目镜中刻度标尺上被测点的刻线与玻璃线纹尺的对应刻线的一致性，在目镜标尺上估读出误差值 ΔL 。下面以 10×物镜放大倍数，10×目镜放大倍数，总的放大倍数 100×为例进行评定，所用目镜刻度标尺为 100 个分度，标尺长度为 100mm，即分度值为 1mm，由于总的放大倍数为 100×，因此实际测量的分度值为 1mm/100=0.01mm，玻璃线纹尺的刻度范围为 1mm，分度值为 0.1mm。

D.2 测量模型

$$\Delta L = L_0 - L_s \quad (\text{D.1})$$

式中

ΔL —校准点的示值误差，mm；

L_0 —所用玻璃线纹尺间距在目镜中测得的实际值，mm；

L_s —所用玻璃线纹尺间距的标准值，mm。

D.3 不确定度传播公式和灵敏系数

考虑各分量彼此独立得：

$$u^2(\Delta L) = c_1^2 u^2(L_0) + c_2^2 u^2(L_s) \quad (\text{D.2})$$

式 (D.2) 中： $c_1=1$ ； $c_2=-1$ 。

D.4 计算分量的标准不确定度

D.4.1 $u(L_{01})$ 的评定

该分量不确定度来源主要包括目镜刻度标尺分辨力、测量重复性、零位对线误差、估读误差四项。

D4.1.1 目镜刻度标尺分辨力引入的标准不确定度分量 $u(L_{01})$

目镜刻度标尺实际测量的分度值为 0.01mm，其分辨力为 5 μ m，分辨力半宽为 2.5 μ m，以均匀分布估计，其标准不确定度为：

$$u(L_{01}) = \frac{2.5}{\sqrt{3}} = 1.4\mu\text{m}$$

D4.1.2 测量重复性引入的不确定度 $u(\text{ref})$

在正常工作及重复条件下，进行 10 次重复性试验，在目镜中得到如下结果：99.6 格、99.6 格、99.8 格、99.8 格、100.0 格、99.8 格、99.6 格、99.6 格、100.2 格、100.0 格，平均值为 99.8 格。

用贝赛尔公式试验标准偏差：

$$\text{单次测量实验标准差：} s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1}} = 0.21 \text{ 格}$$

由于 1 格为 0.01mm，因此， $s = 0.21 \text{ 格} \times 0.01\text{mm/格} = 0.0021\text{mm}$

$$L_0 = 99.8 \text{ 格} \times 0.01\text{mm/格} = 0.998\text{mm}$$

实际测量中，取 2 次测量结果算术平均值为测量结果，可得到：

$$u(\text{ref}) = s/\sqrt{2} = 1.5\mu\text{m}$$

由于重复性引入的不确定度分量 $u(\text{ref})$ 大于分辨力引入的不确定度分量 $u(L_{01})$ 。两者取其大者，因此，由分辨力引入的不确定度分量 $u(L_{01})$ 可忽略不计。

D4.1.3 零位对线误差引入标准不确定度分量 $u(L_{03})$

根据经验，零位对线误差约为目镜刻度标尺实际测量分度值 0.01mm 的 1/5，即 2 μ m，其半宽为 1 μ m，以均匀分布估计，其标准不确定度为：

$$u(L_{03}) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.6\mu\text{m}$$

D4.1.4 估读误差引入的标准不确定度 $u(L_{04})$

相应刻线间隔点测量时，采用观察标准刻线与被测刻线的符合程度确定刻线间隔误差，当存在不符合情况时，需要读出被测刻线与标准刻线的间隔量作为刻线间隔误差，读数采用估读的方式，其估读误差为目镜刻度标尺实际测量分度值 0.01mm 的 1/5 即 2 μ m，其半宽 $A = 1\mu\text{m}$ ，以均匀分布估计，其标准不确定度为：

$$u(L_{04}) = \frac{A}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.6\mu\text{m}$$

D4.1.5 三项合并

$$u(L_0) = \sqrt{u^2(ref) + u^2(L_{03}) + u^2(L_{04})}$$

$$= \sqrt{1.5^2 + 0.6^2 + 0.6^2} = 1.7\mu\text{m}$$

D.4.2 不确定度分量 $u(L_s)$

该分量不确定度来源主要为玻璃线纹尺不准。

D.4.2.1 玻璃线纹尺不准引入的标准不确定度 $u(L_{s1})$

所用玻璃线纹尺经校准，依据上级校准证书，其扩展不确定度为 $U=1.0\mu\text{m}$ $k=2$ ，以均匀分布估计，其标准不确定度为：

$$u(L_{s1}) = \frac{U}{2} = 0.5\mu\text{m}$$

$$\text{即： } u(L_s) = u(L_{s1}) = 0.5\mu\text{m}$$

D.5 合成标准不确定度

$$u(\Delta L) = \sqrt{c_1^2 \cdot u^2(L_0) + c_2^2 \cdot u^2(L_s)} = \sqrt{(1)^2 \cdot 1.7^2 + (-1)^2 \cdot 0.5^2} = 1.8\mu\text{m}$$

D.6 扩展不确定度

按照 $k=2$ ，则 $U = k \times u(\Delta L) = 2 \times 1.8\mu\text{m} = 3.6\mu\text{m} \approx 4\mu\text{m}$

D.7 结语

依据本校准方法，金相显微镜示值误差应不超过 $\pm 15\mu\text{m}$ ，而文中分析的测量不确定度结果小于等于最大允许误差的三分之一。由此可见，此方法科学可行。