



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 571—2004

读数、测量显微镜

Reading Microscope and Measuring Microscope

2004 - 09 - 21 发布

2005 - 03 - 21 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

读数、测量显微镜检定规程

**Verification Regulation of Reading
Microscope and Measuring Microscope**

JJG 571—2004
代替 JJG 904—1996
代替 JJG 571—1988

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2004 年 09 月 21 日批准，并自 2005 年 03 月 21 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：中国计量科学研究院

河南省计量测试研究所

参加起草单位：中国航空工业第一集团公司第三〇四研究所

本规程委托全国几何量工程参量计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

朱小平 （中国计量科学研究院）

张卫东 （河南省计量测试研究所）

张 恒 （中国计量科学研究院）

参加起草人：

赵新丽 （中国航空工业第一集团公司第三〇四研究所）

王蔚晨 （中国计量科学研究院）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量性能要求	(2)
4.1 圆工作台受径向力时引起的位移	(2)
4.2 玻璃台面与纵、横向滑板移动方向的平行度	(2)
4.3 纵、横向滑板移动的直线度	(2)
4.4 纵、横向滑板移动的相互垂直度	(2)
4.5 显微镜升降方向对玻璃台面的垂直度	(2)
4.6 圆工作台的示值误差	(2)
4.7 显微镜的示值误差	(2)
4.8 回程误差	(2)
5 通用技术要求	(3)
5.1 外观	(3)
5.2 各部分的相互作用	(3)
5.3 显微镜各刻线间的相对位置	(3)
5.4 棱镜座转动引起影像的位移	(4)
5.5 螺旋线分划板中心与回转中心的重合性	(4)
6 计量器具控制	(4)
6.1 检定条件	(4)
6.2 检定项目	(4)
6.3 检定方法	(4)
6.4 检定结果的处理	(9)
6.5 检定周期	(9)
附录 A 读数显微镜示值误差检定结果的不确定度分析	(10)
附录 B 测量显微镜示值误差检定结果的不确定度分析	(12)
附录 C 检定螺旋线分划中心与其回转中心重合性的检定装置	(14)
附录 D 检定证书和检定结果通知书内页格式	(15)

读数、测量显微镜检定规程

1 范围

本规程适用于分度值不大于 0.01 mm、测量范围上限至 8 mm 的读数显微镜，以及分度值不大于 0.01 mm、测量范围：纵向为（0~50）mm、横向为（0~13）mm 的测量显微镜的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

本规程引用下列文献：

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

JJF 1094—2002 测量仪器特性评定

JB/T 2369—1993 读数显微镜

JB/T 9339—1999 测量显微镜

使用本规程时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 概述

读数显微镜和测量显微镜（以下简称显微镜）都是光学机械式长度计量仪器，读数显微镜主要作为长度计量仪器中的瞄准定位读数装置，也可单独用于刻线宽度、间距等长度量的测量；测量显微镜的主要用途是通过影像法以直角坐标或极坐标原理测量零件的形状尺寸。读数显微镜外形结构如图 1、图 2、图 3 所示，测量显微镜外形结构如图 4 所示。

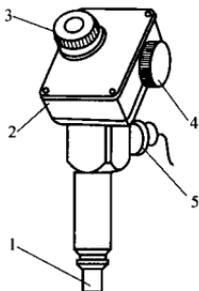


图 1 读数显微镜外形图之一

1—物镜；2—测微分划板盒；
3—目镜；4—测微旋钮；5—照明灯

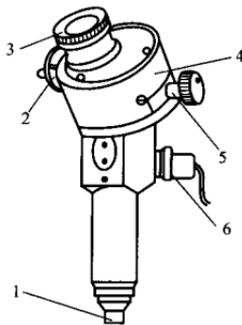


图 2 读数显微镜外形图之二

1—物镜；2—测微旋钮；3—目镜；
4—测微分划板盒；5—零位调整旋钮；6—照明灯

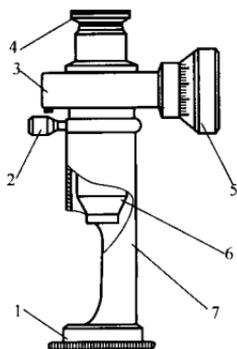


图3 读数显微镜外形图之三

- 1—镜筒座盘；2—紧固螺钉；3—分划板盒；
4—目镜；5—测微鼓轮；
6—物镜；7—镜筒

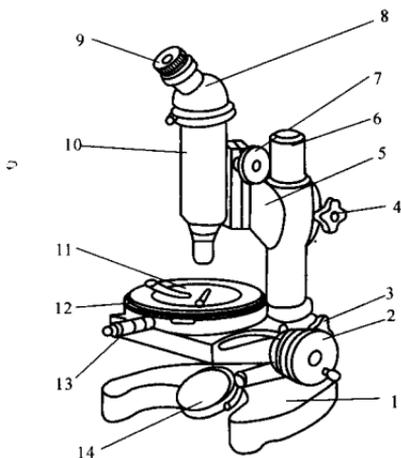


图4 测量显微镜外形图

- 1—基座；2—纵向测微鼓轮；3、4—紧固螺钉；5—臂架；
6—立柱；7—显微镜升降旋钮；8—棱镜座；9—目镜；
10—显微镜管；11—玻璃台；12—圆工作台；
13—横向测微鼓轮；14—反射镜

4 计量性能要求

4.1 圆工作台受径向力时引起的位移

圆工作台受径向力 5N 时引起的位移量应不超过 0.01 mm。

4.2 玻璃台面与纵、横向滑板移动方向的平行度

在纵向 50 mm 长度上应不超过 0.04 mm；在横向 13 mm 长度上应不超过 0.01 mm。

4.3 纵、横向滑板移动的直线度

纵、横向滑板移动的直线度（以角摆表示）应不大于 25''。

4.4 纵、横向滑板移动的相互垂直度

纵、横向滑板移动的相互垂直度应不超过 $\pm 0.003 \text{ mm}/10 \text{ mm}$ 。

4.5 显微镜升降方向对玻璃台面的垂直度

显微镜升降方向对玻璃台面的垂直度应不超过 5'。

4.6 圆工作台的示值误差

圆工作台的最大允许误差 6'。

4.7 显微镜的示值误差

最大允许误差见表 1 要求。

4.8 回程误差

最大允许误差见表 1 要求。

表 1 显微镜物镜放大倍数误差、回程误差和示值误差的要求

仪器名称	分度值/mm	最大允许误差/ μm		
		物镜放大倍数	回程误差	示值误差
读数显微镜	0.01	± 5	5	10
	0.005	± 3	2.5	5
	0.0025	± 1.5	1.5	2.5
	0.001	± 0.5	0.5	0.8
	0.0005	± 0.3	0.3	0.6
测量显微镜	≤ 0.01	—	2	$5 + L/15$ (L ——测量长度, mm)

5 通用技术要求

5.1 外观

5.1.1 仪器应标有名称、型号、编号、制造厂名称(或厂标)及 **MC** 标志。

5.1.2 仪器工作面应无锈迹、碰伤、明显划痕等缺陷,仪器的涂、镀层应无脱落现象。

5.1.3 光学系统在整个视场内成像应清晰,视场内应无油迹、灰尘、水渍和霉点等影响使用的疵病。

5.1.4 显微镜测微鼓轮、套管和分划板上刻线应平直、清晰、均匀,无断线和脱漆(或脱色)现象,数字亦应清晰。

5.1.5 读数显微镜的毫米刻线与十字线之间、0.1 mm 刻度尺与螺旋线分划板之间、指标线与微米刻线之间均应无目力可见的视差。

后续检定和使用中检验的仪器,允许有不影响计量性能的上述缺陷。

5.2 各部分的相互作用

5.2.1 仪器各活动部分运动应灵活平稳,无卡滞和跳动现象。紧固螺钉的作用应可靠有效。

5.2.2 测微鼓轮的行程应大于工作行程,在超始和最终位置上均应大于 0.3 mm。

5.2.3 测微鼓轮的微分筒锥面内棱边与固定套管刻线面之间的距离应不大于 0.4 mm。

5.3 显微镜各刻线间的相对位置

5.3.1 图 1、图 2 结构的读数显微镜指标线与微米刻线应平行,指标线应盖住微米刻度尺短刻线长度的 7/10 以上,但不应超过微米刻度尺短刻线的长度。

5.3.2 图 1 结构的读数显微镜的微米刻度尺运动方向与刻度尺轴线的平行度应不大于微米刻度尺短刻线长度的 1/5。

5.3.3 图 2 结构的读数显微镜 0.1 mm 刻度尺与螺旋线分划板之间应无目力可见的歪斜,当螺旋线对准 0.1 mm 刻度尺上的 0.5 mm 刻线时,指标线偏离微米刻度尺零刻线不超过 0.001 mm。

5.3.4 图3结构的读数显微镜，十字线的竖线应与毫米刻线平行。当十字线竖线对准毫米刻度尺的零刻线时，测微鼓轮的零位应对准指标线，其偏移量不超过1/5个分度；当测微鼓轮转动100个分度时，十字线竖线应移动到对应刻线位置，其偏移量不超过1个分度。

十字线分划板运动方向与毫米刻度尺轴线的平行度应不大于毫米刻线长度的1/10。

5.3.5 图4结构的测量显微镜，当纵向读数装置上测微鼓轮的零线与指标线对准后，毫米刻线对指标线的偏移量应不超过0.1 mm；当横向读数装置上微分筒的零线与固定套管的纵线对准后，微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线右边缘应相切，离线不大于0.1 mm或压线不大于0.05 mm。

5.4 棱镜座转动引起影像的位移

棱镜座转动引起影像的位移量应不超过视场直径的1/6。

5.5 螺旋线分划板中心与回转中心的重合性

螺旋线分划板中心与回转中心的重合性应无目力可见的偏移。

6 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中的检验。

6.1 检定条件

6.1.1 检定环境条件见表2。

表2 检定环境条件

仪器名称	环 境 条 件			
	分度值/mm	室温/℃	室温变化/(℃/h)	被检仪器在室内平衡温度时间/h
读数显微镜	0.01	20 ± 5	≤ 1	≥ 3
	0.005			
	0.0025			
	0.001	20 ± 3		
	0.0005			
测量显微镜	≤ 0.01	20 ± 5		≥ 12

6.1.2 检定设备

主要检定设备见表3。

6.2 检定项目

各检定项目和检定类别见表3。

6.3 检定方法

6.3.1 外观

目力观察。

6.3.2 各部分相互作用

表3 检定项目、检定类别和主要检定设备

序号	检定项目	主要检定设备	检定类别			检定项目说明	
			首次检定	后续检定	使用中检验	读数显微镜	测量显微镜
1	外观	—	+	+	+	△	△
2	各部分相互作用	0.4 mm的Ⅱ级塞尺	+	+	+	△	△
3	显微镜各刻线间的相对位置	—	+	+	+	△	△
4	棱镜座转动引起影像的位移	十字线分划板	+	-	-	×	△
5	圆工作台受径向力引起的位移	十字线分划板、 分度值 $\leq 0.1N$ 测力计	+	-	-	×	△
6	玻璃台面与纵横向滑板移动方向的平行度	0级千分表	+	-	-	×	△
7	纵、横向滑板移动的直线度	1"自准直仪	+	-	-	×	△
8	纵横向滑板移动的相互垂直度	$\pm 3''$ 四方体分度值为 0.002 mm杠杆千分表	+	-	-	×	△
9	显微镜升降方向对玻璃台面的垂直度	十字线分划板、 40 mm平行平晶	+	-	-	×	△
10	圆工作台的示值误差	2级刀口直角尺	+	+	+	×	△
11	螺旋线分划板中心与回转中心的重合性	分度值为0.01mm, 测量范围(0~1)mm, $U = 0.2 \mu\text{m}$ ($k=3$) 专用玻璃刻度尺; 分度值为	+	-	-	△	×
12	显微镜的示值误差	0.1 mm, 测量范围(0~10)mm, $U = 0.5 \mu\text{m}$ ($k=3$) 专用玻璃刻度尺; 二等标准玻璃线纹尺和读数显微镜检定装置	+	+	+	△	△
13	回程误差		+	+	-	△	△

注:

- 表中“+”表示应检定,“-”表示可不检定。
- 由于仪器结构的不同,仪器不具备某一检定项目所涉及的功能时,该项目可不检定。“×”表示不涉及该项目,“△”表示涉及该项目。

目力观察和手动试验。其中测微鼓轮微分筒锥面内棱边与固定套管刻线面之间的距离,用塞尺以比较法在微分筒转动一周内均匀分布的四个方位上进行测量。

6.3.3 显微镜各刻线间的相对位置

目力观察和手动试验。

6.3.4 棱镜座转动引起影像的位移

将十字线分划板平放在玻璃工作台上，借助显微镜的升降旋钮调整显微镜，使目镜视场内见到清晰的十字线影像。转动棱镜座一周，观察十字线影像的最大位移量作为测量结果。

6.3.5 圆工作台受径向力引起的位移

在玻璃工作台上安置十字线分划板，调整显微镜，使目镜中看到清晰的十字线影像。转动纵、横向读数装置的测微鼓轮，使十字线影像与目镜中的十字线对准，记下纵、横向测微鼓轮的读数 a_1 和 b_1 。在圆工作台侧面上加径向力 5N，撤掉外力后，转动测微鼓轮使两十字线再次对准，并记下纵横向测微鼓轮的读数 a_2 和 b_2 。圆工作台受径向力所引起的位移量 l 按式 (1) 计算。

$$l = \sqrt{(a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2} \quad (1)$$

式中： a_1 、 a_2 ——纵向测微鼓轮的读数，mm；

b_1 、 b_2 ——横向测微鼓轮的读数，mm。

6.3.6 玻璃台面与纵、横向滑板移动方向的平行度

借助表架将千分表固定在显微镜的物镜筒上，调整千分表使其测量轴线垂直于工作台面。升降显微镜，使表的测头与玻璃台面接触，并指示于行程中间的某一测值。分别移动纵、横向滑板整个工作行程，观察千分表的示值变化，各方向上示值最大变化量作为测量结果。

6.3.7 纵、横向滑板移动的直线度

将被检仪器和自准直仪安装在同一块平板上后，在圆工作台上安置反射镜。调整自准直仪和反射镜，使其光轴平行于一滑板移动方向。然后，在整个工作行程内移动该滑板，分别记下该滑板在水平和垂直两个方位上的最大示值变化量，取最大变化值作为该移动滑板的角摆。按同样方法测量另一滑板的角摆。

6.3.8 纵、横向滑板移动的相互垂直度

将四方体平放在玻璃台面上并加以固定，同时借助夹具把杠杆千分表固定在显微镜物镜筒上，调整杠杆千分表的测量轴线使其与横向滑板移动方向平行。移动横向滑板，使杠杆千分表测头与四方体的一个工作面接触。调整四方体使该工作面平行于纵向滑板移动方向，然后改变杠杆千分表的测量方向，使其测量轴线垂直于四方体的相邻工作面并与其接触。移动横向滑板 10 mm，记下杠杆千分表的示值变化量 a ，将其作为测量结果。

6.3.9 显微镜升降方向对玻璃台面的垂直度

测量时，将十字线分划板固定在玻璃台面上，升降显微镜直至在目镜中见到清晰的十字线影像。调整圆工作台，使十字线分划板的十字线与纵横向滑板移动方向平行，转动纵横向测微鼓轮，使十字线影像与目镜中的十字线对准，记下纵向和横向读数 a_1 和 b_1 。提升显微镜，将平行平晶放在十字线分划板上，升降显微镜直至目镜中见到清晰的十字线影像，转动纵横向测微鼓轮，使十字线影像再次与目镜中的十字线对准，记下

纵、横向读数 a_2 和 b_2 。按式 (2) 计算显微镜升降方向对玻璃台面的垂直度 Δ_c 。

$$\Delta_c = \frac{3438n \sqrt{(a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}}{L(n-1)} \quad (2)$$

式中： Δ_c ——显微镜升降方向对玻璃台面的垂直度，(′)；

L ——平行平晶的尺寸，mm；

n ——平行平晶的玻璃折射率；

a_1 、 a_2 ——纵向读数装置在两个位置上的示值，mm；

b_1 、 b_2 ——横向读数装置在两个位置上的示值，mm。

该项目也可采用满足不确定度要求的其他方法测量。

6.3.10 圆工作台的示值误差

先将圆工作台的示值对准于零位 a_0 ，把刀口直角尺平放在玻璃台面上并调焦。调整直角尺使其一刃边影像与目镜中十字线的水平线（或垂直线）平行，然后依次地转动圆工作台至 90° ， 180° ， 270° ，使直角尺的工作刃边影像交替地与目镜中十字线的水平线（或垂直线）平行，并记下圆工作台的示值 a_{90} ， a_{180} ， a_{270} 。按式 (3) 计算各测量点相对于零位的误差 δ_a 。以各点对零位的误差中最大值与最小值的差值为圆工作台的示值误差。

$$\delta_a = (a_i - a_0) - \alpha_i \quad (3)$$

式中： α_i ——分别取值 90° 、 180° 、 270° 。

6.3.11 螺旋线分划板中心与回转中心的重合性

将读数显微镜安装在检定装置上（见附录图 C1），把专用玻璃刻度尺放在检定装置的工作台上，调焦至毫米刻线清晰地成像在读数显微镜的视场内，使其中一条毫米刻线与螺旋线分划板中的辅助圆（或微米刻线端点）相切并转动螺旋线分划板一周，观察辅助圆（或微米刻线端点）与毫米刻线间有无相对位移。

6.3.12 显微镜的示值误差

6.3.12.1 读数显微镜

分度值为 0.0025mm ， 0.001mm ， 0.0005mm 的读数显微镜，用分度值为 0.01mm 的专用玻璃刻度尺测量；分度值为 0.01mm ， 0.005mm 的读数显微镜，用分度值为 0.1mm 的专用玻璃刻度尺测量。

分度值为 0.001mm 和 0.0005mm 的读数显微镜，首先将其安装在检定装置上（见附录图 C.1），再把刻度尺安放在检定装置的工作台上，调焦使专用玻璃刻度尺的刻线清晰地成像在读数显微镜的视场内，并使专用玻璃刻度尺轴线与读数显微镜的 0.1mm 刻度尺轴线平行，按串联形式排列。借助检定装置的工作台使专用玻璃刻度尺的零刻线处于读数显微镜 0.1mm 刻度尺的零位，用双刻线（或螺旋线）正向对准，正向重复读数 2 次取平均值记为 a_{10} ，然后借助检定装置的工作台移动专用玻璃刻度尺，使 0.12mm 刻线对准读数显微镜的 0.1mm 刻度尺的零刻线，用读数显微镜的双刻线（或螺旋线）正向对准专用玻璃刻度尺的零刻线，正向重复读数 2 次取平均值，记为 a_{11} 。用同样的方法按表 4 规定的受检点进行测量记下读数 a_{1i} ，适当越程后再依次进行反向测量记下读

数 b_{1i} 。重复上述正反行程测量，又得读数 a_{2i} 和 b_{2i} ，以正向两次读数 (a_{1i} , a_{2i}) 的平均值作为第 i 测量点正向示值 c_i ，取反向两次读数 (b_{1i} , b_{2i}) 的平均值作为第 i 测量点反向示值 e_i ，则各受检点对起始点的正向或反向示值误差按式 (4) 计算：

$$\delta_i = [(c_i - c_0) - L_i] \times 1000 \quad (4)$$

式中： δ_i ——各受检点的示值误差， μm ；

c_i , c_0 ——仪器各受检点和零点的正向或反向示值， mm ；

L_i ——专用玻璃刻度尺在第 i 受检点相对零点的实际尺寸， mm 。

表 4 受检点分布位置

mm

仪器名称	分度值	受检点分布位置	
读数显微镜	0.01	0, 1, 1.2, 2, 2.4, 3, 3.6, 4, 4.8, 5, 6, 7, 8	
	0.005	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 3	
	0.0025	0, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1	
	0.001	0, 0.12, 0.34, 0.56, 0.88, 1	
	0.0005		
测量显微镜	≤ 0.01	纵向	按 5 mm 间隔测量
		横向	3, 5, 8, 10, 13

对于分度值为 0.01mm, 0.005mm, 0.0025mm 的读数显微镜，先按前述方法进行安装调整，使专用玻璃刻度尺的轴线方向与读数显微镜视场中十字线移动方向一致。再将读数显微镜测微鼓轮的零刻线与指标线大致对准，同时使十字线分划板竖线对准专用玻璃刻度尺的零刻线，进行正向瞄准记下读数 a_{10} 。然后再转动测微鼓轮按表 4 规定的受检点移动十字线，并使其竖线正向对准专用玻璃刻度尺上相应刻线，分别记下读数 a_{1i} 。适当越程后再依次进行反向测量记下读数 b_{1i} ，重复上述正反行程测量又得读数 a_{2i} 和 b_{2i} 。以正向两次读数 (a_{1i} , a_{2i}) 的平均值作为第 i 测量点正向示值，取反向两次读数 (b_{1i} , b_{2i}) 的平均值作为第 i 测量点反向示值，则各受检点对起始点的正向或反向示值误差按式 (4) 计算。

以最大、最小正向示值误差之差作为正向行程示值误差。按同样的方法计算反向行程示值误差，取正、反行程示值误差中较大值作为测量结果。

6.3.12.2 测量显微镜

用标准玻璃刻度尺按表 4 受检点分布要求对纵横向读数装置分别进行测量。

将标准玻璃刻度尺放在玻璃台面上，转动测微鼓轮使所检坐标方向的示值大致处于零位。调整刻度尺轴线与纵向移动方向相平行，并使其零线与目镜中的十字线大致对准。然后正向转动测微鼓轮，使刻度尺的零线与目镜中的十字线对准，记下读数 a_{10} 。再正向转动测微鼓轮，并依次按表 4 受检点分布要求使玻璃刻度尺的对应刻线与目镜中的十字线对准，记下读数 a_{1i} 。适当越程后再依次进行反向测量记下读数 b_{1i} ，重复上述

正反行程测量又得读数 a_{2i} 和 b_{2i} 。以正向两次读数 (a_{1i}, a_{2i}) 的平均值作为第 i 测量点正向示值 c_i ，取反向两次读数 (b_{1i}, b_{2i}) 的平均值作为第 i 测量点反向示值 c_i ，则各受检点对起始点的正向或反向示值误差按式 (4) 计算。

以仪器纵向各点正向示值误差的最大、最小值之差作为纵向行程的正向示值误差，按同样的方法计算纵向行程的反向示值误差，取两者中较大值作为纵向行程示值误差。

在横向行程重复上述测量，得到横向行程示值误差。

6.3.13 回程误差

取 6.3.12 中同一测量点正、反向示值之差的最大值作为测量结果。

6.4 检定结果的处理

按本规程的规定和要求检定合格的读数、测量显微镜，发给检定证书；不合格的发给检定结果通知书，并注明不合格的项目及相应的检定结果。

6.5 检定周期

检定周期应根据实际使用情况确定，一般不超过 1 年。

附录 A

读数显微镜示值误差检定结果的不确定度分析

A.1 概述

A.1.1 环境条件：检定室的温度 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$

A.1.2 测量标准：分度值 0.01 mm 、测量范围 1 mm ， $U_{99} = 0.2\mu\text{m}$ 专用玻璃刻度尺

A.1.3 被测对象：分度值为 0.001 mm 的读数显微镜

A.1.4 测量方法：依照本规程 6.3.12.1 中规定的方法

A.1.5 评定结果的使用：对符合上述条件的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

A.2 数学模型

$$\delta = a - L + \Delta \quad (\text{A.1})$$

式中： a ——读数显微镜的示值， mm ；

L ——专用玻璃刻度尺的实际尺寸， mm ；

Δ ——环境温度和玻璃尺线膨胀系数差引入的误差；

δ ——读数显微镜相对于起始点的示值误差。

A.3 方差和灵敏系数：

由式 (A.1) 有：

$$\begin{aligned} u_c^2 &= \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u_{x_i}^2 \\ &= c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 = u_a^2 + u_L^2 + u_\Delta^2 \end{aligned}$$

式中： u_a ——读数显微镜示值的标准不确定度分量；

u_L ——专用玻璃刻度尺检定结果的标准不确定度分量；

u_Δ ——环境温度和玻璃尺线膨胀系数差引入的标准不确定度分量。

A.4 计算标准不确定度分量

A.4.1 读数显微镜示值的不确定度分量 u_a

15 次单向瞄准重复测量实验标准差为 $0.14\mu\text{m}$ ，由于每点示值误差是以 4 次单向读数的平均值、测量结果以最大与最小示值误差之差表示的，故

$$u_a = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{4}} \times 0.14\mu\text{m} = 0.10\mu\text{m}$$

$$\nu_a = 15 - 1 = 14$$

A.4.2 专用玻璃刻度尺的检定值引入的标准不确定度分量 u_L

专用玻璃刻度尺的刻线间距检定结果不确定度为 $0.2\mu\text{m}$ ，估计相对不确定度为 10%，则

$$u_L = \frac{0.2\mu\text{m}}{3} = 0.07\mu\text{m} \quad \nu_L = \frac{1}{2 \times (10\%)^2} = 50$$

A.4.3 环境温度和玻璃线膨胀系数差引入的标准不确定度分量 u_{Δ}

由于读数显微镜标尺仅为几毫米，检定用标准玻璃尺为（0~1）mm 测量范围，受温度影响小，同时读数显微镜标尺和标准玻璃尺均为玻璃材质，其线膨胀系数差小，故环境温度和玻璃线膨胀系数差引入的标准不确定度分量可忽略不计，即 $u_{\Delta} \approx 0$ 。

A.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_a^2 + u_L^2 + u_{\Delta}^2} = \sqrt{0.10^2 + 0.07^2} \approx 0.12 \text{ (}\mu\text{m)}$$

A.6 有效自由度

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^3 \frac{u_i^4}{\nu_i}} = \frac{0.12^4}{\frac{0.10^4}{14} + \frac{0.07^4}{50}} = 27$$

A.7 扩展不确定度

取 95% 的置信概率，在有效自由度为 27 时，查 t 分布表得 $t_{0.95}(27) = 2.05$ ，故 $U = t_{0.95}(27) u_c = 2.05 \times 0.12 \approx 0.25(\mu\text{m})$

表 A.1 不确定度分布一览表

序号	类别	影响分量 x_i	误差分布	标准不确定度 $u(x_i)$	灵敏系数 $ c_i $	自由度 ν_i
1	A 类	读数重复性	正态分布	0.10 μm	1	14
2	B 类	标准器误差	正态分布	0.07 μm	1	50

检定结果扩展不确定度与读数显微镜的示值误差比值 $U/\delta = 0.25/0.8 = 0.31$ ，小于三分之一。因此，上述检定方法可行。

附录 B

测量显微镜示值误差检定结果的不确定度分析

B.1 概述

B.1.1 环境条件：检定室的温度 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$

B.1.2 测量标准：分度值 1 mm，测量范围 100 mm， $U_{99} = 1 \mu\text{m}$ 二等玻璃线纹尺

B.1.3 被测对象：分度值为 0.01 mm 的测量显微镜

B.1.4 测量方法（依据本检定规程）：

依照规程 6.3.12.2 中规定的方法进行测量。

B.1.5 评定结果的使用

对符合上述条件的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

B.2 数学模型

$$\delta = a - L + \Delta \quad (\text{B.1})$$

式中： a ——读数显微镜的示值，mm；

L ——专用玻璃刻度尺的实际尺寸，mm；

Δ ——环境温度和玻璃尺线膨胀系数差引入的误差；

δ ——读数显微镜相对于起始点的示值误差。

B.3 方差和灵敏系数

由式 (B.1) 有：

$$u_c^2 = u_a^2 = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u_x^2$$

$$u_c^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 = u_a^2 + u_L^2 + u_\Delta^2$$

式中： u_a ——读数显微镜示值的不确定度分量；

u_L ——专用玻璃刻度尺检定结果的不确定度分量；

u_Δ ——环境温度和玻璃尺线膨胀系数差引入的不确定度分量。

B.4 计算标准不确定度分量

B.4.1 测量读数重复性的标准不确定度分量 u_A

对同一刻线进行 15 次重复瞄准测量的实验标准差为 $0.8 \mu\text{m}$ ，由于示值误差是以 2 次单向读数的平均值来计算的，所以

$$s = u_A = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 0.80 \mu\text{m} = 0.57 \mu\text{m}$$

$$\nu_A = 15 - 1 = 14$$

B.4.2 标准玻璃线纹尺示值的不确定度分量 u_L

玻璃线纹尺的检定极限误差 $1.0 \mu\text{m}$ ，相对不确定度为 10%，按正态分布，则

$$u_L = 1.0/3 = 0.33 (\mu\text{m})$$

$$\nu_L = \frac{1}{2 \times (10\%)^2} = 50$$

B.4.3 温度和线膨胀系数差的修正量产生的不确定度分量 u_{Δ}

B.4.3.1 测量显微镜标尺与标准玻璃线纹尺的线膨胀系数差产生的不确定度分量 $u_{\Delta 1}$

线膨胀系数差的测量不确定度在 $\pm 1 \times 10^{-6}$ 的范围内服从均匀分布, $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$, 估计相对不确定度为 10%, 测量长度为 50 mm 时, 则

$$u_{\Delta 1} = 50 \times 5 \times 1.0 \times 10^{-6} / \sqrt{3} = 0.14 (\mu\text{m})$$

$$\nu_{\Delta 1} = \frac{1}{2 \times (10\%)^2} = 50$$

B.4.3.2 测量显微镜标尺与标准玻璃线纹尺的温度差产生的不确定度分量 $u_{\Delta 2}$

等温后, 仪器与玻璃尺的温度差估计在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 范围内服从均匀分布, 相对不确定度为 20%, 则

$$u_{\Delta 2} = 50 \times 10.5 \times 10^{-6} \times 1 / \sqrt{3} = 0.30 (\mu\text{m})$$

$$\nu_{\Delta 2} = \frac{1}{2 \times (20\%)^2} = 12$$

$$u_{\Delta} = \sqrt{u_{\Delta 1}^2 + u_{\Delta 2}^2} = 0.33 \mu\text{m}$$

$$\nu_{\Delta} = \frac{u_{\Delta}^4}{\frac{u_{\Delta 1}^4}{\nu_{\Delta 1}} + \frac{u_{\Delta 2}^4}{\nu_{\Delta 2}}} = \frac{0.33^4}{\frac{0.14^4}{50} + \frac{0.30^4}{12}} = 17$$

B.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_L^2 + u_{\Delta}^2} = \sqrt{0.57^2 + 0.33^2 + 0.33^2} = 0.73 (\mu\text{m})$$

B.6 有效自由度

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\frac{S^4}{\nu_i} + \frac{u_L^4}{\nu_L} + \frac{u_{\Delta}^4}{\nu_{\Delta}}} = \frac{0.73^4}{\frac{0.57^4}{14} + \frac{0.33^4}{50} + \frac{0.33^4}{17}} = 34$$

B.7 扩展不确定度

取 95% 的置信概率, 在有效自由度为 34 时, 查 t 分布表得 $t_{0.95}(34) = 2.03$, 故

$$U = t_{0.95}(34) u_c = 2.03 \times 0.73 \approx 1.5 (\mu\text{m})$$

表 B.1 不确定度分布一览表

序号	类别	影响分量 x_i	误差分布	标准不确定度 $u(x_i)$	灵敏系数 $ c_i $	自由度 ν_i
1	A 类	读数重复性	正态分布	0.57 μm	1	14
2	B 类	标准器误差	均匀分布	0.33 μm	1	50
3	B 类	温度和线膨胀系数差	均匀分布	0.33 μm	1	17

检定结果扩展不确定度与测量显微镜的示值误差比值 $U/\delta = 1.5/8.3 = 0.18$, 小于三分之一。因此, 上述检定方法可行。

附录 C

检定螺旋线分划中心与其回转中心重合性的检定装置

读数显微镜的检定装置可用光切显微镜去掉测量臂架，换上立式光学计的臂架组成。检定装置亦可用其他仪器组成，但必须具备可作纵、横向移动的工作台和用于安装读数显微镜的臂架。

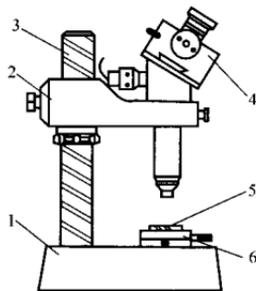


图 C.1

1—底座；2—臂架；3—立柱；4—读数显微镜；5—标准玻璃刻度尺；6—二维工作台

附录 D

检定证书和检定结果通知书内页格式

D.1 检定证书内页格式

检 定 结 果

温度： ℃

相对湿度： %

序号	主要检定项目		检定结果
1	读数显微镜示值误差		
2	测量显微镜纵横向滑板移动的纵横向滑板移动的直线度		
3	测量显微镜纵横向滑板移动的相互垂直度		
4	测量显微镜圆工作台的示值误差		
5	测量显微镜 示值误差	纵向示值误差	
6		横向示值误差	
7	回程误差		
检定依据：JJG571—2004 读数、测量显微镜			

D.2 检定结果通知书内页格式

具体要求同 D.1，并指出不合格项目。

检定结果：应给出量化的值（不要简单给“不合格”三字）