



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 73—2005

高等别线纹尺

High - precision Line Scale

2005 - 09 - 05 发布

2006 - 03 - 05 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

高等别线纹尺检定规程

Verification Regulation of
High - precision Line Scale

JJG 73—2005
代替 JJG 73—1994
JJG 170—1994

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2005 年 9 月 5 日批准，并自 2006 年 3 月 5 日起施行。

归口单位： 全国几何量长度计量技术委员会

起草单位： 中国计量科学研究院

航空一集团北京长城计量测试研究所

本规程委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规程起草人：

邹玲丁 （中国计量科学研究院）

沈雪萍 （中国计量科学研究院）

牛立新 （航空一集团北京长城计量测试研究所）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
3.1 结构	(1)
3.2 用途	(2)
4 计量性能要求	(2)
4.1 一、二等标准线纹尺的外形尺寸	(2)
4.2 材料线膨胀系数	(3)
4.3 表面粗糙度	(3)
4.4 刻线面的平面度	(3)
4.5 刻线面与非刻线面(或基面)的平行度	(3)
4.6 刻线宽度和长度	(3)
4.7 纵轴线	(3)
4.8 纵轴线与刻线的垂直度	(4)
4.9 准确度等别	(4)
4.10 稳定性	(4)
5 通用技术要求	(4)
5.1 外观	(4)
5.2 刻线质量	(4)
5.3 其他	(4)
6 计量器具控制	(5)
6.1 检定条件	(5)
6.2 检定项目和主要检定工具	(5)
6.3 检定方法	(6)
6.4 检定结果的处理	(8)
6.5 检定周期	(8)
附录 A 在激光干涉比长仪上检定线纹尺长度时的一些建议	(9)
附录 B 检定证书及检定结果通知书(内页)格式	(11)

高等别线纹尺检定规程

本规程参照了 OIML R98 1991 High - precision line measures of length (高精度线纹尺) 中第 3 部分“一般的技术要求”及第 4 部分“计量学要求”的内容。

1 范围

本规程适用于高等别线纹尺的首次检定、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

JJG 2001—1987 线纹计量器具检定系统

JJF 1094—2002 测量仪器特性评定

OIML R98 1991 High - precision line measures of length (高精度线纹尺)

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

3.1 结构

3.1.1 高等别玻璃线纹尺

高等别玻璃线纹尺包括一、二等标准玻璃线纹尺和其他非标准玻璃线纹尺。

一、二等标准玻璃线纹尺(见图 1, 以下简称玻璃尺), 采用光学玻璃或石英玻璃制造, 横截面为矩形。有刻线的面称为刻线面, 其相对面为非刻线面, 其余 4 个面为侧面, 光学玻璃的材料线膨胀系数一般为 $\alpha \approx 10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 石英玻璃的材料线膨胀系数一般为 $\alpha \approx 1.0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 在刻线面上刻有间隔为 1mm 的刻线。

玻璃尺可以胶合有用同样材料制成、并且有相同尺寸和技术要求的保护玻璃。

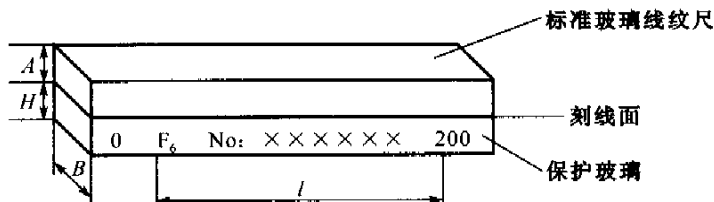


图 1 玻璃尺

l —“白塞尔”支点标记之间的距离； A —尺的厚度； B —尺的宽度； H —保护玻璃的厚度

3.1.2 高等别金属线纹尺

高等别金属线纹尺包括一、二等标准金属线纹尺和其他非标准金属线纹尺。

一、二等标准金属线纹尺（见图 2，以下简称金属尺）一般采用含 Ni58% 的镍钢或低膨胀系数钢制造，其横截面一般为 H 型。金属尺有刻线的面称为刻线面，又称为中性面，底面称为基面。在刻线面上刻有间隔为 1mm 的一排刻线。对于一、二等标准金属线纹尺，其零刻线前及末端刻线后 2mm 处，分别刻有 11 条辅助刻线，它们之间的间隔为 0.1mm。

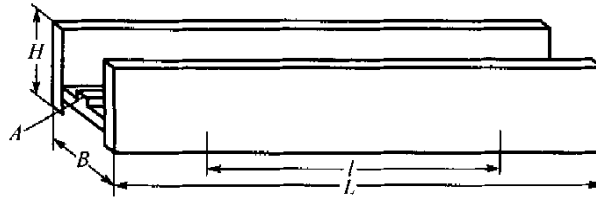


图 2 金属尺

L —尺坯全长； H —尺高； B —尺宽； A —中性面； l —“白塞尔”支点标记之间的距离

3.2 用途

主要用于检定万能工具显微镜、投影仪、线纹比较仪等精密计量仪器 and 精密机床，高等别线纹尺还可用于检定较低等别的线纹尺。

4 计量性能要求

4.1 一、二等标准线纹尺的外形尺寸

一、二等标准线纹尺的外形尺寸如表 1。

表 1 一、二等标准线纹尺的外形尺寸

型号	横截面形状	尺寸/mm		标称长度/mm
		厚度（或尺高）	宽度	
金属尺		25	30	到 1000
		36	40	小于 1000
玻璃尺		10	20	到 250
		20	30	到 500

注：非标准高等别的线纹尺尽可能参照表 1 中的外形尺寸制造。

4.2 材料线膨胀系数

在 $(+15 \sim +30)^\circ\text{C}$ 的温度区间材料线膨胀系数的偏差范围要求如下：

$$\text{玻璃尺为 } \Delta\alpha = \pm 0.5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{金属尺为 } \Delta\alpha = \pm 0.3 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

材料线膨胀系数一般由生产厂提供。

4.3 表面粗糙度

表面粗糙度见表 2。

表 2 表面粗糙度

	刻线面的表面粗糙度 (μm)	非刻线面的表面粗糙度 (μm)	侧表面的表面粗糙度 (μm)
玻璃尺	$\leq R_a 0.01$ 或 $\leq R_z 0.05$	$\leq R_a 0.01$ 或 $\leq R_z 0.05$	$\leq R_a 2$ 或 $\leq R_z 10$
金属尺	$\leq R_a 0.01$ 或 $\leq R_z 0.05$	$\leq R_a 0.32$ 或 $\leq R_z 1.6$	—

4.4 刻线面的平面度

刻线面的平面度见表 3。

表 3 刻线面的平面度

项 目 等 别	玻璃尺刻线面和非刻线面 (μm)	金属尺刻线面 (μm)
一等	≤ 1.2	≤ 10
二等及其他	≤ 1.5	≤ 16

4.5 刻线面与非刻线面（或基面）的平行度

刻线面与非刻线面（或基面）的平行度见表 4。

表 4 刻线面与非刻线面（或基面）的平行度

项 目 等 别	玻璃尺刻线面与非刻线面 的平行度 (μm)	金属尺刻线面与基面的 平行度 (μm)
一等	≤ 20	≤ 20
二等及其他	≤ 30	≤ 25

4.6 刻线宽度和长度

玻璃尺的线宽为 $(4 \sim 8) \mu\text{m}$ ，线宽之差不大于 $1.0 \mu\text{m}$ ，刻线长度为 $(0.3 \sim 0.6)$ mm。规格相同的部分其刻线长度之差不大于 0.05 mm ；金属尺的线宽为 $(6 \sim 10) \mu\text{m}$ ，线宽之差不大于 $1.0 \mu\text{m}$ ，刻线长度不小于 1.0 mm 。

4.7 纵轴线

玻璃尺的纵轴线为短线时，在首、尾刻线长度的中间位置外侧 2 mm 处各刻一段纵

轴线，其线长为 1mm，线宽为 (4~8) μm ，线宽之差小于 0.5 μm ；当纵轴线为长线时，需位于刻线中间，其长度不小于标称长度。

金属尺的纵轴线为沿尺长方向的两条相互平行、彼此相距 0.2mm 或 0.3mm 的刻线，其长度不小于标称长度，线宽为 (6~10) μm ，线宽之差不大于 1 μm 。

4.8 纵轴线与刻线的垂直度

纵轴线与刻线的垂直度不得超过 3'。

4.9 准确度等级

线纹尺上任意两刻线间沿纵轴线方向的距离，称为任意刻线间的间隔。线纹尺的等级以及刻线间间隔检定值的不确定度要求如下：

一等玻璃尺 $U_{95} = (0.07 + 0.4L) \mu\text{m}$ 或 $U_{99} = (0.1 + 0.5L) \mu\text{m}$

二等玻璃尺 $U_{95} = (0.14 + 1.0L) \mu\text{m}$ 或 $U_{99} = (0.2 + 1.5L) \mu\text{m}$

一等金属尺 $U_{95} = (0.07 + 0.3L) \mu\text{m}$ 或 $U_{99} = (0.1 + 0.4L) \mu\text{m}$

二等金属尺 $U_{95} = (0.14 + 0.6L) \mu\text{m}$ 或 $U_{99} = (0.2 + 0.8L) \mu\text{m}$

式中： L ——被测长度，m。

其他等级的线纹尺暂不做规定，可以根据实际情况给出测量结果及其测量不确定度，其测量不确定度最大允许值为 $U_{95} = (1.4 + 1.4L) \mu\text{m}$ 或 $U_{99} = (2 + 2L) \mu\text{m}$ 。

4.10 稳定性

线纹尺年变化量不允许超过相应准确度等级线纹尺的测量不确定度要求。

5 通用技术要求

5.1 外观

5.1.1 刻线面

新制造的玻璃尺在抛光面的刻线区不应有霉点、麻点、擦伤、气泡、划痕等缺陷；玻璃尺和保护玻璃之间的胶合层不能脱胶。

新制造的金属尺，其刻线面不应有碰伤、锈斑和划痕。

使用中的线纹尺不允许有影响检定和使用的上述缺陷。

5.1.2 非刻线面和侧面

玻璃尺的非刻线面不能有影响透光、对准等不利于测量的缺陷。

线纹尺应刻有尺号、材料代号、规格或标称长度、制造厂厂标或厂名、零端或末端的标志及白塞尔支点标记。

注：“白塞尔”支点的标记按 (1) 式计算：

$$l = 0.55938 L \quad (1)$$

(“白塞尔”支点距端面的距离为 $l = 0.22031L$)

式中： L ——尺坯的长度。

5.2 刻线质量

刻线边缘必须清晰笔直，不得有毛刺，刻线不能有断线，相互之间要平行。

玻璃尺刻线黑度要求均匀一致。

5.3 其他

零刻线和末端刻线分别距线纹尺端边为 15mm。

刻线区尽可能位于尺坯的中间。

6 计量器具控制

计量器具控制包括：首次检定、后续检定和使用中检验。

6.1 检定条件

检定条件见表 5。

表 5 检定条件

要求 等别	项目	保温罩内 温度对 20℃ 的最大 允许偏差 (℃)	玻璃尺		金属尺		
			一次测量 中的尺温 变化 (℃)	一次测量中 保温罩内空 气温度变化 (℃)	金属尺全 长的温度 一致性 (℃)	一次测量 中的尺温 变化 (℃)	一次测量中 保温罩内空 气温度变化 (℃)
一等		±0.5	≤0.03	≤0.04	≤0.04	≤0.02	≤0.03
二等		±0.8	≤0.08	≤0.08	≤0.08	≤0.04	≤0.06

测量前，线纹尺必须在恒温室内放置 24h 以上，玻璃尺长度大于 300mm 时其温度一致性参考金属尺的要求。

6.2 检定项目和主要检定工具

高等别线纹尺的检定项目和主要检定工具如表 6 所示。

表 6 高等别线纹尺的检定项目和主要检定工具

序号	检定项目	主要检定工具	检定类别		
			首次检定	后续检定	使用中检验
1	外观	6 倍放大镜	+	+	+
2	外形尺寸	游标卡尺、钢卷尺或钢直尺	+	-	-
3	材料线膨胀系数	箱式纵动或横动比较仪	+	-	-
4	表面粗糙度	粗糙度比较样板、轮廓仪或干涉显微镜	+	-	-
5	刻线面的平面度	平面干涉仪或一级玻璃平尺	+	+	-
6	刻线面与非刻线面 (或基面)的平行度	立式测长仪、0 级平板、千分尺、千分表	+	-	-
7	刻线质量	在 80~100 倍的显微镜下观察	+	+	-
8	刻线宽度及长度	读数小于 1μm 的测微显微镜、万能工具显微镜、坐标机	+	-	-

表 6 (续)

序号	检定项目	主要检定工具	检定类别		
			首次检定	后续检定	使用中检验
9	纵轴线	激光干涉比长仪	+	+	-
10	纵轴线与刻线的垂直度	万能工具显微镜	+	-	-
11	长度	激光干涉比长仪	+	+	-
12	全长的年变化量	激光干涉比长仪	+	+	-

注：表中“+”表示应检定，“-”表示可不检定。

6.3 检定方法

6.3.1 外观

6.3.1.1 刻线面

用放大镜观察。

6.3.1.2 非刻线面和侧面

目力观测。

6.3.2 外形尺寸

用游标卡尺测量标准线纹尺坯的宽度和高度，用钢直尺或钢卷尺测量尺坯的长度。

6.3.3 材料线膨胀系数

材料线膨胀系数用箱式纵动或横动比较仪测量，测量不确定度应符合以下要求：

高等别玻璃线纹尺 $U_{95} \leq 0.07 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 或 $U_{99} \leq 0.1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

一等金属线纹尺 $U_{95} \leq 0.02 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 或 $U_{99} \leq 0.03 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

二等金属线纹尺 $U_{95} \leq 0.04 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 或 $U_{99} \leq 0.05 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

6.3.4 表面粗糙度

玻璃尺的刻线面用干涉显微镜测量，非刻线面用轮廓仪测量。

金属尺的刻线面用预制的样块在干涉显微镜或轮廓仪上测量，非刻线面用粗糙度样板以目测比较。

6.3.5 刻线面的平面度

用一级长平晶与玻璃尺被检表面接触，待干涉条纹稳定后，通过观察其干涉条纹测量，也可用平面干涉仪测量。

6.3.6 刻线面与非刻线面（或基面）的平行度

用立式测长仪或千分尺测量玻璃尺的两端厚度，计算其差值。

用 0 级平板和千分表测量金属尺刻线面与基面的高度，计算其差值。

6.3.7 刻线质量

在 80 ~ 100 倍的显微镜下观察。

6.3.8 刻线宽度和长度

用读数小于 $1\mu\text{m}$ 的测微显微镜在尺长的首、中、尾三处测量刻线宽度。用万能工具显微镜或坐标机测量刻线的长度。

6.3.9 纵轴线

玻璃尺纵轴线用万能工具显微镜或激光干涉比长仪测量。

金属尺的纵轴线在激光干涉比长仪上测量。

6.3.10 纵轴线与刻线的垂直度

玻璃尺用万能工具显微镜在零刻线和末端刻线上测量。

金属尺用万能工具显微镜在首、中、尾三处测量。

6.3.11 在激光干涉比长仪上检定线纹尺的刻线间隔

6.3.11.1 安装及调整

线纹尺按“白塞尔”支点支撑于工作台的支架上，其刻线面应与可动立体棱镜的棱尖等高；玻璃尺面上的压紧力要轻，并且一致。

在线纹尺的侧面贴上测温传感器，所贴传感器的只数应根据线纹尺的长短而定。

调整线纹尺支撑架和显微镜升降机构，使线纹尺两端刻线在显微镜视场内清晰可见，并使线纹尺的纵轴线与工作台的运动方向平行。

调整光电显微镜的狭缝宽度，使之与线纹尺刻线象的宽度相适应。

线纹尺调整后，要使温度稳定到符合表 5 的要求，方可开始测量。

6.3.11.2 线纹尺的温度测量

测量线纹尺的温度 t_s ，计算出温度对长度的修正值：

$$\Delta l_t = \alpha (20 - t_s) L \quad (2)$$

6.3.11.3 空气折射率的测量

应用折射率干涉仪或 Edlen 公式法测量空气折射率。

依照各种折射率干涉仪操作规程可直接进行测量。

使用 Edlen 公式法时，测量状态在标准状态 ($t = 20^\circ\text{C}$, $p = 101325\text{Pa}$, $f = 1333\text{Pa}$) 附近时，其测量长度的修正量为公式 (3)，测量检定环境下的空气温度 t ，气压 p 、湿度 f ，求出与标准状态时折射率的差值：

$$\Delta l_n = [93.00 (t - 20) - 0.2684 (p - 101325) + 0.0363 (f - 1333)] \times 10^{-8} L \quad (3)$$

当测量状态与标准状态相差很大时，应按附录 A 中的公式 A4 ~ A7 计算。

6.3.11.4 检定环境下脉冲当量值 Q_n 的计算

a) 按公式 (2) 与 (3) 算出脉冲当量的改变量 ΔQ

$$\Delta Q = \frac{(\Delta l_t + \Delta l_n)}{L} Q_0 \quad (4)$$

式中： Q_0 为标准条件下的脉冲当量，其值按下式计算：

$$Q_0 = \frac{\lambda_v}{2Nn} \quad (5)$$

式中： N ——电子细分数；

n ——标准条件下的空气折射率；

λ_v ——激光的真空波长。

b) 计算 Q_n

$$\begin{aligned} Q_n &= Q_0 + \Delta Q \\ &= Q_0 + \frac{(\Delta l_i + \Delta l_n)}{L} Q_0 \end{aligned} \quad (6)$$

6.3.11.5 测量方式

a) 一等玻璃尺和金属尺采用两种测量方式，即零刻线在左端为一种方式，零刻线在右端为另一种方式。每一种方式各测量两次。最后取两种方式的4次测得值的平均值作为检定结果。

b) 二等玻璃尺可采用一种方式，重复检定两次，取两次测量值的平均值为检定结果。

6.3.12 年变化量

通过激光干涉比长仪检定线纹尺，其年变化量为被测线纹尺考察期间首次测得的长度与末次测得的长度之差除以以年为单位的考察期限。

6.4 检定结果的处理

经检定符合本规程要求的线纹尺，按等别填发检定证书。在检定证书的备注中应指明下列主要内容：

- (1) 检定时采用_____照明，刻线面_____着物镜；
- (2) 材料线膨胀系数为_____ $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；
- (3) 检定结果的扩展不确定度 U_{95} 为_____ μm ；

用激光干涉比长仪按一等要求检定的新制玻璃尺和金属尺，暂定为二等。待周期检定时，其长度的年变化量小于一等玻璃尺的测量不确定度要求时方可定为一等。

经检定不符合本规程要求的线纹尺，需填发检定结果通知书，并注明不合格项目。

6.5 检定周期

检定周期一般为1年。根据玻璃尺和金属尺材料稳定情况，经检定连续3年全长尺寸的年变化量小于一等玻璃尺和金属尺的测量不确定度要求时，可将周期定为2年。

附录 A

在激光干涉比长仪上检定线纹尺长度时的一些建议

A.1 光电显微镜单次瞄准的对线重复性

A.1.1 光电显微镜单次瞄准的对线重复性

一等玻璃尺： $\leq 0.06\mu\text{m}$

二等及其他的玻璃尺： $\leq 0.11\mu\text{m}$

一等金属尺： $\leq 0.06\mu\text{m}$

二等金属尺： $\leq 0.14\mu\text{m}$

A.1.2 重复性的测量方法

取任意一端的 10 个间隔，重复测量 14 次，如表 A1 所示。

表 A1 重复性测量的记录格式

测量值 次数 间隔	1	2	...	13	14	L_p	$[v]$
	0~1	$L_{1.1}$	$L_{1.2}$...	$L_{1.13}$	$L_{1.14}$	L_{p1}	$[v]_1$
2~3	$L_{2.1}$	$L_{2.2}$	...	$L_{2.13}$	$L_{2.14}$	L_{p2}	$[v]_2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16~17	$L_{9.1}$	$L_{9.2}$	...	$L_{9.13}$	$L_{9.14}$	L_{p9}	$[v]_9$
18~19	$L_{10.1}$	$L_{10.2}$	...	$L_{10.13}$	$L_{10.14}$	L_{p10}	$[v]_{10}$

注： $L_{p1}, L_{p2}, \dots, L_{p10}$ ——第 1 间隔至第 10 间隔各自测量 14 次的平均值；
 $[v]_1, [v]_2, \dots, [v]_{10}$ ——第 1 间隔至第 10 间隔各自残差的平方和。

按下列公式计算光电显微镜单次瞄准的重复性

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m [v]_i}{m(n-1)}} \tag{A1}$$

式中： m ——测量间隔数，取 10 间隔；

n ——每间隔测量次数，取 14 次；

$[v]_i$ —— $[v]_1, [v]_2, \dots, [v]_{10}$ 。

A.2 空气温度的测量

在工作台移动范围的两端分别安置一个测温传感器，测量出平均温度 t 。

A.3 气压的测量

气压传感器应尽量放置在保温罩内。

在一次测量过程中, 气压的波动要求为:

一等线纹尺: $\leq 26\text{Pa}$

二等及其他的线纹尺: $\leq 53\text{Pa}$

注: 气压计需经有关部门检定, 其不确定度应满足计量要求。

A.4 湿度的测量

可使用相对湿度计(要求其最大允许误差在 $\pm 3\% \text{RH}$ 以内)或通风式湿度计。

当采用相对湿度计时: 空气中水蒸气压力 $f' = f \times (145.3t - 568) \text{Pa}$ (A2)

式中: f ——相对湿度;

t ——空气温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

当采用通风式湿度计时: 空气中水蒸气压力 $f' = e' - \frac{133.3}{2} (t_1 - t') \text{Pa}$ (A3)

式中: e' ——在湿度计读数值为 t' 时, 各种温度下的饱和蒸气压。

注: 湿度计需经有关部门检定, 其不确定度应满足计量要求。

A.5 当用各种折射率干涉仪直接测量时, 一次测量过程中折射率的允许变化为:

一等线纹尺: $\leq 9 \times 10^{-8}$

二等及其他的线纹尺: $\leq 1.7 \times 10^{-7}$

A.6 公式(3)是根据 Edlen 原始公式微分所得, 若测量状态与标准状态相差很大时, 应按公式 A4 ~ A7 计算其测量长度的修正量。

$$(n-1)_s = \left(8342.54 + \frac{2406147}{130 - \sigma^2} + \frac{15998}{38.9 - \sigma^2} \right) \times 10^{-8} \quad (\text{A4})$$

$$n_p = 1 + \frac{p}{96095.43} \cdot \frac{(n-1)_s \cdot 1 + p(0.601 - 0.00972t) \times 10^{-8}}{1 + 0.003661t} \quad (\text{A5})$$

$$n = n_p - f(3.7345 - 0.0401\sigma^2) \times 10^{-10} \quad (\text{A6})$$

$$\Delta l = -\frac{(n - n_s)}{n_s} L \quad (\text{A7})$$

式中: σ ——真空中的波长的倒数 ($\sigma = 1/\lambda$), μm^{-1} ;

p , t , f ——分别是大气压力, Pa; 空气温度, $^{\circ}\text{C}$; 空气湿度, Pa;

n_s ——标准状态下的空气折射率;

n ——测量状态下的空气折射率;

L ——标称长度;

Δl ——被测长度的修正量。

附录 B

检定证书及检定结果通知书（内页）格式

B.1 检定证书内页格式

实际尺寸		实际尺寸	
mm	μm	mm	μm

注：

- (1) 检定时采用_____照明，刻线面_____着物镜；
- (2) 材料线膨胀系数为_____ $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；
- (3) 检定结果的扩展不确定度 U_{95} 为_____ μm 。

B.2 检定结果通知书内页格式

要求同上，指出不合格项目。