



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 331—1994

激光干涉比长仪

Laser Interference Comparator

1994-07-12 发布

1995-01-01 实施

国家技术监督局 发布

激光干涉比长仪检定规程

Verification Regulation of

Laser Interference Comparator

JJG 331—1994
代替 JJG 331—1983

本检定规程经国家技术监督局于 1994 年 07 月 12 日批准，并自 1995 年 01 月 01 日起施行。

归口单位：中国计量科学研究院

起草单位：中国计量科学研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释

本规程主要起草人：

蒋 坝 （中国计量科学研究院）

参加起草人：

王黎菁 （中国计量科学研究院）

汪德宝 （中国计量科学研究院）

目 录

一 概述	(1)
二 检定项目和检定条件	(1)
三 检定要求和检定方法	(2)
四 检定结果的处理	(6)
附录 1 激光器、测温装置及折射率测量装置的检定要求	(7)
附录 2 测量环境下脉冲当量 Q_n 的计算实例	(8)
附录 3 各种温度的饱和蒸气压表	(9)

激光干涉比长仪检定规程

本规程适用于新制造的、使用中和修理后的激光干涉比长仪的检定。

一 概 述

激光干涉比长仪（以下简称比长仪）是用激光波长直接检定线纹尺的工作基准类仪器。它主要用于检定长度至 1 000 mm 的一、二等标准金属线纹尺；一、二等标准玻璃线纹尺，以及不确定度优于一等标准金属尺的基准尺。

检定长度小于 1 000 mm 的激光干涉比长仪其被检项目与要求可参照本规程进行。

比长仪的准确度可按线纹尺检定结果的总不确定度（置信水平 0.99）分为两类：

$$(A) \quad U = (0.06 + 0.1L) \mu\text{m}$$

$$(B) \quad U = (0.1 + 0.1L) \mu\text{m}$$

式中：L——被测长度，m。

比长仪主要由 He-Ne 激光器、干涉仪、机械主体、光电显微镜、温度测量装置与数据处理装置（计算机）等七个部分组成。

二 检定项目和检定条件

1 比长仪的检定项目和主要检定条件如表 1 所示。

表 1

序号	检定项目	主要检定条件	检定类别		
			新制的	修理的	使用中
1	外观	目测	+	+	-
2	激光平行光束的均匀性	纸屏	+	+	+
3	干涉条纹的对比度及输出信号的质量	纸屏、二踪示波器	+	+	+
4	工作台运动直线度	0.2"自准直仪	+	+	-
5	测量光束与运动方向的一致性	专用检具	+	+	-
6	工作台运动速度均匀性	频率计	+	+	-
7	光电显微镜	平面镜、自准直仪、金属尺、玻璃尺、10'水泡	+	+	-
8	测量重复性	金属尺、玻璃尺	+	+	+
9	比长仪的准确度	殷钢尺、石英尺、玻璃尺	+	+	+

注：表中“+”表示检定，“-”表示可不检定。

2 检定比长仪时的环境温度应为 20℃左右，具体要求见 12.2.1 项中的表 3。

三 检定要求和检定方法

3 外观

3.1 要求：新制造的、修理后或使用中的比长仪其导轨均不能有锈蚀与碰伤；应用气浮导轨的比长仪其气源过滤应正常。

3.2 检定方法：手感和目力观察。

4 激光平行光束的均匀性

4.1 要求：光斑的亮度要均匀。

4.2 检定方法：用白色纸屏观察。

5 干涉条纹的对比度及输出信号的质量

5.1 干涉条纹的对比度

5.1.1 要求：干涉条纹要亮暗分明。

5.1.2 检定方法：用白色纸屏观察。

5.2 输出信号的质量

5.2.1 要求：干涉条纹经光电转换后的信噪比、1 m 行程内的幅值变化和位相的变化，均必须满足比长仪能正常工作的要求。

5.2.2 检定方法：二踪示波器实时动态监测。

6 工作台运动的直线度

6.1 要求：新制的与修理后的比长仪，在 1 m 行程内垂直与水平方向的直线度应小于 2"，扭曲小于 4"；使用中的比长仪上述两项指标分别为 4"和 5"。

6.2 检定方法：用 0.2"自准直仪在工作台的行程内测量，其扭曲用 1"水平仪测量。

7 测量光束与工作台运动方向的一致性

7.1 要求：在 1 m 行程内小于 5"。

7.2 检定方法：用一专用检具，它是一个长度近似于工作台行程的圆柱棒，其一端装一平面反射镜，其反射面与圆柱棒的母线相垂直。平面反射镜的对面放置一自准直仪，圆柱棒放置于工作台上的 V 形块内，用千分表在垂直与水平面内将其母线调整到与导轨运动方向一致，用自准直仪观察平面反射镜上反射回来的十字线像。调整自准直仪使十字线像处于视场中央。然后调整激光束的方向，使激光光点落在自准直仪视场中央，也可用其它相应的方法。调整的不确定度应优于 2"。

8 工作台运动速度的均匀性

8.1 要求：工作台运动速度的相对变化不得超过 5%。

8.2 检定方法：用与干涉仪阻抗匹配的频率计或其它检测仪器。

9 光电显微镜

9.1 外观及相互位置

9.1.1 要求：成像要清晰，视场亮度要均匀，且不能有霉点、脏点、水泡等各种附着物，显微镜升降要灵活，不能有影响调焦的空回。

9.1.2 检定方法：目测和手感。

9.2 双狭缝

9.2.1 要求：每个狭缝均能根据刻线宽度调整，边缘平直并相互平行。两狭缝在视场内应能清晰看到。

9.2.2 检定方法：通过目镜观察狭缝边缘是否平直，合拢时要平行，不应有目力觉察出的缝隙和倾斜现象。

9.3 双狭缝与工作台运动方向应垂直

9.3.1 要求：在显微镜视场内，观察双狭缝与调整好的线纹尺刻线应平行。

9.3.2 检定方法：将一等标准金属线纹尺（或一等标准玻璃线纹尺）按检定要求调整好焦距和方位，通过显微镜观察线纹尺的刻线应与狭缝平行。

9.4 显微镜升降导轨的直线度

9.4.1 要求：在显微镜升降范围内不得大于 $1'$ 。

9.4.2 检定方法：用准确度不低于 $10''$ 的水泡放置于显微镜上，升降显微镜，待固定后观察水泡的变化。

9.5 调整光电显微镜的物像光轴

9.5.1 要求：与工作台运动方向垂直不得大于 $2'$ 。

9.5.2 检定方法：在安装顶端狭缝前，在狭缝的位置上放置一块十字分划板，绕光电显微镜机械轴旋转，调整十字分划板中心与机械轴重合，用光学显微镜观察。然后，在光电显微镜物方用光学显微镜观察十字分划板的像，同样绕机械轴旋转光电显微镜，修切物镜的修切圆直至十字分划板的中心不晃动为止。

9.6 调整光电显微镜的照明光轴

9.6.1 要求：照明光轴应与线纹尺尺面垂直。

9.6.2 检定方法：安装一支金属线纹尺（或玻璃线纹尺），按检定要求调整好焦距和方位。升降光电显微镜，当刻线稍有离焦时，刻线像不得有左右晃动。

9.7 显微镜的机械轴

9.7.1 要求：显微镜升降时，不得有绕机械轴的回转。

9.7.2 检定方法：在显微镜的某一侧面部位贴附一个反射镜，用自准直仪观察十字线反射像，在升降显微镜或绕机械轴轻微旋转显微镜时，其十字线像不得有晃动。

10 比长仪的测量重复性

10.1 要求：单次测量的不确定度（置信水平为 0.99）

$$U \leq 0.1 \mu\text{m}$$

10.2 检定方法：取一支刻线质量好的标准金属线纹尺或标准玻璃线纹尺，任取一端的 10 个毫米间隔，重复测量 14 次，记录格式如表 2 所示。

表 2

间隔/mm	次 数												l_p	[$\nu\nu$]	
	1	2	3	·	·	·	·	·	·	·	12	13			14
0~1	$l_{1.1}$	$l_{1.2}$	$l_{1.3}$	·	·	·	·	·	·	·	$l_{1.12}$	$l_{1.13}$	$l_{1.14}$	l_{p1}	[$\nu\nu$] ₁
2~3	$l_{2.1}$	$l_{2.2}$	$l_{2.3}$	·	·	·	·	·	·	·	$l_{2.12}$	$l_{2.13}$	$l_{2.14}$	l_{p2}	[$\nu\nu$] ₂
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
16~17	$l_{9.1}$	$l_{9.2}$	$l_{9.3}$	·	·	·	·	·	·	·	$l_{9.12}$	$l_{9.13}$	$l_{9.14}$	l_{p9}	[$\nu\nu$] ₉
18~19	$l_{10.1}$	$l_{10.2}$	$l_{10.3}$	·	·	·	·	·	·	·	$l_{10.12}$	$l_{10.13}$	$l_{10.14}$	l_{p10}	[$\nu\nu$] ₁₀

$l_{p1}, l_{p2}, l_{p3}, \dots, l_{p10}$ ——第 1 间隔至第 10 间隔各自测量 14 次的平均值;
 [$\nu\nu$]₁, [$\nu\nu$]₂, ..., [$\nu\nu$]₁₀——第 1 间隔至第 10 间隔各自残差的平方和。

按下列公式算出其测量结果的总不确定度（置信水平 0.99）：

$$U = 3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} [\nu\nu]_i}{K(n-1)}} \quad (1)$$

式中： K ——测量的间隔数，取 $K=10$ ；

n ——每间隔的测量次数，取 $n=14$ ；

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

11 激光器、测温装置及折射率测量装置

11.1 要求：参阅附录 1。

12 比长仪检定线纹尺的总不确定度

12.1 要求：见本规程的概述。

12.2 检定方法

12.2.1 用殷钢基准尺或一等标准玻璃线纹尺装于工作台上，其检定条件如表 3 所示。

12.2.2 测量基准尺的温度 t_s ，并按基准尺的温度线膨胀系数 α 计算其对长度的修正量

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

式中： L ——被测长度。

12.2.3 测量空气的折射率

a. 用折射率干涉仪测量，根据其使用说明书操作。

b. 用爱特伦（Edlen）公式计算：

(1) 测出在工作台行程范围内的二端测温传感器的温度值，并算出空气的平均温度 t 。

(2) 根据不同类型的气压计，按其说明书读出气压计的值。对水银气压计尚需修正到规定状态（温度 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、纬度为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的海平面）的气压值 p 。

(3) 用通风式湿度计测量湿度。

分别读出干、湿温度计值 t_1 与 t' 。根据附录 3，查得饱和蒸气压 e' ，则湿度 f 按下式计算：

$$f = e' - \frac{133.3}{2}(t_1 - t') \quad (3)$$

(4) 用下列公式算出对长度的修正量：

$$\begin{aligned} \Delta L_n = [92.9(t - 20) - 0.268(p - 101\ 325) \\ + 0.042(f - 1\ 333)] \times 10^{-8} L \end{aligned} \quad (4)$$

式中： L ——被测长度。

12.2.4 测量环境下脉冲当量 Q_n 的计算

a. 按公式 (2) 与 (4) 算出脉冲当量的改变量 ΔQ

$$\Delta Q = \left(\frac{\Delta L_t + \Delta L_n}{L} \right) Q_0 \quad (5)$$

式中： Q_0 ——正常状态下的脉冲当量 ($Q_0 = \lambda_v / 2Nn_0$ ， N 为波长的电子细分数； n_0 为正常状态下的空气折射率； λ_v 为激光的真空波长)。

b. 计算 Q_n

$$Q_n = Q_0 + \Delta Q = Q_0 + \frac{(\Delta L_t + \Delta L_n)}{L} Q_0 \quad (6)$$

c. 测量环境下脉冲当量 Q_n 的计算实例参阅附录 2。

12.2.5 检定必须做两种方式，即线纹尺的零刻线处在左方为一种方式；零刻线处在右方为另一方式。每种方式分别作两次检定，取四次检定结果的平均值，并取下列间隔的测得值为最后结果，即：

- (0 ~ 10)mm 中的每毫米间隔；
- (0 ~ 100)mm 中的每厘米间隔；
- (0 ~ 1 000)mm 中的每分米间隔。

12.2.6 将最后结果与殷钢基准尺检定证书上的对应数值做比较，其差值的绝对值 $|\Delta L_i|$ 应在下式的范围内：

$$|\Delta L_i| \leq \sqrt{(A + BL_i)^2 + (0.06 + 0.1 L_i)^2} \quad (7)$$

或

$$|\Delta L_i| \leq \sqrt{(A + BL_i)^2 + (0.1 + 0.1 L_i)^2} \quad (8)$$

式中： A ， B ——为误差表达式中的常数项，在殷钢基准尺证书中给出；

L_i ——为不同的长度值，m。

表 3

序号	检 定 条 件	用殷钢基准尺	用一等标准 玻璃线纹尺
1	尺两端允许温差	$\leq 0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$
2	尺温对 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 允许差	优于 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$	优于 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$
3	一次测量中尺温度变化	优于 $\pm 0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$	优于 $\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$
4	一次测量中空气温度变化	优于 $\pm 0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$	优于 $\pm 0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$
5	一次测量中气压变化	优于 $\pm 13.33\text{ Pa}$	优于 $\pm 13.33\text{ Pa}$
6	尺的线膨胀系数误差	优于 $\pm 0.05 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	

12.2.7 必要时可重复 12.2.5 项的内容，另做一组结果作为验证。

一种方式两次测得值的差值应小于 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 。

12.2.8 对只能检定玻璃线纹尺的比长仪，可参照 12 条中各款进行，仅对 12.2.5 项改为：

用 20 个间隔的测得值为最后检定结果： $(0 \sim 10)\text{mm}$ ， $(0 \sim 20)\text{mm}$ ， \dots ， $(0 \sim 200)\text{mm}$ 。

四 检定结果的处理

13 使用中的比长仪周期检定时，可以只检查比长仪检定线纹尺的总不确定度和重复性两项。

14 经检定符合本规程要求的比长仪，发给检定证书。使用中的比长仪 3 年进行一次周期检定。

附录 1

激光器、测温装置及折射率测量装置的检定要求

序 号	检 定 项 目	检 定 要 求
1	激光器的波长值 激光器的频率稳定度 激光器的波长漂移	总不确定度 $U \leq 2 \times 10^{-8}$ $\leq 3 \times 10^{-8}$ $\leq 7 \times 10^{-8}$
2	测温装置	总不确定度 $U \leq 0.02 \text{ } ^\circ\text{C}$
3	折射率测量装置	总不确定度 $U \leq 1 \times 10^{-7}$

附录 2

测量环境下脉冲当量 Q_n 的计算实例

设：正常状态下的脉冲当量为

$$Q_0 = 0.079\ 102\ 472\ 5\ \mu\text{m}$$

(1) 测出标准尺的温度 $t_s = 20.145\ \text{℃}$

$$\Delta l_t = 11.5 \times 10^{-6} (20 - 20.145) \times 10^6 = -1.67\ \mu\text{m}$$

(2) 空气温度 $t = 20.085\ \text{℃}$

(3) 气压值 $p = 99\ 858.7\ \text{Pa}$

(4) 干温度值 $t_1 = 19.9\ \text{℃}$ ；湿温度值 $t' = 13.4\ \text{℃}$

(5) 从附录 3 中，根据 t' 查得 $e' = 11.5 \times 133.3\ \text{Pa}$

(6) 湿度 $f = e' - \frac{133.3}{2}(t_1 - t')$

$$= 11.5 \times 133.3 - 66.6(19.9 - 13.4) = 1\ 100.05\ \text{Pa}$$

(7) 按正文中公式 (4) 计算得

$$\begin{aligned} \Delta l_n &= [92.9(20.085 - 20) - 0.268(99\ 858.7 - 101\ 325) \\ &\quad + 0.042(1\ 100.05 - 1\ 333)] \times 10^{-8} \times 10^6 = 3.91\ \mu\text{m} \end{aligned}$$

(8) 按正文中公式 (5) 计算得

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \frac{\Delta l_t + \Delta l_n}{L} \cdot Q_0 \\ &= (-1.67 + 3.91) \times 0.079\ 102\ 472\ 5 \times 10^{-6} \\ &= 0.177\ 2 \times 10^{-6} \mu\text{m} \end{aligned}$$

(9) 按正文中公式 (6) 计算，得出测量环境下的脉冲当量

$$\begin{aligned} Q_n &= Q_0 + \Delta Q \\ &= 0.079\ 102\ 472\ 5\ \mu\text{m} + 0.000\ 000\ 177\ 2\ \mu\text{m} \\ &= 0.079\ 102\ 649\ 7\ \mu\text{m} \end{aligned}$$

附录 3

各种温度的饱和蒸气压表

℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
8	8.0	8.1	8.2	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5	8.6
9	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.9	9.0	9.0	9.1	9.1
10	9.2	9.3	9.3	9.4	9.5	9.5	9.6	9.6	9.7	9.8
11	9.8	9.9	10.0	10.0	10.1	10.2	10.2	10.3	10.4	10.4
12	10.5	10.6	10.7	10.7	10.8	10.9	10.9	11.0	11.1	11.2
13	11.2	11.3	11.4	11.5	11.5	11.6	11.7	11.8	11.8	11.9
14	12.0	12.1	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.5	12.6	12.7
15	12.8	12.9	13.0	13.0	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.5
16	13.6	13.7	13.8	13.9	14.0	14.1	14.2	14.3	14.4	14.4
17	14.5	14.6	14.7	14.8	14.9	15.0	15.1	15.2	15.3	15.4
18	15.5	15.6	15.7	15.8	15.9	16.0	16.1	16.2	16.3	16.4
19	16.5	16.6	16.7	16.8	16.9	17.0	17.1	17.2	17.3	17.4
20	17.5	17.6	17.8	17.9	18.0	18.1	18.2	18.3	18.4	18.5
21	18.7	18.8	18.9	19.0	19.1	19.2	19.3	19.5	19.6	19.7
22	19.8	19.9	20.1	20.2	20.3	20.4	20.6	20.7	20.8	20.9
23	21.1	21.2	21.3	21.5	21.6	21.7	21.8	22.0	22.1	22.2
24	22.4	22.5	22.6	22.8	22.9	23.1	23.2	23.3	23.5	23.6
25	23.8	23.9	24.0	24.2	24.3	24.5	24.6	24.8	24.9	25.1
26	25.2	25.4	25.5	25.7	25.8	26.0	26.1	26.3	26.4	26.6
27	26.7	26.9	27.1	27.2	27.4	27.5	27.7	27.9	28.0	28.2
28	28.3	28.5	28.7	28.8	29.0	29.2	29.4	29.5	29.7	29.9
29	30.1	30.2	30.4	30.6	30.7	30.9	31.1	31.3	31.5	31.6
30	31.8	32.0	32.2	32.4	32.6	32.7	32.9	33.1	33.3	33.5

注：表中各种温度的饱和蒸气压值，单位是 mm Hg，使用时应乘以 133.3 Pa。