



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 39—2004

机械式比较仪

Comparators of Machine Type

2004-09-21 发布

2005-03-21 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

机械式比较仪检定规程

Verification Regulation of
Comparators of Machine Type

JJG 39—2004
代替 JJG 39—1990

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

起草单位：中国测试技术研究院

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

本规程起草人：

陈永康 （中国测试技术研究院）

曹 箭 （中国测试技术研究院）

冉 庆 （中国测试技术研究院）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量性能要求	(1)
4.1 装夹套筒的直径	(1)
4.2 指针与分度盘的相对位置	(2)
4.3 指针末端和分度盘刻线宽度	(2)
4.4 工作台的工作面和测帽测量面的表面粗糙度	(2)
4.5 工作台工作面的平面度	(3)
4.6 可调式工作台的可调性	(3)
4.7 固定式工作台面与测量轴线的垂直度	(3)
4.8 测力	(3)
4.9 测杆受径向力对示值的影响	(3)
4.10 重复性	(3)
4.11 示值误差	(4)
4.12 回程误差	(4)
5 通用技术要求	(4)
5.1 外观	(4)
5.2 各部分相互作用	(5)
6 计量器具控制	(5)
6.1 检定条件	(5)
6.2 检定项目	(5)
6.3 检定方法	(6)
6.4 检定结果的处理	(9)
6.5 检定周期	(9)
附录 A 机械式比较仪示值误差测量结果不确定度分析	(10)
附录 B 检定证书和检定结果通知书内页格式	(13)

机械式比较仪检定规程

1 范围

本规程适用于分度值为 $0.5\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$, $2\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$ 的机械式比较仪（以下简称比较仪）的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

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

GB/T 6320—1997 杠杆齿轮比较仪

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

比较仪是利用杠杆和齿轮传动、单纯的杠杆传动和齿条齿轮传动，把测杆的直线位移转变为指针角位移的计量器具。主要用于测量制件的形状和位置误差，以及用比较法测量制件的尺寸。其外形见图 1 和图 2。

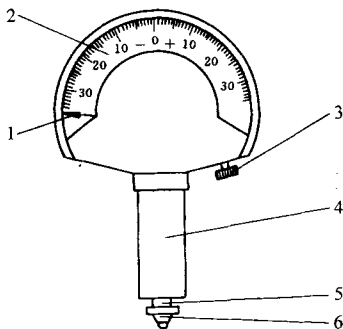


图 1 杠杆齿轮式

1—指针；2—分度盘；3—调零装置；
4—装夹套筒；5—测杆；6—测帽

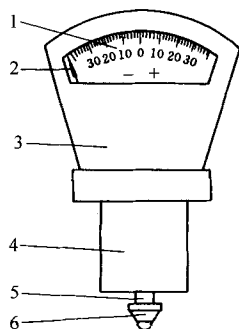


图 2 杠杆式或杠杆齿轮式

1—分度盘；2—指针；3—表壳；
4—装夹套筒；5—测杆；6—测帽

比较仪的工作台分为固定式和可调式两种。可调式工件台的外形如图 3 所示。

4 计量性能要求

4.1 装夹套筒的直径

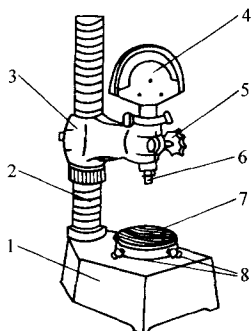


图3 可调式工作台

1—底座；2—立柱；3—臂架；4—表头；5—紧固螺丝；6—测帽；7—工作台；8—调整制动螺丝

应不超过表1的规定。

表1 装夹套筒的直径

mm

套 筒 直 径	偏 差
$\phi 8$	0 -0.015
$\phi 28$	0 -0.021

4.2 指针与分度盘的相对位置

4.2.1 测杆在自由状态下，指针应位于“-”分度外5个以上分度位置。

4.2.2 指针末端应与分度盘上的刻线方向一致，不得有目力可见的歪斜。

4.2.3 指针末端应盖住分度盘上的短刻线长度的(30~80)%。

4.2.4 指针末端上表面与分度盘表面的距离不得大于0.7mm。

4.3 指针末端和分度盘刻线宽度

应不超过表2的规定。

表2 指针末端和分度盘刻线宽度

mm

分 度 值	指 针 末 端 和 刻 线 宽 度	宽 度 差
≤ 0.001	0.1~0.15	—
> 0.001	0.1~0.2	0.05

4.4 工作台的工作面和测帽测量面的表面粗糙度

应不超过表3的规定。

表 3 工作台的工作面和测帽测量面的表面粗糙度

 μm

名称		表面粗糙度
工作台		$R_a 0.05$
测帽	钢制或人造刚玉	$R_a 0.05$
	硬质合金	$R_a 0.1$

4.5 工作台工作面的平面度

应不超过表 4 的规定。

表 4 工作台工作面的平面度

工作台类型	工作台尺寸/mm	平面度/ μm
圆型	$\leq \phi 80$	1 (只许凸)
方型	$\leq 150 \times 150$	1 (只许凸)

4.6 可调式工作台的可调性

工作台与测帽测量面的平行度应不超过表 5 的规定。

表 5 工作台与测帽测量面的平行度

分度值/mm	平行度/分度
0.0005	1/2
0.001, 0.002	1/3
≥ 0.005	1/5

4.7 固定式工作台面与测量轴线的垂直度

垂直度应不超过 $5'$ (或 $0.012\text{mm}/8\text{mm}$)。

4.8 测力

应不超过表 6 的规定。

表 6 测力

装夹套筒直径/mm	最大测力/N	单向行程测力变化/N	同点正反向测力差/N
$\phi 8$	1.5	0.4	0.4
$\phi 28$	2	0.6	0.5

4.9 测杆受径向力对示值的影响

应不超过表 7 的规定。

4.10 重复性

应不超过表 8 的规定。

表 7 测杆受径向力对示值的影响

分度值/mm	测杆受径向力对示值的影响/分度
≤ 0.001	1/3
> 0.001	1/4

表 8 重复性

分度值/mm	要求/分度	
	首次检定	后续检定和使用中检验
≤ 0.001	$\frac{1}{3d_n}$	$\frac{1}{2d_n}$
> 0.001	$\frac{1}{4d_n}$	$\frac{1}{3d_n}$

注：表中 d_n 为极差系数。

4.11 示值误差

应不超过表 9 的规定。

表 9 求值误差

分度

	首次检定, 后续检定
± 30 内	± 0.5
± 30 外	± 1

注：示值误差是比较仪测杆在垂直向下状态时检定的。

4.12 回程误差

应不超过表 10 的规定。

表 10 回程误差

分度值/mm	回程误差/分度	
	首次检定	后续检定
< 0.01	1/2	1
0.01	1/3	1/2

5 通用技术要求

5.1 外观

5.1.1 分度盘各刻线应清晰平直, 不应有目力可见的断线和粗细不均; 分度盘上应有

“+”和“-”符号；表蒙应透明洁净无明显的划痕和影响读数的波纹及气泡；各部位不应有碰伤、锈迹、明显的划痕、脱漆、脱铬和毛刺以及影响外观的其它缺陷；表体的密封应良好。

5.1.2 表头上应标有制造厂名或商标、**MC**标志、分度值和出厂编号。

5.1.3 后续检定的比较仪，允许有不影响使用的外观缺陷。

5.2 各部分相互作用

5.2.1 表头在任意位置时，测杆的移动和指针的回转均应平稳灵活，无阻滞或卡住现象；指针移动范围应超过分度盘的示值范围。

5.2.2 仪器臂架与工作台的升降要平滑，无手感空程现象；各紧固螺钉作用应可靠。

5.2.3 零位调整装置作用应平稳可靠，其调整范围应不少于5个分度。

5.2.4 有软线拨叉的，其作用应可靠。

5.2.5 测杆行程应大于示值范围2mm（测杆由平行片簧支承的除外）。

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

6.1.1 检定室内温度及平衡时间：见表11。

表11 检定室内温度及平衡时间

分度值/mm	室温/℃	每小时温度变化 不大于(℃)	平衡温度时间不少于(h)	
			表头	带工作台比较仪
<0.001	20±5	0.5	4	12
≥0.001		1		

6.1.2 检定室内湿度应不超过80%RH。

6.1.3 检定设备

检定设备见表12。

6.2 检定项目

比较仪检定项目见表12。

表12 检定项目和主要检定设备

序号	检定项目	主要检定设备	首次 检定	后续 检定	使用中 检验
1	外观	—	+	+	+
2	各部分相互作用	—	+	+	+
3	装夹套筒直径	1级千分尺	+	-	-

表 12 (续)

序号	检定项目	主要检定设备	首次 检定	后续 检定	使用中 检验
4	指针与分度盘的相对位置	—	+	-	-
5	指针末端和分度盘刻线宽度	工具显微镜	+	-	-
6	工作台工作面和测帽测量面的表面粗糙度	表面粗糙度比较样块	+	-	-
7	工作台工作面的平面度	2级平晶	+	+	-
8	可调式工作台的可调性	4等量块、平面测帽	+	+	-
9	固定式工作台面与测量轴线的垂直度	1级三针、牵平面测帽	+	-	-
10	测力	分度值不大于0.1N的测力计	+	-	-
11	测杆受径向力对示值的影响	半圆柱侧块(量块附件)	+	-	-
12	重复性	4等量块	+	+	+
13	示值误差	2, 3, 4, 5等量块, 三珠工作台	+	+	-
14	回程误差	回程误差检具或仪器	+	+	-

注：表中“+”表示应检项目，“-”表示可不检项目。

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

试验与目力观察。

6.3.3 装夹套筒直径

用1级千分尺检定。

6.3.4 指针与分度盘的相对位置

试验与目力观察。

有争议时，用工具显微镜检定。

6.3.5 指针末端与分度盘刻线宽度

在工具显微镜上检定，应至少任意抽检3条刻线。

6.3.6 工作台工作面和测帽测量面的表面粗糙度

用表面粗糙度样块比较检定。

6.3.7 工作台工作面的平面度

用2级平晶以技术光波干涉法检定(边缘1mm不计)。

6.3.8 可调式工作台的可调性

在测杆上安装直径为 8mm 的平面测帽, 在工作台上放置一块尺寸为 (5~10) mm 的 4 等量块, 调整比较仪, 使测帽与量块接触, 同时使指针指示零位或邻近的某一分度, 借助工作台调整螺钉将工作台调至与测帽测量面平行。当量块的同一部位依次地与平面测帽在相互垂直的四个方位接触, 每一方位的接触位置为测帽直径的 1/4。在四个方位读数, 最大值与最小值之差应符合要求。

6.3.9 固定式工作台面与测量轴线的垂直度

将直径为 8mm 的窄平面测帽安装在测杆上, 将一块尺寸为 (5~10) mm 的 4 等量块放置在工作台上, 并使量块的长边与测帽长边平行。然后将一根直径 1mm 左右的 1 级三针放在测帽和量块之间, 三针的轴线应垂直于测帽长边。调整比较仪, 使三针与测帽的一端离边缘 0.5mm 处接触, 并使指针指示在某一分度为 a_1 , 移动三针到另一端距边缘 0.5mm 处读数为 a_2 。将测帽转 180°, 重复上述检定得读数 b_1 和 b_2 。

则在此方位的垂直度检定结果 Δ_1 为

$$\Delta_1 = [(a_1 - a_2) + (b_1 - b_2)]/2$$

再将测帽转 90°, 按上述方法检定, 求得另一方位的 Δ_2 。则其垂直度 Δ 为

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}$$

6.3.10 测力

用分度值不大于 0.1N 的测力仪在比较仪工作行程的始、中、末三个位置上检定。正向 (压缩测杆的方向) 测力检定完毕后, 继续使指针转过约 5 个分度, 再反向在上述三个位置进行检定。检定结果应符合要求。

6.3.11 测杆受径向力对示值的影响

将比较仪安装在臂架上或刚性较好的表架上, 调整其测量轴线垂直于平工作台面, 将半径约为 10mm 的半圆柱测块 (量块附件) 放在平工作台上。调整比较仪和测块接触, 使比较仪处于示值范围的起始位置附近, 将测块沿工作台面的前、后、左、右四个位置分别移动两次, 当比较仪球面测帽与半圆柱测块接触到指针指示最大值时进行读数。8 个读数中最大与最小值之差应符合要求。这一检定还应在示值范围的中、末两位置进行。

6.3.12 重复性

将比较仪安装在臂架上或刚性较好的表架上, 调整其测量轴线垂直于工作台面, 工作台上放置一块 (5~10) mm 的 4 等量块, 调整比较仪, 使球面测帽与量块接触。在示值范围的始、中、末三个位置附近分别使指针对准某一分度, 移动测杆各 5 次, 5 次中最大读数与最小读数之差除以极差系数 d_n ($d_n = 2.33$) 作为该位置的检定结果。三个位置的检定结果均应符合要求。

6.3.13 示值误差

6.3.13.1 比较仪示值误差检定时所用相应准确度等级的量块见表 13。

6.3.13.2 将装有球面测帽的表头夹持在臂架上, 工作台上放置三珠工作台或玛瑙工作台, 调整其中心处于测量轴线上, 然后以相应准确度等级的量块每隔 10 个分度进行一点检定。

表 13 比较仪示值误差检定用量块要求

分度值/ μm	量块等级
0.5	2 等
1	3 等
2	4 等
5	5 等
10	5 等

检定正向分度示值误差时,以所用量块中尺寸最小的量块对零,然后以尺寸递增的方式依次放入其它尺寸的量块,检定各受检点的示值,在比较仪上读数。检定负向分度示值时,则以所用量块中尺寸最大的量块对零,以尺寸递减的方式依次放入其它尺寸的量块,检定各受检点示值,在比较仪上读数。每一受检点进行三次检定读数,取平均值作为测得值 r_i 。各受检点的示值误差 δ_i 按下式计算:

$$\delta_i = \Delta r_i - (\Delta l_i - \Delta l_0) \quad (\mu\text{m})$$

式中: Δr_i ——受检点的测得值 r_i 与标称值之差, μm ;

Δl_i ——受检点所用量块的偏差, μm ;

Δl_0 ——对零量块的偏差, μm 。

比较仪的示值误差,也可用相同准确度的其它方法进行检定。但仲裁检定用上述方法。

6.3.14 回程误差

6.3.14.1 检定比较仪回程误差的检具或仪器应符合表 14 要求。

表 14 检定比较仪回程误差的检具或仪器要求

比较仪分度值/ mm	检具或仪器的回程误差/ μm
0.0005	0.1
0.001	0.2
0.002	0.3
≥ 0.005	0.5

6.3.14.2 比较仪回程误差应在比较仪测量范围内的始、中、末的三个位置上进行检定。

将比较仪表头安装在检具或仪器上,使指针由分度盘的“-”(或“+”)方向转至受检点,记下检具或仪器的读数。接着,使指针由该受检点继续转动几个分度,再反方向回到检具或仪器原位置,比较仪指针回不到原位的差值即为该受检点的检定结果。各受检点的检定结果均应符合要求。

在检定过程中,中途不得任意改变比较仪指针的回转方向,也不应对比较仪和检具

或仪器作任何调整。

6.4 检定结果的处理

经检定符合本规程要求的发给检定证书；不符合要求的发给检定结果通知书，并注明不合格项目。

6.5 检定周期

检定周期可根据使用的具体情况确定，一般不超过 1 年。

附录 A

机械式比较仪示值误差测量结果不确定度分析

A.1 测量方法

示值误差是用相应准确度等级的量块，对比较仪按间隔 10 个分度进行检定。

A.2 测量模型

比较仪示值误差 e ：

$$e = L_a - L_b \quad (\text{A.1})$$

式中： L_a ——比较仪示值；

L_b ——所用量块的实际值。

A.3 灵敏系数和方差

$$c_1 = \partial e / \partial L_a = 1 \quad c_2 = \partial e / \partial L_b = -1$$

所以

$$u_e^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 = u_1^2 + u_2^2 \quad (\text{A.2})$$

A.4 不确定度来源

A.4.1 读数误差引入的不确定度分量 u_1 A.4.2 量块不确定度、温度差和线胀系数差引入的不确定度分量 u_2

A.5 不确定度一览表

以分度值为 0.0005mm 比较仪为例 ($L = 0.015\text{mm}$)，见表 A.1。

表 A.1

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i \cdot u(x_i) / \mu\text{m}$
u_1	读数误差	0.028 μm	1	0.028 μm
u_2	量块、温度、线胀系数	0.025 μm	-1	0.025 μm
u_{21}	量块	0.025 μm		
u_{22}	线胀系数	0.00003 μm		
u_{23}	温度	0.0001 μm		
$u_c = 0.038\mu\text{m}$				

A.6 计算标准不确定度分量

A.6.1 读数误差引入的不确定度分量 u_1

读数误差为 1/10 格：分度值为 0.5 μm 的为 0.05 μm ；分度值为 10 μm 的为 1 μm 。按三角分布，估计其相对不确定度为 25%。则

$$u_{11} = 0.05 / \sqrt{6} \times \sqrt{2} = 0.028 (\mu\text{m}) \quad u_{12} = 1 / \sqrt{6} \times \sqrt{2} = 0.58 (\mu\text{m})$$

A.6.2 量块检定不确定度、温度差和线胀系数差引入的不确定度分量 u_2

A.6.2.1 量块检定不确定度引入的不确定度分量 u_{21}

证书给出 2 等量块的不确定度为 $(0.05 + 0.5L)$, $k = 2.7$, 则

$$u_{211} = 0.05/2.7 \times \sqrt{2} = 0.025 \text{ } (\mu\text{m})$$

证书给出 5 等量块的不确定度为 $(0.5 + 5L)$, $k = 2.7$, 则

$$u_{212} = 0.5/2.7 \times \sqrt{2} = 0.25 \text{ } (\mu\text{m})$$

A.6.2.2 比较仪和量块线胀系数给出的不确定度分量 u_{22}

δ_a 的界限为 $\pm 1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 三角分布, 相对不确定度 10%, 当 $L_1 = 0.015\text{mm}$ 和 $L_2 = 0.3\text{mm}$, $\Delta t = 5^\circ\text{C}$, 则

$$\begin{aligned} u_{221} &= 1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} / \sqrt{6} L_1 \Delta t \\ &= 1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} / \sqrt{6} \times 0.015 \times 10^3 \times 5^\circ\text{C} \\ &= 0.000015 \text{ } (\mu\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{222} &= 1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} / \sqrt{6} L_2 \Delta t \\ &= 1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} / \sqrt{6} \times 0.3 \times 10^3 \times 5^\circ\text{C} \\ &= 0.000035 \text{ } (\mu\text{m}) \end{aligned}$$

A.6.2.3 比较仪和所用量块的温度差给出的不确定度分量 u_{23}

它们之间存在温度差, 以等概率落在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 范围内。相对不确定度为 50%, 则

$$u_{23} = 1/\sqrt{3} = 0.6 \text{ } (^\circ\text{C})$$

当 $L_1 = 0.015\text{mm}$ 和 $L_2 = 0.3\text{mm}$, $\alpha = 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,

$$\begin{aligned} u_{231} &= L_1 \times \alpha \times 0.6^\circ\text{C} \\ &= 0.015 \times 10^3 \times 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 0.6^\circ\text{C} \\ &= 0.0001 \mu\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{232} &= L_2 \times \alpha \times 0.6^\circ\text{C} \\ &= 0.3 \times 10^3 \times 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 0.6^\circ\text{C} \\ &= 0.002 \text{ } (\mu\text{m}) \end{aligned}$$

当 $L_1 = 0.015\text{mm}$,

$$\begin{aligned} u_2 &= \sqrt{u_{211}^2 + u_{221}^2 + u_{231}^2} = \sqrt{0.025^2 + 0.0001^2 + 0.00003^2} \\ &= 0.025 \text{ } (\mu\text{m}) \end{aligned}$$

当 $L_2 = 0.3\text{mm}$,

$$\begin{aligned} u_2 &= \sqrt{u_{212}^2 + u_{222}^2 + u_{232}^2} = \sqrt{0.25^2 + 0.003^2 + 0.0006^2} \\ &= 0.25 \text{ } (\mu\text{m}) \end{aligned}$$

A.7 合成标准不确定度 u_c

当 $L_1 = 0.015\text{mm}$,

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.028^2 + 0.025^2} \\ &= 0.038 \text{ } (\mu\text{m}) \end{aligned}$$

当 $L_2 = 0.3\text{mm}$,

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.6^2 + 0.25^2} \\ = 0.69 (\mu\text{m})$$

A.8 扩展不确定度 U

当 $L_1 = 0.015\text{mm}$,

$$U_{95} = u_c k = 0.038 \times 2 = 0.076 (\mu\text{m})$$

当 $L_2 = 0.3\text{mm}$,

$$U_{95} = u_c k = 0.69 \times 2 = 1.38 (\mu\text{m})$$

A.9 测量结果不确定度报告与表示

分度值为 $0.5\mu\text{m}$ ，受检点 0.015mm 和分度值为 $10\mu\text{m}$ ，受检点为 0.3mm 的机械式比较仪在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 条件下，用相应准确度等级的量块检定，示值误差扩展不确定度为

当 $L_1 = 0.015\text{mm}$,

$$U_{95} = 0.038 \times 2 = 0.076 (\mu\text{m}) \quad k = 2$$

当 $L_2 = 0.3\text{mm}$,

$$U_{95} = 0.69 \times 2 = 1.38 (\mu\text{m}) \quad k = 2$$

扩展不确定度 U_{95} 与最大允许误差之比不大于 $1/3$ ，检定方法可行。

附录 B

检定证书和检定结果通知书内页格式

B.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	工作台的平面度	
2	可调式工作台的可调性	
3	重复性	
4	回程误差	
5	示值误差	
检定依据：JJG 39—2004 机械式比较仪		

B.2 检定不合格通知书内页格式

具体要求同 B.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）。