



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 570—2006

电容式测微仪

Capacitance Comparators

2006-03-08 发布

2006-09-08 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

电容式测微仪检定规程

Verification Regulation of
Capacitance Comparators

JJG 570—2006
代替 JJG 570—1988

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2006 年 3 月 8 日批准，并自 2006 年 9 月 8 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：河南省计量科学研究院

天津大学

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：

任方平 (河南省计量科学研究院)

黄玉珠 (河南省计量科学研究院)

贾晓杰 (河南省计量科学研究院)

郑义忠 (天津大学)

参加起草人：

葛伟三 (河南省计量科学研究院)

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 示值重复性	(2)
4.2 响应时间	(2)
4.3 示值误差	(2)
4.4 鉴别力	(2)
4.5 稳定性	(2)
4.6 调零范围	(2)
4.7 指针式电容测微仪的计量性能要求	(2)
5 通用技术要求	(2)
5.1 外观	(2)
5.2 各部分的相互作用	(2)
6 计量器具控制	(2)
6.1 检定条件	(2)
6.2 检定项目	(3)
6.3 检定方法	(3)
6.4 检定结果的处理	(5)
6.5 检定周期	(5)
附录 A 检定证书和检定结果通知书(内页)格式	(6)
附录 B 标准档板的技术要求	(7)
附录 C 指针式电容测微仪的检定	(8)
附录 D 电容式测微仪示值误差的测量不确定度分析	(9)

电容式测微仪检定规程

1 范围

本规程适用于量程不大于 $2000\mu\text{m}$ 、分辨力为 $1\text{nm}\sim 0.5\mu\text{m}$ 的电容式测微仪的首次检定、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 计量仪器特性评定技术规范

使用本规程时，应注意使用上述引用文件的现行有效版本。

3 概述

电容式测微仪是采用电容调频或电容运算原理的一种非接触式精密测量仪器，适用于机械、塑料等行业中的几何量测量。电容式测微仪及传感器外形如图 1 所示。电容式测微仪可配有成套的传感器。



图 1 电容式测微仪的电箱

1—显示器；2—调零电位器；3—传感器输入端



图 2 电容式测微仪的传感器

1—传感器；2—电缆线

4 计量性能要求

4.1 示值重复性

应不大于 3 个分辨力。

4.2 响应时间

应不大于 1.5s。

4.3 示值误差

应不超过量程的 $\pm 0.5\%$ 。

4.4 鉴别力

应不超过最小档位 3 个分辨力。

4.5 稳定性

应不超过最小档位 3 个分辨力每 4 小时。

4.6 调零范围

应不小于量程的 20%。

4.7 指针式电容测微仪的计量性能要求

见附录 C。

5 通用技术要求

5.1 外观

5.1.1 仪器的镀涂层表面应平整、均匀、色调一致，不应有斑点、起泡、脱皮以及影响外观质量的其他缺陷；工作面不应有锈蚀、碰伤、明显划痕等缺陷。

5.1.2 仪器的文字符号、刻线应清晰均匀。

5.1.3 仪器上应标有制造厂名（或商标）、出厂编号等标志。

5.2 各部分的相互作用

仪器各旋钮、按键开关指示应正确，传感器的连接应牢固可靠。

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 环境条件

6.1.1.1 检定仪器的室温为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，温度变化不大于 0.5°C/h 。

6.1.1.2 检定仪器的室内相对湿度不大于 60% RH。

6.1.1.3 受检仪器在检定室内平衡温度的时间和标准器在检定室内平衡温度的时间不少于 24h。

6.1.1.4 检定室内应无影响测量的灰尘、振动、噪音、腐蚀性气体和较强磁场。

6.1.2 检定用设备

检定用主要器具见表 1。

表 1 检定项目和检定器具

序号	检定项目	检定用主要器具	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	示值重复性	5 等 (3~5) mm 量块斜块式测微仪 检定器 (MPE: 0.8 μ m)	+	+	+
4	响应时间	5 等 (3~5) mm 量块斜块式测微仪 检定器 (MPE: 0.8 μ m) 秒表	+	+	—
5	示值误差	小角度检查仪 3 等量块	+	+	—
6	鉴别力	杠杆斜块式测微仪检定 器 (MPE: 0.1 μ m)	+	+	—
7	稳定性	计时器	+	—	—
8	调零范围	——	+	+	+
注: 表中“+”表示应检项目; “—”表示可不检项目。					

6.1.3 其他要求

6.1.3.1 按被检仪器技术要求, 选定合适的量程与对应传感器, 并调整好初始间隙。

6.1.3.2 电压 220V, 50Hz。电压波动不应超过 $\pm 10\%$ 。

6.1.3.3 仪器检定前应开机预热 (1~3) h。

6.2 检定项目

检定项目见表 1。

6.3 检定方法

6.3.1 外观

目力观察。

6.3.2 各部分的相互作用

目力观察和手动试验。

6.3.3 示值重复性

量程选最小档位,将装夹在斜块式测微仪检定器上的传感器,对准放在工作台上的(3~5) mm 范围内任意一块 5 等量块,调整传感器垂直位移,使仪器示值显示在测量范围内。在工作条件不变的情况下,推动量块,对同一受检点连续测量 5 次,其最大、最小值之差为示值重复性。

6.3.4 响应时间

按 6.3.3 条装夹和调整传感器。将量块置于传感器测头下,用秒表记下从推入量块到显示值稳定所需的时间即为响应时间。

6.3.5 示值误差

对于分辨力大于(或等于) $0.01\mu\text{m}$ 的电容式测微仪,使用小角度检查仪和 3 等量块检定。

检定前,在小角度检查仪的左右两指示计臂架孔中,分别装上接触式干涉仪光管,并将孔距为 (50 ± 0.02) mm 夹具,装在左端接触式干涉仪光管上。在夹具左端的孔中装上电容测微仪的传感器,经调整,使传感器轴线与两个接触式干涉仪光管轴线共面,如图 2 所示。小角度检查仪经过上述调整,构成了 50:500 即 1:10 的杠杆机构,借助框式水准器,调整桥形工作台使其台面基本水平。仪器调整后,根据被检仪器的分辨力和量程选用相应尺寸的量块进行检定。受检点应不少于 5 点,在量程内均匀分布。

例如检定量程为 $\pm 50\mu\text{m}$ 的电容式测微仪,每隔 $10\mu\text{m}$ 为一个受检点,选用 1mm、1.1 mm、1.2 mm、1.3 mm、1.4 mm、1.5 mm 等 3 等量块为标准。为使接触式干涉仪定位可靠,再选用一块不低于 4 等的 1mm 量块作垫块。



图 3 用小角度检查仪检定示值误差示意图

- 1—干涉仪光管; 2—电容式传感器; 3—夹具; 4—标准档块; 5—水准器; 6—支承脚;
7—升降螺钉; 8—升降轴; 9—圆柱; 10—桥形工作台; 11—量块; 12—干涉仪光管

将两块 1mm 量块分别推入接触式干涉仪测头下面对零,将作为极板的标准档块推入电容传感器下面,并上下移动传感器,使电容式测微仪示值为零。置换右端的接触式干涉仪下面的量块,调整装置,使接触式干涉仪的示值重新为零,读取电容式测微仪的示值即为该受检点的测得值。依次检定各受检点直至终点,各受检点的测得值与标准值之差,为该受检点的示值误差。

对于分辨力小于 10nm 的电容式测微仪的示值误差,可用激光干涉仪检定。

6.3.6 鉴别力

分辨力大于(或等于) $0.01\mu\text{m}$ 电容式测微仪的鉴别力,在分度值不大于 $0.02\mu\text{m}$ 的杠杆斜块式测微仪检定器上检定(如图 3)。将电容式测微仪的传感器装入该检定器的支架孔中,置量程于最小档位,并使电容式测微仪示值在量程范围内,待电容式测微仪示值稳定后,记下检定器微分筒鼓轮上的读数。然后缓慢地转动检定器的微分筒,使测微仪示值发生可观察的变化后,再次在检定器微分筒鼓轮上读数。两次读数之差,即为电容式测微仪的鉴别力。

对于分辨力小于 10nm 的电容式测微仪的鉴别力,用激光干涉仪检定。

6.3.7 稳定性

电容式测微仪按 6.3.3 条装夹和调整好传感器。记下第一次示值。然后每隔 1h 记录一次示值,连续观察 4h,取示值的最大与最小值之差为稳定性。

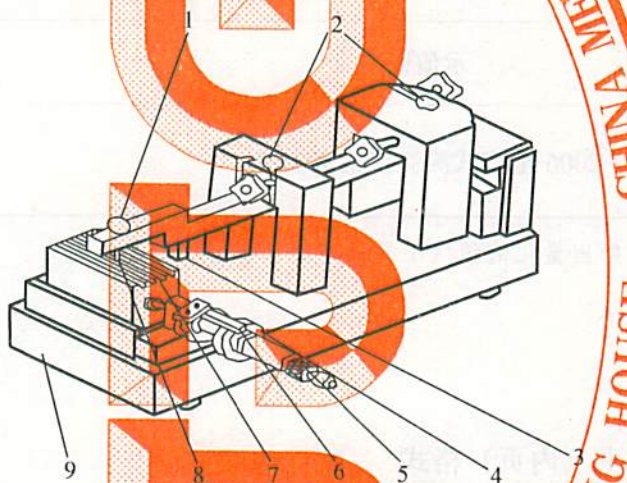


图 4 杠杆斜块式测微仪检定器

1—微分螺钉; 2—装夹支架; 3—杠杆支点; 4—读数鼓轮
5—微分螺钉; 6—刻度尺; 7—上斜块; 8—杠杆测头; 9—底座

6.3.8 调零范围

电容式测微仪置最大量程档,将调零旋钮旋置中间位置后,再调整传感器,使示值处于零位附近,然后将调零旋钮从左到右旋转到底,仪器所指示的示值变化即为调零范围。

6.3.9 指针式电容测微仪各检定项目的检定方法同电容式测微仪的检定方法。

6.4 检定结果的处理

经检定符合本规程要求的电容式测微仪,应填发检定证书;不符合本规程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

电容式测微仪的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

检定证书和检定结果通知书（内页）格式

A.1 检定证书的内页格式如下：

检 定 结 果

温度：℃

相对湿度：%

序号	主要检定项目	检定结果
1	外观和各部分相互作用	
2	示值重复性	
3	示值误差	
检定依据：JJG 570—2006 电容式测微仪检定规程		

注：检定结果，应给出量化的值（不要简单给“合格”二字）。

检定单位地址：

联系电话：

传真：

A.2 检定结果通知书（内页）格式

具体要求同 A.1，并指出不合格项目。

附录 B

标准挡板的技术要求

B.1 标准挡板如图 B.1，其技术要求如下：

B.1.1 对 A、B 面的技术要求：平面度不大于 $0.3\mu\text{m}$ ；
平行度不大于 $0.6\mu\text{m}$ ；表面粗糙度不大于 $R_a0.1\mu\text{m}$ ；

B.1.2 材料 GCr13。

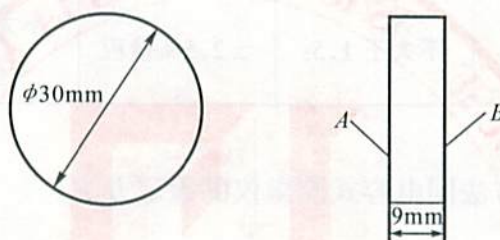


图 B.1

附录 C

指针式电容测微仪的检定

C.1 指针式电容测微仪的计量性能要求 (见表 C.1)

表 C.1 指针式电容测微仪的计量性能要求

检定项目	示值重复性	响应时间	示值误差	鉴别力	稳定性
技术要求	不大于 1 个分度值	不大于 1.5s	$\pm 2.5\%$ 量程	不大于 1/2 个分度值	不大于 1.5 个分度值/4h

C.2 各检定项目的检定方法同电容式测微仪的检定方法

附录 D

电容式测微仪示值误差的测量不确定度分析

D.1 测量方法

电容式测微仪的示值误差是用量块为标准以直接法测量获得的。

D.2 数学模型

$$\Delta_i = f(L_i) = L_i - (l_i - l_0) \times \frac{L_0}{L} \quad (\text{D.1})$$

其中： L_i ——电容式测微仪示值， μm ；

l_i ——接触式干涉仪光管测量 i 受检点时所用量块的实际值， μm ；

l_0 ——接触式干涉仪光管对零时所用量块的实际值， μm ；

L ——小角度检查仪两干涉仪之间的距离， mm ；

L_0 ——左边干涉仪与电容式测微仪传感器之间的距离， mm 。

D.3 方差和灵敏系数

实际工作中，因 l_i 和 l_0 相关系数较小而近似认为 $r=0$ ，于是 $u_c^2(y)$ 可简化为：

$$u_c^2(y) = \sum [\partial f / \partial x_i]^2 u^2(x_i) \quad \text{有：}$$

$$u_c^2 = c^2(L_i) u^2(L_i) + c^2(l_i) u^2(l_i) + c^2(l_0) u^2(l_0) + c^2(L) u^2(L) + c^2(L_0) u^2(L_0) \quad (\text{D.2})$$

其中： $L = 500\text{mm}$ ， $L_0 = 50\text{mm}$

$$c(L_i) = 1, c(l_i) = -\frac{L_0}{L} = -0.1, c(l_0) = \frac{L_0}{L} = 0.1,$$

$$c(L) = (l_i - l_0) L_0 / L^2 = (l_i - l_0) \times 2 \times 10^{-7},$$

$$c(L_0) = -(l_i - l_0) / L = -(l_i - l_0) \times 2 \times 10^{-6}$$

以量程为 $\pm 50\mu\text{m}$ 、分辨力为 $0.01\mu\text{m}$ 的电容式测微仪为例分析其示值误差的测量不确定度。

D.4 计算标准不确定度分量

D.4.1 标准量 l_i 误差引入的不确定度分量 $u(l_i)$

D.4.1.1 3 等量块（尺寸小于 10mm ）的不确定度 $U = 0.1\mu\text{m}$ ，依该量块测量不确定度分析，其自由度 $\nu = 66$ ， $t_{99(66)} = 2.67$ ，用 3 等量块直接检定，故：

$$u(l_{i1}) = 0.1 / 2.67 = 0.037\mu\text{m}$$

D.4.1.2 读数装置采用的分度值为 $0.1\mu\text{m}$ 干涉仪光管，由其测量重复性引起的标准不确定度可以通过大量的连续测量得到数个测量值，采用 A 类方法评定，对一块 3 等量块在重复条件下连续测量 10 次，得到： $s = 0.025\mu\text{m}$

在实际测量中,在重复性条件下连续测量 3 次,以该 3 次测量算术平均值为测量结果,则可得到:

$$u(l_{i2}) = 0.025/\sqrt{3} = 0.014\mu\text{m}$$

自由度为: $\nu(l_{i2}) = 10 - 1 = 9$, 则

$$u(l_i) = \sqrt{u^2(l_{i1}) + u^2(l_{i2})} = \sqrt{0.037^2 + 0.014^2} = 0.040\mu\text{m}$$

$$\nu(l_i) = \frac{0.040^4}{0.037^4/66 + 0.014^4/9} = 80$$

D.4.2 标准量 l_0 误差引入的不确定度分量 $u(l_0)$

同 D.4.1, 故:

$$u(l_0) = \sqrt{u^2(l_{01}) + u^2(l_{02})} = \sqrt{0.037^2 + 0.014^2} = 0.040\mu\text{m}$$

$$\nu(l_0) = \frac{0.040^4}{0.037^4/66 + 0.014^4/9} = 80$$

D.4.3 电容式测微仪示值引入的不确定度分量 $u(L_i)$

引入的不确定度由测量的重复性、分辨力引入的误差所构成。

D.4.3.1 由测量重复性的到的分量 $u(L_{i1})$

测量重复性是检定电容式测微仪任意值的示值误差,重复测量 10 次获得的。故有:

$$s = 0.03\mu\text{m} \quad n = 10, \quad \nu = 9$$

在实际测量中,在重复性条件下连续测量 3 次,以该 3 次测量算术平均值为测量结果,则可得到:

$$u(L_{i1}) = 0.03/\sqrt{3} = 0.017\mu\text{m}$$

D.4.3.2 由分辨力引入的不确定度分量 $u(L_{i2})$

分辨力引入的测量误差通常为 0.29 个分辨力。分辨力为 $0.01\mu\text{m}$ 时:

$$u(L_{i2}) = 0.01 \times 0.29 = 0.003\mu\text{m}$$

估计 $u(a)$ 相对标准不确定度为 20%, 则:

$$\nu = 12$$

D.4.3.3 以上两项的合成不确定度:

$$u^2(L_i) = u^2(L_{i1}) + u^2(L_{i2}) = 0.017^2 + 0.003^2 = 2.98 \times 10^{-4}\mu\text{m}^2$$

$$u(L_i) = 0.017\mu\text{m}$$

$$\nu = \frac{0.017^4}{\frac{0.017^4}{9} + \frac{0.003^4}{12}} = 9$$

D.4.4 小角度检查仪两干涉光管之间的距离引入的不确定度 $u(L)$

该不确定度是由两干涉光管中心距偏差、中心距平行度和球面测帽的球面中心与其套孔轴线重合度构成,采用 B 类方法进行评定。

D.4.4.1 两干涉仪中心距偏差,根据 JJG 300—2002 小角度检查仪检定规程要求,中

心距偏差应不大于 $\pm 0.05\text{mm}$, 服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 半宽度 $a=0.05\text{mm}$,

$$u(L_1) = 0.05/\sqrt{3} = 0.029\text{mm}$$

估计 $u(L_1)$ 的相对标准不确定度为 $1/4$, 其自由度为 $\nu_{L1}=8$

D.4.4.2 球面测帽的球面中心与其套孔轴线重合度, 根据 JJG 300—2002 小角度检查仪检定规程要求, 应不大于 0.06mm , 服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 半宽度 $a=0.06\text{mm}$,

$$u(L_2) = 0.06/\sqrt{3} = 0.035\text{mm}$$

估计 $u(L_2)$ 的相对标准不确定度为 0.25 , 其自由度为 $\nu_{L1}=8$

D.4.4.3 以上两项的合成不确定度:

$$u^2(L) = u^2(L_1) + u^2(L_2) = 0.029^2 + 0.035^2 = 2.1 \times 10^{-3}\text{mm}$$

$$u(L) = 0.045\text{mm}$$

$$\nu(L) = 0.045^4 / (0.029^4/8 + 0.035^4/8) = 15$$

D.4.5 左边干涉光管与电容式测微仪传感器之间的距离 L_0 引入的测量不确定度 $u(L_0)$

根据本检定规程规定, 左边干涉仪与电容式测微仪测头之间的距离为 $(50 \pm 0.02)\text{mm}$, 服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 半宽度 $a=0.02\text{mm}$,

$$u(L_0) = 0.02/\sqrt{3} = 0.012\text{mm}$$

估计 $u(L_0)$ 的相对标准不确定度为 $1/4$, 其自由度为 $\nu_{L1}=8$

D.5 合成标准不确定度

因为 $l_i - l_0 = 10\mu\text{m}$, $c(L) = 2 \times 10^{-3}$, $c(L_0) = 2 \times 10^{-5}$

所以 $u_c^2 = c^2(L_i)u^2(L_i) + c^2(l_i)u^2(l_i) + c^2(l_0)u^2(l_0) + c^2(L)u^2(L) + c^2(L_0)u^2(L_0)$

$$u_c^2 = 0.017^2 + (0.04 \times 0.1)^2 + (0.04 \times 0.1)^2 + (45 \times 0.000002)^2 + (12 \times 0.00002)^2$$

$$= 0.017^2 + 0.004^2 + 0.004^2 + 0.00009^2 + 0.00024^2$$

$$= 3.21 \times 10^{-4}\mu\text{m}$$

$$u_c = 0.018\mu\text{m}$$

D.6 有效自由度

$$\nu_{\text{eff}} = 0.018^4 / (0.017^4/9 + 0.004^4/80 + 0.004^4/80 + 0.00009^4/15 + 0.00024^4/8)$$

$$= 11$$

$$t_{95}(11) = 2.20$$

D.7 扩展不确定度

$$U = t_{95}(11) \times u_c = 2.20 \times 0.018 \approx 0.04\mu\text{m}$$

中华人民共和国
国家计量检定规程

电容式测微仪

JJG 570—2006

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

邮政编码 100013

电话 (010)64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

880 mm×1230 mm 16开本 印张1 字数16千字

2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

印数1—1 000

统一书号 155026-2163 定价: 18.00元