

JJF（沪苏浙皖）

沪苏浙皖地方计量校准规范

JJF（沪苏浙皖）XXXX — 20XX

数显外圆弧半径卡尺校准规范

Calibration Specification for
Digital Outer arc radius calipers

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

上海市市场监督管理局

江苏省市场监督管理局 发布

浙江省市场监督管理局

安徽省市场监督管理局

数显外圆弧半径卡尺 校准规范

JJF(沪苏浙皖)

XXXX—20XX

Calibration Specification for
Digital Outer arc radius calipers

归口单位：上海市市场监督管理局
江苏省市场监督管理局
浙江省市场监督管理局
安徽省市场监督管理局

主要起草单位：江苏省计量科学研究院（江苏省能源计量数据中心）
广电计量检测集团股份有限公司
无锡市检验检测认证研究院

参加起草单位：广电计量检测集团股份有限公司
南京马波斯自动化设备有限公司

本规范委托江苏省计量科学研究院（江苏省能源计量数据中心）负责解释

本规范主要起草人：

秦 洁（江苏省计量科学研究院（江苏省能源计量数据中心））

伍水生（广电计量检测集团股份有限公司）

李 惠（无锡市检验检测认证研究院）

参加起草人：

刘晓琴（广电计量检测集团股份有限公司）

顾林森（南京马波斯自动化设备有限公司）

目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(2)
4.1 测量面的平面度.....	(2)
4.2 示值变动性.....	(2)
4.3 示值误差.....	(2)
5 校准条件.....	(2)
5.1 环境条件.....	(2)
5.2 测量标准及其他设备.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(3)
6.1 校准前检查.....	(3)
6.2 测量面的平面度.....	(3)
6.3 示值变动性.....	(3)
6.4 示值误差.....	(3)
7 校准结果表达.....	(4)
8 复校时间间隔.....	(4)
附录 A.1 校准原始记录格式.....	(5)
附录 A.2 校准证书内页格式.....	(6)
附录 B 标准圆弧的参考技术要求与溯源方法.....	(7)
附录 C 数显外圆弧半径卡尺示值误差测量不确定度评定.....	(8)

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

数显外圆弧半径卡尺校准规范

1 范围

本规范适用于测量上限为 $R\ 200\text{ mm}$ 的数显外圆弧半径卡尺的校准，其他类型（游标型、带表型）参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 30 通用卡尺

JJF 1094 测量仪器特性评定

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范，凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有修改单）适用于本规范。

3 概述

数显外圆弧半径卡尺（以下简称“外圆弧半径卡尺”）是一种测量非整圆（通常为劣弧）半径的专用量具，其两量爪测量面呈一定角度。测量时，利用带有量爪的尺框在尺身上相对运动，使被测圆弧分别与两量爪和尺框相切，通过读数机构读取圆弧半径。外圆弧半径卡尺结构如图 1 所示：

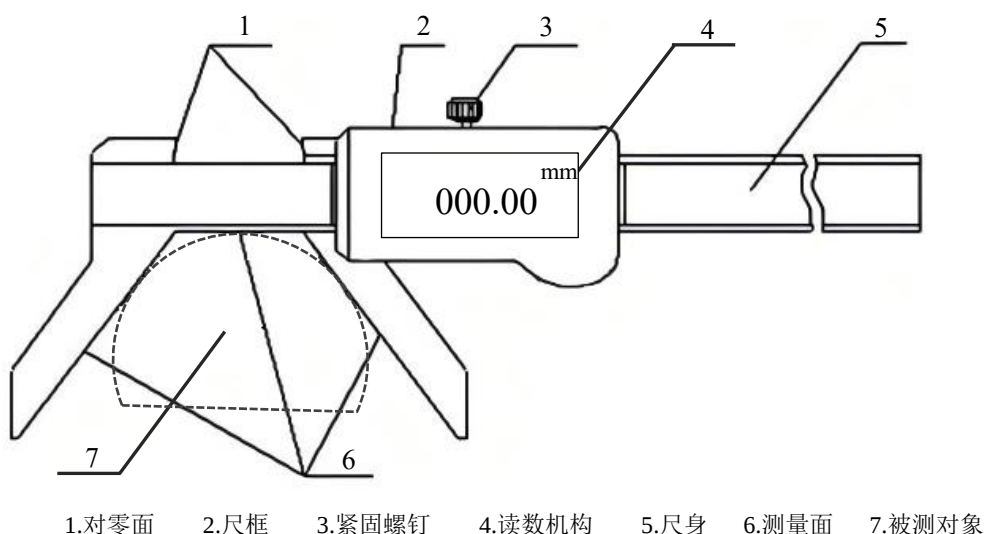


图 1 外圆弧半径卡尺示意图

4 计量特性

4.1 测量面的平面度

测量面的平面度不超过0.005 mm。

4.2 示值变动性

示值变动性一般不超过表1的规定。

表1 示值变动性 (mm)

分辨力	0.01, 0.02	0.05	0.10
示值变动性	0.03	0.05	0.10

4.3 示值误差

外圆弧半径卡尺的示值最大允许误差可参考表2要求。

表2 示值最大允许误差 (mm)

测量范围	分辨力		
	0.01, 0.02	0.05	0.10
$R \leq 150$	± 0.06	± 0.10	± 0.20
$150 < R \leq 200$	± 0.10	± 0.15	± 0.30

注：校准工作不判断合格与否，上述计量特性要求仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

实验室环境应满足以下要求：温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 、湿度不大于80%RH，校准前标准器与被测外圆弧半径卡尺等温1个小时以上。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表3。

表 3 测量标准及其他设备一览表

序号	校准项目	主要校准设备
1	测量面的平面度	刀口形直尺 $MPE_s: 1\mu m$
2	示值变动性	标准圆弧 (或圆柱) (技术要求见附录B.1)
3	示值误差	标准圆弧 (或圆柱) (技术要求见附录B.1)

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前检查

目力观察或手动试验,外圆弧半径卡尺应镀层均匀,标尺标记清晰,无锈蚀、碰伤、毛刺、镀层脱落及明显划痕等影响计量特性的外观缺陷。尺框沿尺身移动应手感平稳,不应有阻滞或松动现象。数字显示应清晰、完整,无黑斑和闪跳现象,各按钮功能稳定、工作可靠。

6.2 测量面的平面度

用刀口尺以光隙法测量外圆弧半径卡尺测量面的平面度。测量时,分别在测量面的长边、短边和对角线位置上进行。其平面度根据各方位的间隙情况确定。当所有校准方位上出现的间隙均在中间部位或两端部位时,取其中一方位间隙量最大的作为平面度。当其中有的方位中间部位有间隙,而有的方位两端部位有间隙,则平面度为中间和两端最大间隙量之和。

6.3 示值变动性

在相同条件下,对测量范围内任一半径的标准圆弧(或圆柱)进行 5 次测量,以读数的最大和最小值之差确定。

6.4 示值误差

用标准圆弧 (或圆柱) 进行测量,至少选择外圆弧半径卡尺量程范围内近似均匀分布的3点:例如,测量范围150 mm的外圆弧半径卡尺校准点可选择41.2 mm、81.5 mm、121.8 mm;测量范围200 mm的外圆弧半径卡尺校准点可选择51.2 mm、

121.5 mm、191.8 mm。测量时，使圆弧面与外圆弧半径卡尺三个测量面相切，读取示值，重复测量三次取平均值，按公式（1）计算各点示值误差。

$$\Delta R = \bar{R} - R_s \quad (1)$$

式中：

ΔR ——外圆弧半径卡尺示值误差，mm；

$\bar{R}$ ——外圆弧半径卡尺示值平均值，mm；

R_s ——标准圆弧（或圆柱）的实际半径，mm。

注：以上校准点为推荐点，可根据实际校准情况调整。

7 校准结果表达

经校准的外圆弧半径卡尺应出具校准证书。校准证书应符合 JJF 1071-2010 5.12 的要求。校准证书内页格式见附录 A.2。

8 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据实际使用情况自主决定，建议不超过 1 年。

附录 A.1 校准原始记录格式

数显外圆弧半径卡尺原始记录

共 页 第 页

客户名称_____ 地址_____

器具名称_____ 编号_____

制造厂_____ 型号规格_____

地点: _____ 校准日期_____

校准依据: _____ 温度_____℃ 湿度_____%RH

主要计量器具							
序号	名称/编号	型号规格	测量范围	准确度等级/ 最大允许误差/ 不确定度	证书编号/ 有效期		
校准结果							
序号	校准项目	校准结果 (mm)					
1	测量面的平面度						
2	示值变动性						
3	示值误差	校准点	读数 1	读数 2	读数 3	平均值	示值误差
数显外圆弧半径卡尺示值误差测量不确定度: $U =$ mm ($k=2$)							

校准人员_____ 核验人员_____

附录 A.2 校准证书内页格式

数显外圆弧半径卡尺校准证书内页格式

序号	校准项目	校准结果（mm）	
1	测量面的平面度		
2	示值变动性		
3	示值误差	校准点	示值误差
数显外圆弧半径卡尺示值误差测量不确定度： $U=$ mm（ $k=2$ ）			

附录 B 标准圆弧的参考技术要求与溯源方法

B.1 标准圆弧参考技术要求（见表 B.1）

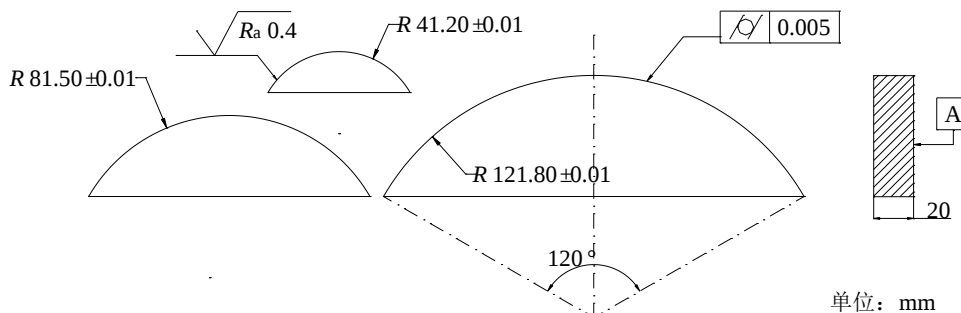


图 B.1 150mm 外圆弧半径卡尺校准用标准圆弧示意图

表 B.1 标准圆弧主要技术要求

参数	技术要求
半径	MPE: $\pm 0.010\text{mm}$
圆柱度	$< 0.005\text{mm}$
厚度	$\geq 20\text{mm}$

注：为便于准确溯源，圆弧圆心角应不小于 120° 。

B.2 溯源方法

使用坐标测量机，在圆弧上测量三个等距截面，每层提取 12 点以上或以扫描方式取点，其中有两点（P1、P2）偏离中央轴线左右各 53° 左右，一点（P3）在中央轴线附近，如图 B.2。以最小区域法拟合圆弧面，计算半径及圆柱度。也可使用满足测量不确定度要求的其他测量设备。

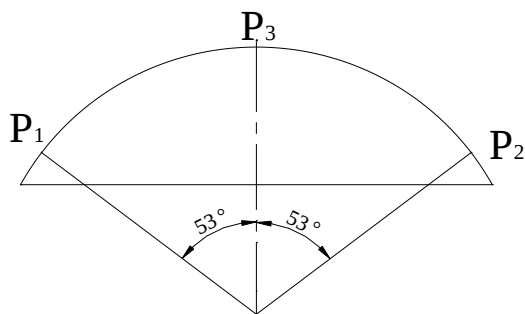


图 B.2

附录 C 数显外圆弧半径卡尺示值误差测量不确定度评定

C.1 概述

依据本校准规范，用标准圆弧测量分辨力为 0.01mm、测量上限为 200mm 数显外圆弧半径卡尺。

C.2 测量模型

$$\Delta R = R_i - R_s$$

考虑到温度和线胀系数的影响，有：

$$\Delta R = R_i - R_s + R_i \cdot \alpha_i \cdot \Delta t_i - R_s \cdot \alpha_s \cdot \Delta t_s$$

式中：

ΔR ——示值误差，mm；

R_i ——外圆弧半径卡尺示值，mm；

R_s ——标准圆弧的实际半径，mm；

α_i 与 α_s ——分别为外圆弧半径卡尺、标准圆弧的线胀系数；

Δt_i 与 Δt_s ——分别为外圆弧半径卡尺、标准圆弧与参考温度20℃的偏离量。

令 $R \approx R_i \approx R_s$ ，则 $\Delta R = R_i - R_s + R(\alpha_i \cdot \Delta t_i - \alpha_s \cdot \Delta t_s)$

另 $\delta_\alpha = \alpha_i - \alpha_s$ ， $\delta_t = \Delta t_i - \Delta t_s$ ，则

$$\Delta R = R_i - R_s + R \cdot \Delta t_i \cdot \delta_\alpha + R \cdot \alpha_s \cdot \delta_t$$

假设 $\Delta t_i = \Delta t$ ， $\alpha = \alpha_s$ ，则

$$\Delta R = R_i - R_s + R \cdot \Delta t \cdot \delta_\alpha + R \cdot \alpha \cdot \delta_t$$

按照不确定度传播定律 $u_c^2(y) = \sum \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)$ ，可得

$$u_c^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2$$

其中： $c_1 = \frac{\partial \Delta R}{\partial R_i} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta R}{\partial R_s} = -1$ ， $c_3 = \frac{\partial \Delta R}{\partial \delta_\alpha} = R \cdot \Delta t$ ， $c_4 = \frac{\partial \Delta R}{\partial \delta_t} = R \cdot \alpha$

由上式可见测量结果的误差包含测量重复性和标准圆弧半径误差，因此测量不确定度需要考虑：

1) 外圆弧半径卡尺测量标准圆弧的测量重复性与外圆弧半径卡尺分辨力引入的标准不确定度分量： u_1 ；

- 2) 标准圆弧半径误差引入的标准不确定度分量： u_2 ；
- 3) 外圆弧半径卡尺与标准圆弧线胀系数差引入的标准不确定度分量： u_3 ；
- 4) 外圆弧半径卡尺与标准圆弧温度差引入的标准不确定度分量： u_4

以上标准不确定度分量互不相关。

C.3 不确定度分量评定

C.3.1 测量重复性与外圆弧半径卡尺分辨力引入的标准不确定度分量

以三个校准点 $R\ 51.2\text{mm}$ 、 121.5mm 、 191.8mm 为例，分别进行 10 次测量，测量结果如表 C.1，分别根据贝塞尔公式计算单次测量标准偏差。由于重复性引起的标准不确定度分量可认为已包含分辨力引入的标准不确定度分量（分辨力引入的标准不确定度分量为 0.003mm ），故两者取大值，即重复性。

表 C.1

校准点 次数	51.2 (mm)	121.5 (mm)	191.8 (mm)
1	51.18	121.51	191.81
2	51.19	121.49	191.79
3	51.21	121.49	191.78
4	51.20	121.50	191.80
5	51.19	121.51	191.79
6	51.20	121.48	191.82
7	51.19	121.49	191.82
8	51.21	121.51	191.80
9	51.22	121.50	191.78
10	51.20	121.48	191.82
平均值	51.199	121.496	191.801
s	0.012	0.013	0.016

由于实际校准取三次测量结果的平均值，则重复性引入的不确定度分量为：

$$51.2\text{mm 时}, u_{11} = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{0.012\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.007\text{mm}$$

$$121.5\text{mm 时}, u_{12} = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{0.013\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.008\text{mm}$$

$$191.8\text{mm 时}, u_{13} = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{0.016\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.009\text{mm}$$

C.3.2 标准圆弧半径误差引入的标准不确定度分量

标准圆弧半径测量结果的扩展不确定度 $U=2\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$, $k=2$, 则

$$51.2\text{mm 时}, u_{21} = \frac{U}{k} = \frac{0.002\text{mm}}{2} = 0.001\text{mm}$$

$$121.5\text{mm 时}, u_{22} = \frac{U}{k} = \frac{0.003\text{mm}}{2} = 0.0015\text{mm}$$

$$191.8\text{mm 时}, u_{23} = \frac{U}{k} = \frac{0.003\text{mm}}{2} = 0.0015\text{mm}$$

C.3.3 外圆弧半径卡尺与标准圆弧线胀系数差引入的标准不确定度分量

外圆弧半径卡尺与标准圆弧线胀系数为 $(11.5\pm 1)\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, 估计 δ_{α} 在 $\pm 2\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内呈三角分布, 则

$$u_3 = \frac{2\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}}{\sqrt{6}} = 0.82\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

假设偏离参考温度 5°C , 则

$$51.2\text{mm 时}, c_3 u_{31} = R \cdot \Delta t \cdot u_3 = 51.2\text{mm} \times 5^{\circ}\text{C} \times 0.82\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} = 0.1\mu\text{m}$$

$$121.5\text{mm 时}, c_3 u_{32} = R \cdot \Delta t \cdot u_3 = 121.5\text{mm} \times 5^{\circ}\text{C} \times 0.82\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} = 0.5\mu\text{m}$$

$$191.8\text{mm 时}, c_3 u_{33} = R \cdot \Delta t \cdot u_3 = 191.8\text{mm} \times 5^{\circ}\text{C} \times 0.82\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} = 0.8\mu\text{m}$$

C.3.4 外圆弧半径卡尺与标准圆弧的温度差引入的标准不确定度分量

估计外圆弧半径卡尺与标准圆弧温度差在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内, 按均匀分布, 则

$$u_4 = \frac{0.5^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.29^{\circ}\text{C}$$

$$51.2\text{mm 时}, c_4 u_{41} = R \cdot \alpha \cdot u_4 = 51.2\text{mm} \times 11.5\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times 0.29^{\circ}\text{C} = 0.2\mu\text{m}$$

$$121.5\text{mm 时}, c_4 u_{42} = R \cdot \alpha \cdot u_4 = 121.5\text{mm} \times 11.5\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times 0.29^{\circ}\text{C} = 0.4\mu\text{m}$$

$$191.8\text{mm 时}, c_4u_{43}=R\cdot\alpha\cdot u_4=191.8\text{mm}\times 11.5\times 10^{-6}\text{°C}^{-1}\times 0.29\text{°C}=0.6\mu\text{m}$$

C.3.3 不确定度分量一览表

表 C.2

标准不确定度分量 $u(i)$	不确定度来源	标准不确定度 $u(i)$	c_i	$ c_i u(i)$ (μm)		
u_1	测量重复性	$\frac{s}{\sqrt{3}}$	1	7	8	9
u_2	标准圆弧半径误差	$\frac{U}{k}$	-1	1	1.5	1.5
u_3	外圆弧半径卡尺与标准圆弧线胀系数差	$0.82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	0.1	0.5	0.8
u_4	外圆弧半径卡尺与标准圆弧的温度差	0.29°C	$L \cdot \alpha$	0.2	0.4	0.6

C.4 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2}$$

C.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度：

$U=k \cdot u_c$, 详见附表 3

表 C.3

半径 (mm)	u_c (mm)	U (mm) ($k=2$)
51.1	0.0071	0.02
121.5	0.0082	0.02
191.8	0.0092	0.02

综上：数显外圆弧半径卡尺示值误差校准结果的扩展不确定度为：

$$U=0.02\text{mm} \quad (k=2)$$