



中华人民共和国工业和信息化部
有色金属计量技术规范

JJF（有色金属）XXXX—20XX

接触（触针）式表面轮廓测量仪校准规范
（报批稿）

Calibration Specification for Contact (Stylus) Surface Contour Testers

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

接触（触针）式表面轮廓 测量仪校准规范

Calibration Specification for Contact

(Stylus) Surface Contour Testers

JJF（有色金属）XXXX
—20XX

归口单位：中国有色金属工业协会

主要起草单位：西安汉唐分析检测有限公司

中铝洛阳铜加工有限公司

西南铝业（集团）有限责任公司

有色金属技术经济研究院有限责任公司

青海大学

广东省科学院新材料研究所

西安建筑科技大学

本规范委托有色金属行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

郑 铨（西安汉唐分析检测有限公司）
房永强（西安汉唐分析检测有限公司）
韩跃伟（中铝洛阳铜加工有限公司）
朱路瑶（西安汉唐分析检测有限公司）
胡森迪（西南铝业（集团）有限责任公司）
闫雁楠（有色金属技术经济研究院有限责任公司）
何生成（青海大学）
陈珊珊（广东省科学院新材料研究所）
杨 帆（西安建筑科技大学）

目 录

引 言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(1)
4.1 轮廓垂直分量（Z 轴）示值误差	(1)
4.2 轮廓水平分量（X 轴）示值误差	(1)
4.3 半径测量示值误差	(1)
4.4 半径测量重复性	(2)
4.5 角度测量示值误差	(2)
4.6 角度测量重复性	(2)
4.7 静态测量力误差	(2)
4.8 基准导轨直线度	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准	(2)
6 校准项目和校准方法	(3)
6.1 校准项目	(3)
6.2 校准方法	(3)
7 校准结果表达	(7)
8 复校时间间隔	(8)
附录 A 校准原始记录参考格式	(9)
附录 B 校准证书内页参考格式	(11)
附录 C 接触（触针）式表面轮廓测量仪的垂直分量示值误差测量不确定度评定示例	(12)

引 言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范主要参考了GB/T 19600-2004《产品几何量技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 接触（触针）式仪器的校准》。

本规范为首次发布。

接触（触针）式表面轮廓测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于以接触扫描法测量工件表面二维形状、位置参数的接触（触针）式表面轮廓测量仪的校准。

2 引用文件

本规范无引用文件。

3 概述

接触（触针）式表面轮廓测量仪（以下简称“轮廓仪”）是测量被测工件轮廓素线形状和截面轮廓相关参数（如凸出量、曲率半径等）的仪器。轮廓仪工作原理是：触针在被测轮廓表面移动，传感器通过触针把几何形状变化转为电信号，经放大处理成数字信号存于计算机，计算机进行数字滤波和参数计算。轮廓仪一般由底座、工作台、触针、基准导轨、立柱、驱动箱、传感器、计算机系统等组成，示意图见图1。

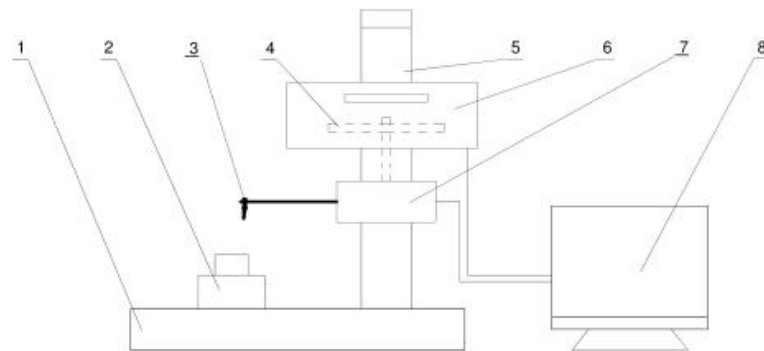


图1 接触（触针）式表面轮廓测量仪结构示意图

1—底座；2—工作台；3—触针；4—基准导轨；5—立柱；6—驱动箱；7—传感器；8—计算机系统

4 计量特性

4.1 轮廓垂直分量（Z轴）示值误差

轮廓垂直分量（Z轴）示值误差不超过 $\pm (1.6 + |2H|/200) \mu\text{m}$ ， H 为Z轴移动距离，单位为毫米。

4.2 轮廓水平分量（X轴）示值误差

轮廓水平分量（X轴）示值误差不超过 $\pm (0.8 + 0.02L) \mu\text{m}$ ， L 为X轴移动距离，单位为毫米。

4.3 半径测量示值误差

半径测量示值误差不超过 $\pm (1.5 + R/12) \mu\text{m}$ ， R 为标准球半径，单位为毫米。

4.4 半径测量重复性

半径测量重复性不超过 $0.5\mu\text{m}$ 。

4.5 角度测量示值误差

角度测量示值误差不超过 $\pm 1'$ 。

4.6 角度测量重复性

角度测量重复性不超过 $0.3'$ 。

4.7 静态测量力误差

计量特性数值不做具体要求，在校准时，可由用户确认。

4.8 基准导轨直线度

对 4.7 和 4.8 的计量特性数值不做具体要求，在校准时，可由用户确认。

5 校准条件

5.1 环境条件

环境温度应在 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 范围内，温度波动度不超过 1°C/h ，相对湿度 $\leq 65\%$ ，电源电压稳定。无影响校准的灰尘、振动、气流、腐蚀性气体和较强磁场。

5.2 测量标准

测量标准的技术指标见表1。

表 1 测量标准的技术指标

序号	测量标准	技术指标	用途
1	量块	4 等，范围 $(0.5\sim 100)\text{mm}$	用于轮廓垂直分量（Z 轴）示值误差的校准
2	平面平晶	2 级	
3	激光干涉仪	$(0\sim 1000)\text{mm}$ 范围内，最大允许误差： $\pm (0.03+1.5L)\mu\text{m}$	用于轮廓水平分量（X 轴）示值误差的校准
4	标准球或标准半球	半径标称值分别为 $(10\sim 20)\text{mm}$ 和 $(70\sim 90)\text{mm}$ ， $U\leq 0.5\mu\text{m}$ ， $k=2$ ，并标注出最大圆位置	用于半径测量示值误差、半径测量重复性的校准
5	棱体	四等	用于角度测量示值误差、角度测量重复性的校准
6	角度块	2 级	用于角度测量示值误差、角度测量重复性的校准
7	电子天平	电子天平量程为 220g ，中准 准确度级	用于静态测量力误差校准
8	测力仪	最大允许误差： $\pm 2\%$	用于静态测量力误差校准
9	平面平晶	1 级	用于基准导轨直线度校准

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

轮廓仪校准项目为轮廓垂直分量（Z 轴）示值误差、轮廓水平分量（X 轴）示值误差、半径测量示值误差、半径测量重复性、角度测量示值误差、角度测量重复性、静态测量力误差和基准导轨直线度。

6.2 校准方法

6.2.1 校准前准备

目视观察轮廓仪各活动部件运动应平稳、灵活，X轴、Z轴移动应无卡滞、跳动和窜动等现象，对触针及导轨部位做清洁，确保环境干净整洁；被校轮廓仪及校准用测量标准在室内连续平衡温度的时间应不少于2h。

校准前，被校仪器连续通电预热时间应不少于 30min。

6.2.2 轮廓垂直分量（Z 轴）示值误差

在传感器触针Z轴位移范围内选择5个大致均匀分布的校准点 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 ，分别选取对应校准点尺寸的4等量块。先把量块按尺寸由大到小依次研合在平面平晶上，并使各量块尽量平行且紧密接触。调整工作台面与传感器运动方向平行后，将研合量块的平晶放置轮廓仪工作台上。由大到小测量各量块表面轮廓 D 。通过软件计算各表面轮廓间 D 的高度差得到测量值，测量值与量块实际值之差为各测量点的示值误差，取其最大值为轮廓垂直分量（Z轴）示值误差，各测量点的示值误差的计算见公式（1）。

$$L_{Zi} = D_i - L_i \quad (1)$$

式中：

L_{Zi} ——Z轴上各测量点的示值误差，mm；

D_i ——Z轴上各测量点轮廓仪示值，mm；

L_i ——量块实际尺寸，mm；

i ——测量序号， $i=1、2、3、4、5$ 。

6.2.3 轮廓水平分量（X 轴）示值误差

把激光干涉仪的反射镜固定在轮廓仪驱动箱与传感器连接件上，调整激光干涉仪的激光光束与轮廓仪基准导轨平行。在轮廓仪X轴测量范围内选取大致均匀分布的5个测量点 e_1 、 e_2 、 e_3 、 e_4 、 e_5 ，其中包括零点与最大量程点，读取各点轮廓仪示值与激光干涉仪示值，

轮廓仪示值与激光干涉仪示值之差为各点轮廓水平分量（X轴）示值误差。取其最大值为轮廓水平分量（X轴）示值误差，见公式（2）。

$$L_{Xi} = e_i - a_i \quad (2)$$

式中：

L_{Xi} ——X轴上各测量点示值误差，mm；

e_i ——X轴上各测量点轮廓仪示值，mm；

a_i ——X轴上各测量点激光干涉仪示值，mm。

6.2.4 半径测量示值误差

将标准球或标准半球放置于轮廓仪工作台上，先调整标准球或标准半球的位置，使触针滑行轨迹通过标准球或标准半球的最高点，然后测量标准球或标准半球表面轮廓半径。重复测量3次标准球或标准半球表面轮廓半径，3次测量平均值与标准球或标准半球半径的实际值之差为半径测量示值误差，见公式（3）和公式（4）。

$$\bar{R} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 R_i \quad (3)$$

式中：

$\bar{R}$ ——3次半径测量平均值，mm；

R_i ——3次测量标准球轮廓仪示值，mm。

$$\Delta_R = \bar{R} - R_{\text{标准}} \quad (4)$$

式中：

Δ_R ——半径测量示值误差，mm；

$R_{\text{标准}}$ ——标准球或标准半球半径，mm。

6.2.5 半径测量重复性

将标准球或标准半球放置于轮廓仪工作台上，调整触针滑行轨迹通过标准球或标准半球的最高点，重复测量3次标准球或标准半球表面轮廓半径。按极差法计算实验标准差作为半径测量重复性，见公式（5）。

$$C_R = \frac{R_{imax} - R_{imin}}{C_n} \quad (5)$$

式中：

C_R ——半径测量重复性，mm；

R_{imax} ——3次半径测量最大值，mm；

R_{imin} ——3次半径测量最小值，mm；

C_n ——极差系数， $C_3=1.69$ 。

6.2.6 角度测量示值误差和角度测量重复性

将四等棱体或角度块放置于轮廓仪工作台上，调整棱体的任一工作面，平行于触针滑行方向，垂直于棱体两相邻工作面的交线，然后测量棱体相邻工作面的角度值。重复测量3次棱体相邻工作面的角度值 θ_i ，3次测量平均值与棱体相邻工作面标称角度值之差为角度测量示值误差，取其最大值为角度测量示值误差，见公式（6）和公式（7）。

$$\bar{\theta} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \theta_i \quad (6)$$

式中：

$\bar{\theta}$ ——3次角度测量平均值，'；

θ_i ——相邻工作面角度3次测量值，'；

$$\theta = \bar{\theta} - \theta_0 \quad (7)$$

式中：

θ ——相邻工作面角度测量示值误差，'；

θ_0 ——相邻工作面标称值，'。

按极差法计算实验标准偏差作为角度测量重复性，角度测量重复性的计算见公式（8）。

$$C_\theta = \frac{\theta_{imax} - \theta_{imin}}{C_n} \quad (8)$$

式中：

C_θ ——角度测量重复性，'；

θ_{imax} ——3次角度测量最大值，°；

θ_{imin} ——3次角度测量最小值，°；

C_n ——极差系数， $C_3=1.69$ 。

6.2.7 静态测量力误差

将轮廓仪触针与电子天平托盘中心位置或测力仪接触，并将电子天平或测力仪清零，调整轮廓仪传感器的位置，使计算机系统的位置指示光标指向零位。读取此时电子天平或测力仪的示值 m ，连续测量 3 次，取 3 次测量最大值作为测量结果。触针静态测量力 F 的计算见公式（9），静态测量力误差的计算见公式（10）。

$$F = m \cdot g \times 10^{-3} \quad (9)$$

式中：

F ——触针静态测量力，N；

m ——电子天平的示值，g；

g ——重力加速度，取 9.8N/kg。

$$\Delta F = F_0 - F \times 10^3 \quad (10)$$

式中：

ΔF ——静态测量力误差，mN；

F_0 ——标称静态测量力，mN；

F ——触针静态测量力，N。

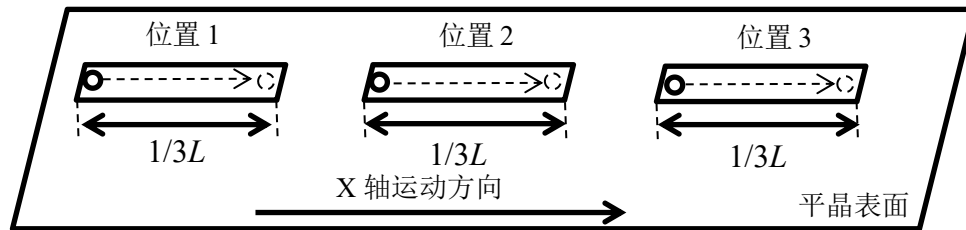
注：标称静态测量力数值根据说明书或者用户确认。

6.2.8 基准导轨直线度

取工作面长度大于轮廓仪X轴测量范围的平面平晶，将其沿轮廓仪X轴工作方向，水平放置在工作台上，平面平晶长边与X轴运动方向平行。将轮廓仪垂直方向分辨力设置为最小值，设置轮廓仪滤波器为高斯滤波器并设置推荐的截止波长。

在平面平晶表面，将触针从X轴初始位置沿X轴运动方向依次选取3个测量位置，取轮廓仪X轴测量范围 L 的1/3为触针在每一位置移动的距离，且触针在3个位置移动的轨迹应不重叠。分别测量3段的平面平晶表面轮廓，用最小二乘法分别计算（软件自动计算）各段表面轮廓的直线度，取3次测量直线度中的最大值作为基准导轨的直线度，测量示意图

见图2。



注：图2中实线圆为在每个测量位置触针移动的起始点，虚线箭头为触针沿X轴的移动方向，虚线圆为每个测量位置触针移动的终点

7 校准结果表达

经校准的接触（触针）式表面轮廓测量仪出具校准证书，校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室的名称和地址；
- c) 实施校准活动的地点，包括客户设施、实验室固定设施以外的地点；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和联络信息；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准活动的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期和证书发布日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用的测量标准和溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明（给出整个测量范围校准结果测量不确定度的最大值）；
- l) 对校准规范偏离的说明；
- m) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- n) 校准人和核验人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

校准原始记录参考格式见附录A，校准证书内页参考格式见附录B。

8 复校时间间隔

复校时间间隔的长短取决于其使用情况,使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间,建议复校时间间隔为 1 年。

附录 A

校准原始记录参考格式

证书编号			委托单位			
校准依据			校准日期			
校准地点			环境条件	℃	%RH	
校准前温度			校准后温度			
被校设备信息						
器具名称			出厂编号			
型号/规格			制造厂家			
测量标准信息						
名称	型号	设备编号	证书编号	准确度等级/最大允许误差/不确定度	有效期	
校准结果						
1.轮廓垂直分量（Z 轴）示值误差						
量块尺寸	标称值/mm					
	量块尺寸偏差/ μm					
轮廓仪示值	mm					
示值误差	mm					
扩展不确定度： $U=$ ， $k=2$						
2.轮廓仪水平分量（X 轴）示值误差						
测量点/mm						
轮廓仪示值/mm						
干涉仪示值/mm						
示值误差/mm						
扩展不确定度： $U=$ ， $k=2$						
3.半径测量示值误差						
标准球半径实测值/mm						
轮廓仪示值/mm						

平均值/ μm			
示值误差/ μm			
扩展不确定度： $U=$, $k=2$			
4.半径测量重复性			
标准球半径实际值/mm			
轮廓仪示值/mm			
重复性/mm			
5.角度测量示值误差和角度测量重复性			
棱体工作角角度标准值/'			
轮廓仪示值/'			
平均值/'			
示值误差/'			
重复性/'			
示值误差的扩展不确定度： $U=$, $k=2$			
6.静态测量力误差			
天平示值 (g)	测量力 (N)		
误差/mN			
7.基准导轨直线度 (μm)			
直线度/ μm	位置 1	位置 2	位置 3
基准导轨直线度/ μm			

附录 B

校准证书内页参考格式

校准结果				
序号	校准项目	技术要求	校准值	扩展不确定度 $U(k=2)$
1	轮廓垂直分量（Z 轴）示值误差/mm			
2	轮廓水平分量（X 轴）示值误差/mm			
3	半径测量示值误差/mm			
4	半径测量重复性/mm			-
5	角度测量示值误差/'			
6	角度测量重复性/'			-
7	静态测量力误差/mN			-
8	基准导轨直线度/ μm			-

附录 C

接触（触针）式表面轮廓测量仪轮廓垂直分量（Z 轴）示值误差

测量不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 评定依据

本规范。

C.1.2 测量标准

4 等量块，扩展不确定度 $U_{99} = (0.20 + 2 \times 10^{-6} l_n) \mu\text{m}$ ， l_n 为量块的长度，单位为毫米， $k=2.7$ 。

C.1.3 被校对象

轮廓测量仪，垂直分量（Z 轴）测量范围是（0-300）mm。

C.1.4 校准方法

轮廓仪的轮廓垂直分量（Z 轴）示值误差校准方法见本规范 6.2.2。按照 6.2.2 要求应在量程范围内取均匀分布的 5 个校准点，本示例仅取 10mm 校准点为例评定示值误差测量结果不确定度，其他校准点也可参考本示例评定不确定度。

C.2 测量模型

测量模型见公式（C.1）。

$$L_{Zi} = D_i - L_i \quad (\text{C.1})$$

式中：

L_{Zi} —各测量点的示值误差，mm；

D_i —各测量点轮廓仪示值，mm；

L_i —量块实际尺寸，mm。

由于 D_i 、 L_i 之间互为独立，其灵敏系数为：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial D_i} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial L_i} = -1$$

合成不确定度公式见公式（C.2）。

$$u^2(\Delta) = c_1^2 \cdot u^2(D_i) + c_2^2 \cdot u^2(L_i) \quad (\text{C.2})$$

C.3 测量不确定度来源分析

测量不确定度的来源有：

- 1) 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- 2) 量块引入的标准不确定度 u_2 ；
- 3) 温度引入的标准不确定度 u_3 。

C.4 测量不确定度评定

C.4.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

在重复性条件下，对轮廓仪轮廓垂直分量（Z轴）10mm校准点，重复测量10次，测量结果为：9.9972mm、9.9968mm、9.9974mm、9.9967mm、9.9972mm、9.9980mm、9.9972mm、9.9973mm、9.9966mm、9.9975mm。

根据贝塞尔公式，计算其标准偏差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.41\mu\text{m}$$

实际校准取单次测量结果，则：

$$u_1 = s = 0.41\mu\text{m}$$

C.4.2 量块引入的标准不确定度 u_2

由4等标准量块检定证书可知，量块中心长度扩展不确定度为

$U_{99} = (0.20 + 2 \times 10^{-6} l_n) \mu\text{m}$ ， l_n 为量块的长度，单位为mm， $k=2.7$ ，当 $l_n = 10\text{mm}$ 时，则：

$$u_2 = \frac{U_{99}}{k} = \frac{0.20 + 2 \times 10^{-6} \times 10}{2.7} = 0.08\mu\text{m}$$

C.4.3 温度引入的标准不确定度 u_3

量块线膨胀系数 $\alpha = (11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，假设其在 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内服从均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ 。被测量块温度 t_x 与标准温度 20°C 的偏差不超过 2°C ，即 $(t_x - 20) = 2^\circ\text{C}$ ，对于10mm量块，则：

$$u_3 = \frac{l_n \times (t_x - 20) \times \alpha}{k} = \frac{10 \times 2 \times 11.5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 0.13 \mu\text{m}$$

由输入量 L_i 引入的合成标准不确定度为:

$$u(L_i) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.08^2 + 0.13^2} = 0.15 \mu\text{m}$$

C.5 合成标准不确定度计算

由于 D_i 、 L_i 之间互为独立, 因此合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u^2(L_i)} = \sqrt{0.41^2 + 0.15^2} = 0.44 \mu\text{m}$$

C.6 扩展不确定度评定

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.44 = 0.9 \mu\text{m}$$
