

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-XXXX

金属线材反复弯曲试验机校准规范

Calibration Specification for Metal Wire Repeated Bending Testing Machines

(报批稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

# 金属线材反复弯曲试验机 校准规范

Calibration Specification for Metal Wire Repeated  
Bending Testing Machines

JJF（有色金属）XXXX—XXXX

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

参加起草单位：广东省科学院工业分析检测中心

中国船舶集团有限公司第七二五研究所

东北轻合金有限责任公司

西部钛业有限责任公司

中国石油集团工程材料研究院有限公司

延长油田装备公司

西南铝业（集团）有限责任公司

西安摩尔石油工程实验室股份有限公司

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：**

余泽利（西安汉唐分析检测有限公司）

张艺新（西安汉唐分析检测有限公司）

张 兵（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）

**参加起草人：**

伍超群（广东省科学院工业分析检测中心）

刘智涛（中国船舶集团有限公司第七二五研究所）

罗海军（东北轻合金有限责任公司）

吴晓东（西部钛业有限责任公司）

李 娜（中国石油集团工程材料研究院有限公司）

申祥龙（延长油田装备公司）

田晓冬（西南铝业（集团）有限责任公司）

魏 林（西安摩尔石油工程实验室股份有限公司）

# 目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(1)
4.1 弯曲圆柱高度偏差.....	(1)
4.2 弯曲圆柱半径示值误差.....	(1)
4.3 弯曲臂摆角示值误差.....	(2)
4.4 弯曲速率示值误差.....	(2)
4.5 弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离.....	(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技术要求.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(2)
6.1 校准项目.....	(2)
6.2 校准方法.....	(3)
7 校准结果表达.....	(4)
8 复校时间间隔 .....	(5)
附录 A 弯曲试验机反复弯曲计数方法.....	(6)
附录 B 校准原始记录参考格式.....	(7)
附录 C 校准证书内页参考格式.....	(8)
附录 D 弯曲试验机圆柱半径示值误差测量不确定度评定示例.....	(9)

## 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 238-2013 《金属材料 线材 反复弯曲试验方法》、GB/T 4909.5-2009 《裸电线试验方法 第5部分：弯曲试验 反复弯曲》、JB/T 9371-2013 《弯折试验机 技术条件》。

本规范为首次发布。

# 金属线材反复弯曲试验机校准规范

## 1 范围

本规范适用于金属线材反复弯曲试验机（以下简称弯曲试验机）的校准，其他类型的弯曲试验机可参照本规范进行校准。

## 2 引用文件

本规范无引用文件。

## 3 概述

弯曲试验机是对圆截面导体金属线材做反复弯曲试验的测量设备，一般由弯曲臂、拨杆、弯曲圆柱、夹具以及支座等部分组成，弯曲试验机结构示意图如图1所示。

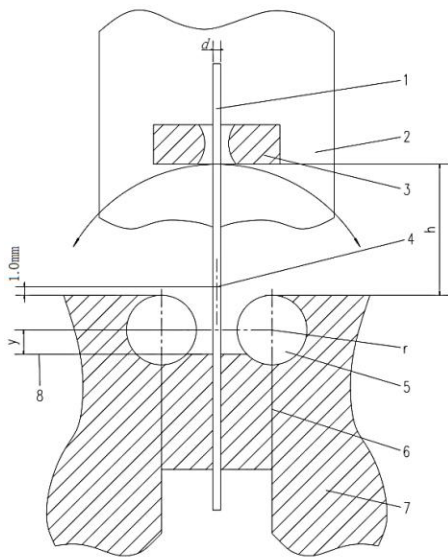


图1 弯曲试验机结构示意图

1—试样；2—弯曲臂；3—拨杆；4—弯曲臂转动中心；5—弯曲圆柱；

6—夹块；7—支座；8—夹持面顶端； $d$ —试样直径； $h$ —弯曲圆柱顶部至拨杆底面的距离；

$r$ —弯曲圆柱半径； $y$ —弯曲圆柱中心连线至夹持面顶面的距离

## 4 计量特性

### 4.1 弯曲圆柱高度偏差

弯曲圆柱高度偏差的最大允许误差为 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。

### 4.2 弯曲圆柱半径示值误差

弯曲圆柱半径示值的最大允许误差应符合表 1 的规定。

表 1 弯曲圆柱半径示值的最大允许误差

弯曲圆柱半径/mm	最大允许误差/mm
$1.25 \leq r \leq 1.75$	$\pm 0.05$
$1.75 < r \leq 30.00$	$\pm 0.10$

## 4.3 弯曲臂摆角示值误差

弯曲臂工作时应能左右摆动  $90^\circ$ ，其最大允许误差为  $\pm 3^\circ$ 。

## 4.4 弯曲速率示值误差

弯曲试验机弯曲速率不大于 60 次/min，最大允许误差为  $\pm 1$  次/min。

## 4.5 弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离

弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离为 1.0 mm，最大允许误差为  $\pm 0.1$  mm。

## 5 校准条件

## 5.1 环境条件

校准环境温度范围应为  $(10 \sim 35)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 80%，试验周围无腐蚀性介质，附近无影响试验结果的振源。

## 5.2 测量标准及其他设备技术要求

弯曲试验机的测量标准及其他设备技术要求见表 2。

表2 测量标准及其他设备技术要求

序号	测量标准	技术要求	校准项目
1	塞尺	$(0.02 \sim 0.10)$ mm，厚度极限偏差为 $\pm 0.005$ mm	弯曲圆柱高度偏差
2	条式水平仪	分度值为 $0.10$ mm/m	
3	外径千分尺	测量范围 $(0 \sim 50)$ mm，最大允许误差为 $\pm 4 \mu\text{m}$	弯曲圆柱半径示值误差
4	数显倾角仪	测量范围 $(0 \sim 360)^\circ$ ，最大允许误差为 $\pm 1^\circ$	弯曲臂摆角示值误差
5	电子秒表	分辨力 $0.01$ s	弯曲速率示值误差
6	数显卡尺	最大允许误差为 $\pm 0.03$ mm	弯曲臂转动中心至弯曲圆柱顶部的距离
注：也可采用满足校准要求的其他校准设备进行校准。			

## 6 校准项目和校准方法

## 6.1 校准项目

校准项目见表 2。

## 6.2 校准方法

### 6.2.1 弯曲圆柱高度偏差

将条式水平尺放在弯曲试验机左右两个弯曲圆柱顶部，选择不同厚度的塞尺放入条式水平尺和弯曲圆柱中间，直至条式水平尺水平，记录塞尺的厚度值即为弯曲圆柱高度偏差。

### 6.2.2 弯曲圆柱半径示值误差

用外径千分尺对弯曲试验机的弯曲圆柱直径进行第一次测量，然后在与第一次垂直90°的方向上进行第二次测量，取两次测量结果算术平均值的一半作为弯曲圆柱半径的测量值，弯曲圆柱半径的标称值与弯曲圆柱半径的测量值之差作为弯曲圆柱半径的示值误差，按公式（1）计算。

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

式中：

$\Delta r$ ——弯曲圆柱半径示值误差，mm；

$r$ ——弯曲圆柱半径标称值，mm；

$\bar{r}$ ——弯曲圆柱半径测量值，mm。

### 6.2.3 弯曲臂摆角示值误差

弯曲试验机的弯曲臂摆角一般选择左摆方向30°、60°、90°三个点进行校准，亦可根据用户的要求选择校准点。

校准时，在试验机弯曲单元上安装数显倾角仪，调节弯曲试验机的弯曲臂摆角，开启试验机，在数显倾角仪上读取相应的角度值，每个角度重复测量3次，取3次测量算术平均值的最大值作为最终结果，弯曲臂摆角示值误差按公式（2）计算。

$$\Delta \theta = \theta_0 - \bar{\theta} \quad (2)$$

式中：

$\Delta \theta$ ——弯曲臂摆角示值误差，°；

$\theta_0$ ——弯曲试验机的标称弯曲臂摆角，°；

$\bar{\theta}$ ——数显倾角仪3次测量算术平均值的最大值，°。

### 6.2.4 弯曲速率示值误差

对于弯曲速率可调的弯曲试验机，在弯曲速率范围内均匀选取3个校准点，亦可根据用户的要求增加校准点。对于弯曲速率不可调的弯曲试验机，根据试验机的标称弯曲速率进行校准。

校准时，在弯曲试验机上设定好需要校准的弯曲速率，将电子秒表清零，启动弯曲试验机的同时启动电子秒表，记录 1min 内的弯曲次数  $N$ （反复弯曲计数方法见附录 A），重复测量 3 次，取 3 次测量值的算术平均值除以弯曲时间 1min 作为弯曲速率测量值。然后根据校准点的选择，设置其余的校准点，并重复上述步骤，弯曲速率示值误差按公式（3）计算。

$$\Delta n = n_0 - \bar{n} \quad (3)$$

式中：

$\Delta n$ ——弯曲速率示值误差，次/min；

$n_0$ ——弯曲试验机标称弯曲速率，次/min；

$\bar{n}$  ——弯曲试验机弯曲速率测量值，次/min。

#### 6.2.5 弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离

使用数显卡尺对弯曲试验机弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离测量 3 次，取 3 次测量值的算术平均值作为测量结果。弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离标称值与测量值之差作为弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离示值误差，按公式（4）计算。

$$\Delta L = L - \bar{L} \quad (4)$$

式中：

$\Delta L$ ——弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离示值误差，mm；

$L$ ——弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离标称值，mm；

$\bar{L}$  ——弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离测量值，mm。

### 7 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，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；

- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- 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) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

校准原始记录参考格式见附录B，校准证书内页参考格式见附录C。

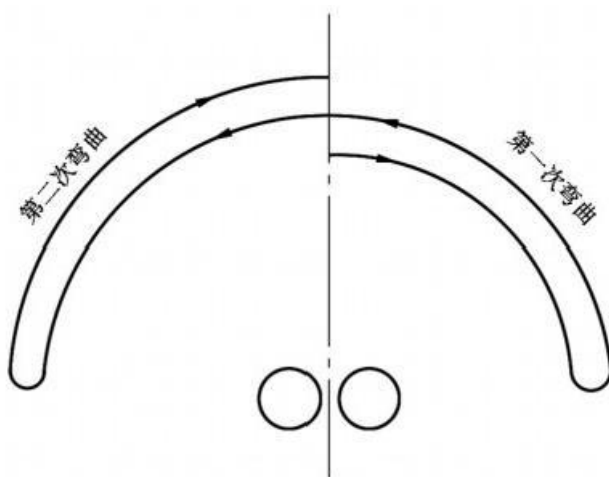
## 8 复校时间间隔

建议复校时间间隔为1年。弯曲试验机使用频繁时应适当缩短周期，在使用过程中弯曲试验机经过修理、更换重要部件的应重新校准。

## 附录 A

## 弯曲试验机反复弯曲计数方法

金属线材试样从垂直于弯曲圆柱轴线平面的起始位置，沿其中一圆柱弯曲  $90^\circ$ ，然后回到原来的位置，为第一次弯曲，再在同一平面内以相反的方向沿另一圆柱弯曲  $90^\circ$ ，然后回到原来的位置，为第二次弯曲，弯曲试验机反复弯曲计数方法见图 A.1 所示。



图A.1 反复弯曲计数方法

## 附录 B

## 校准原始记录参考格式

原始记录编号				证书编号		
送校单位				校准依据		
被校设备信息						
器具名称				出厂编号		
型号/规格				设备编号		
制造厂家						
校准地点				环境条件	℃	%RH
测量标准信息						
名称	型号	编号	测量范围	测量不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	证书编号	有效期至
校准结果						
1.弯曲圆柱高度偏差						
弯曲圆柱高度偏差/mm				扩展不确定度 $U(k=2)$		
2.弯曲圆柱半径示值误差						
弯曲圆柱直径 /mm	0°测量值/mm	90°测量值/mm		弯曲圆柱半径示值 误差/mm	扩展不确定度 $U(k=2)$	
3.弯曲臂摆角示值误差						
弯曲角度/°	1	2	3	平均值/°	示值误差/°	扩展不确定度 $U(k=2)$
4.弯曲速率示值误差						
弯曲速度 (次/min)	1	2	3	平均值 (次/min)	示值误差 (次/min)	扩展不确定度 $U(k=2)$
5.弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离						
1	2	3	平均值/mm		扩展不确定度 $U(k=2)$	

## 附录 C

## 校准证书内页参考格式

校准证书编号：××××

校准结果		
校准项目	测量值	扩展不确定度 $U(k=2)$
弯曲圆柱高度偏差/mm		
弯曲圆柱半径示值误差/mm		
弯曲臂摆角示值误差/°		
弯曲速率示值误差（次/min）		
弯曲臂的转动中心至弯曲圆柱顶部的距离/mm		

## 附录 D

### 弯曲试验机弯曲圆柱半径示值误差测量不确定度评定示例

#### D.1 概述

本附录以弯曲试验机圆柱弯曲半径示值误差为示例，对其进行测量不确定度评定。其他校准项目可参照本附录作类似评定。

##### D.1.1 测量依据

依据金属线材反复弯曲试验机校准规范。

##### D.1.2 被校对象

选用半径为 5.0mm 的弯曲圆柱作为被校对象。

##### D.1.3 测量方法及主要设备

使用分辨力为 0.001mm 的外径千分尺，测量范围为（0~50）mm；最大允许误差为  $\pm 0.004\text{mm}$ 。

用外径千分尺测量弯曲圆柱直径并计算出半径，对选定的弯曲圆柱直径在  $0^\circ$  和  $90^\circ$  位置重复测量 10 次。

#### D.2 测量模型及不确定度来源分析

##### D.2.1 测量模型

被校弯曲圆柱半径示值误差的测量模型见式（C.1）：

$$\Delta r = r - \bar{r} \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\Delta r$ ——弯曲圆柱半径示值误差，mm；

$r$  ——弯曲圆柱半径标称值，mm；

$\bar{r}$  ——弯曲圆柱半径测量值，mm。

##### D.2.2 测量结果不确定度主要来源分析

弯曲试验机圆柱半径示值误差测量结果不确定度的主要来源有：

- （1）测量重复性引入的标准不确定度  $u_1$ ；
- （2）测量标准分辨力引入的标准不确定度  $u_2$ ；
- （3）测量标准引入的标准不确定度  $u_3$ 。

## D.3 弯曲试验机圆柱半径示值误差测量不确定度的评定

D.3.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1$ 

通过连续测量得出测量数列，对弯曲试验机圆柱直径在  $0^\circ$  和  $90^\circ$  位置进行单次测量取算数平均值，重复进行 10 次，然后计算半径，结果见表 D.1，由贝塞尔公式计算其标准偏差  $s$ ，属 A 类不确定度分量。

表 D.1 测量结果

校准点 /mm	测量结果/mm										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
5.0	5.022	5.032	5.034	5.042	5.024	5.046	5.026	5.034	5.028	5.038	5.033

计算得到其标准偏差为：

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.008 \text{ mm}$$

实际测量以 2 次测量值作为测量结果，则重复性引入的标准不确定度分量 $u_1$ 为：

$$u_1 = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \frac{0.008}{\sqrt{2}} = 0.006 \text{ mm}$$

D.3.2 测量标准分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$ 

外径千分尺的分辨力 $\delta$ 为 0.001 mm，其区间半宽 $a = \delta/2$ ，假设服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则测量标准分辨力引入的标准不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{\delta}{2k} = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 0.0003 \text{ mm}$$

D.3.3 测量标准引入的标准不确定度分量 $u_3$ 

外径千分尺的最大允许误差为 $\pm 0.004$  mm，区间半宽 $a = 0.004$  mm，假设服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则测量标准引入的标准不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.002 \text{ mm}$$

## D.3.4 各输入量引入的标准不确定度汇总

各输入量引入的标准不确定度汇总见表 D.2。

表D.2 不确定度汇总

标准不确定度分量	不确定度来源	不确定度分量/mm
$u_1$	测量重复性引入的分量	0.006
$u_2$	测量标准分辨力引入的分量	0.0003
$u_3$	测量标准引入的分量	0.002

#### D.3.5 合成标准不确定度

重复性和分辨力引入的不确定度取较大者，所以分辨力引入的不确定度分量忽略不计。  
被校弯曲试验机圆柱半径示值误差的合成标准不确定度根据以下计算：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 0.0063 \text{ mm}$$

#### D.3.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则弯曲试验机圆柱半径示值误差的扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 0.12 \text{ mm} \quad (k=2)$$

---