



# 中华人民共和国工业和信息化部 建材计量技术规范

JJF(建材) xxx—xxxx

## 钢筋弯曲试验机校准规范

Calibration Specification for Bending Testers

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

# 钢筋弯曲试验机校准规范

Calibration Specification for Bending  
Testers

JJF(建材)xxx—2022

归口单位：中国建筑材料联合会

主要起草单位：中国电子工程设计院股份有限公司

参加起草单位：苏州赛宝校准技术服务有限公司

苏州嘉盛建设工程有限公司

中电投工程研究检测评定中心有限公司

本规范委托全国建材工业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

李永杰（中国电子工程设计院股份有限公司）

唐丽君（中电投工程研究检测评定中心有限公司）

魏世航（中国电子工程设计院股份有限公司）

巩 正（中电投工程研究检测评定中心有限公司）

参加起草人：

曾冬梅（苏州赛宝校准技术服务有限公司）

徐惠元（苏州嘉盛建设工程有限公司）

邢 丹（中国电子工程设计院股份有限公司）

王智宇（中国电子工程设计院股份有限公司）

# 目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(3)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 校准用标准计量器具.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 外观和工作正常性检查.....	(4)
7.2 弯曲角度示值误差.....	(4)
7.3 弯曲角度重复性.....	(5)
7.4 弯曲速度示值相对误差.....	(6)
7.5 V型模具角度偏差.....	(6)
7.6 试验机测力系统力值示值相对误差.....	(6)
8 校准结果表达.....	(7)
9 复校时间间隔.....	(8)
附录 A 钢筋弯曲试验机校准记录.....	(9)
附录 B 钢筋弯曲试验机校准证书.....	(10)
附录 C 弯曲角度校准不确定度评定示例.....	(11)
附录 D 弯曲速度相对误差校准不确定度评定示例.....	(13)
附录 E 测力系统力值示值相对误差校准不确定度评定.....	(15)

## 引 言

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

本规范的编写主要参考了 JB/T 12076-2014《建筑施工机械与设备 钢筋弯曲机》、GB/T 232《金属材料 弯曲试验方法》、GB/T 244-2020《金属管弯曲试验方法》、GB/T 28900-2022《钢筋混凝土用钢材试验方法》、GB 1499.1-2017《钢筋混凝土用钢 第1部分热轧光圆钢筋》、GB 1499.2-2018《钢筋混凝土用钢 第2部分热轧带肋钢筋》、YB/T 5126-2003《钢筋混凝土用钢筋弯曲和反向弯曲试验方法》和 JJG 139-2014《拉力、压力和万能试验机检定规程》。

本规范为首次发布。

# 钢筋弯曲试验机校准规范

## 1 范围

本规范适用于钢筋弯曲试验机（以下简称弯曲试验机）的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 1499.1 钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋

GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋

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

## 3 术语

### 3.1 钢筋弯曲试验机弯曲角度 bending angle

弯曲试验机施加弯曲力矩使钢筋从起始位置弯曲至某塑性变形位置时试验机设定的角度，以  $\alpha$  表示（简称弯曲角度）。

### 3.2 钢筋弯曲试验机反向弯曲角度 reverse bending angle

弯曲试验机施加弯曲力矩使钢筋从塑性变形位置反向弯曲到某一位置时试验机设定的角度，以  $\delta$  表示（简称反向弯曲角度）。

## 4 概述

钢筋弯曲试验机是对钢筋进行弯曲试验和反向弯曲试验的一种试验设备，主要由工作台、加力装置、弯曲装置、电气控制箱、安全防护罩等构成。弯曲试验或反向弯曲试验时，将被检测钢筋试样固定在工作台上，通过加力装置缓慢加力使被检测试样在弯曲装置上经受弯曲塑性变形，不改变加力方向，直至达到规定的弯曲角度，而后观察被检测试样表面裂纹。

弯曲试验机按照加力装置原理、加力方向、及弯曲装置可分为以下类型，见表 1：

表 1 弯曲试验机分类

序号	分类方式	弯曲试验机类型	弯曲试验机原理及特征
1	加力装置原理	机械式	通过电机驱动工作转盘把钢筋弯曲成型的钢筋弯曲试验机

表 1 (续) 弯曲试验机分类

序号	分类方式	弯曲试验机类型	弯曲试验机原理及特征
1	加力装置原理	液压式	通过液压系统驱动工作转盘把钢筋弯曲成型的钢筋弯曲试验机。
2	加力方向	卧式	钢筋成型时延水平方向弯曲的弯曲试验机。
		立式	钢筋成型时延垂直方向弯曲的弯曲试验机。
3	弯曲装置	支承辊式	配有两个支承辊和弯曲压头, 如图 1
		V 型模具式	配有 V 型模具和弯曲压头, 如图 2
		固定弯心式	配有固定弯心套和转盘, 使试样绕弯心进行弯曲, 如图 3

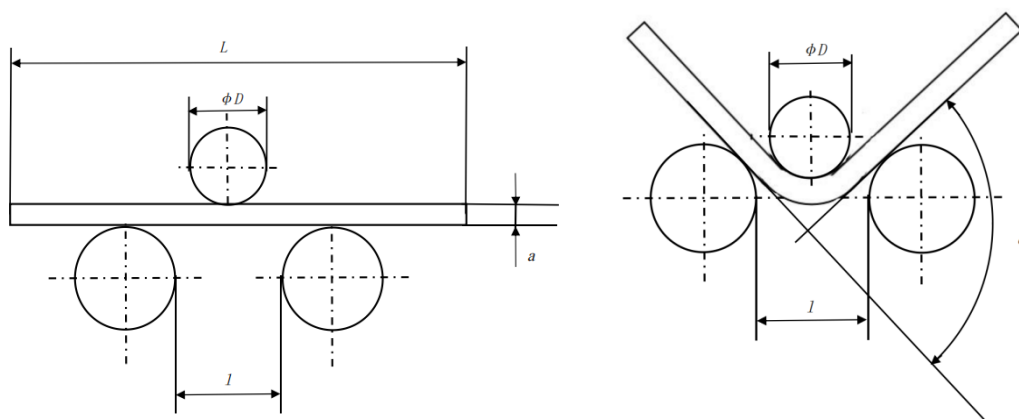


图 1. 支承辊式弯曲装置示意图

$\phi D$ -弯曲压头直径;  $l$ -支辊间距;  $L$ -试样长度;  $\alpha$ -弯曲角度;  $a$ -试样直径

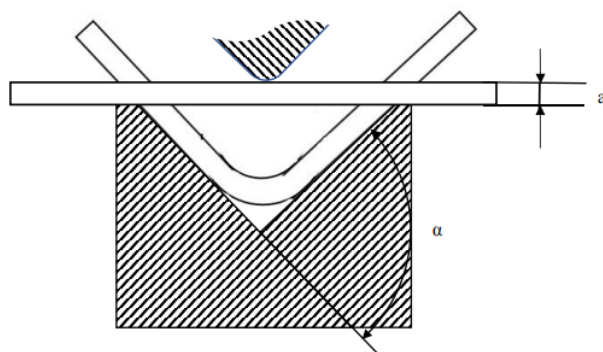


图 2.V 型模具式弯曲装置

$\alpha$ -弯曲角度;  $a$ -试样直径

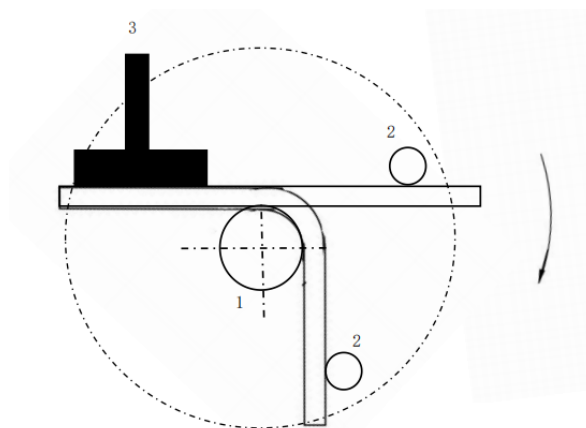


图 3. 固定弯心式弯曲装置示意图

1-弯心套; 2-工作轴; 3-压紧装置

## 5 计量特性

钢筋弯曲试验机的计量特性及技术要求见表 1。

表 1 钢筋弯曲试验机的计量特性

参数名称	测量范围	技术要求	说明
弯曲角度示值误差	45°~180°; 反向弯曲 20°	最大允许误差: ±2°	没有角度自动定位功能的弯曲机试验机, 不校准此项计量特性。
弯曲角度重复性		≤2°	
弯曲速度示值相对误差	(2.5~15) r/min	最大允许误差: ±3%	没有弯曲速度设定功能的弯曲机试验机, 不校准此项计量特性。
V 型模具角度偏差	/	最大允许误差: ±2°	不带 V 型模具的弯曲机试验机, 不校准此项计量特性。
试验机测力系统力值示值相对误差	/	≤2%	没有测力系统的弯曲机试验机, 不校准此项计量特性。

注: □

## 6 校准条件

## 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度:  $(10\sim 35)^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.2 相对湿度:  $\leq 85\%$ 。



6.1.3 校准过程中温度波动度不大于 2℃。

## 6.2 校准用标准计量器具

校准用标准计量器具见表 2。

表 2 校准用标准计量器具

序号	标准计量器具	技术指标	校准用途
1	秒表	分度值不大于 0.01s	弯曲速度
2	角度尺	测量范围：(0~200)° 最大允许误差：±2′	V 模具角度、弯曲角度
3	标准测力仪	0.5 级	试验机测力系统力值示 值相对误差
4	标准钢筋	符合 GB/T1499.2 规定的直径为 16mm 或 20mm 的 400MPa 级带肋钢 筋 符合 GB/T1499.1 规定的直径为 16mm 或 20mm 的 400MPa 级光圆钢 筋	弯曲速度、弯曲角度

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 外观和工作正常性检查

弯曲试验机外观应完好，基本配件不应缺失，运转时无异响，传动系统运转灵活，限位螺丝、弯曲装置无松动，不应有影响正常工作的缺陷。应有清晰的铭牌，且铭牌应包弯曲试验机的名称、型号规格、制造厂家、出厂编号等内容。

### 7.2 弯曲角度示值误差

有弯曲自动定位功能的弯曲试验机，弯曲角度示值误差选择 45°，90°，135°，反向弯曲 20° 4 个弯曲角度进行校准，也可根据客户要求校准其他弯曲角度。

7.2.1 校准弯曲角度时，选用符合 GB/T1499.1 规定的直径为 16mm 或 20mm 的 400MPa 级光圆钢筋，分别在 45°，90°，135° 三个弯曲角度下各进行 3 次弯

曲试验（共 9 根），用角度尺测量光圆钢筋弯曲角度，取弯曲角度的设定值与 3 次测量结果的平均值之差作为该弯曲角度的示值误差。

弯曲角度示值误差计算公式如下：

$$\Delta\alpha = \alpha_0 - \bar{\alpha} \quad (1)$$

式中：

$\Delta\alpha$  ——弯曲角度示值误差，°；

$\alpha_0$  ——弯曲角度设定值，°；

$\bar{\alpha}$  ——同一弯曲角度三次弯曲试验中测得角度的平均值，°。

7.2.2 校准反向弯曲 20° 时，将 7.2.1 中弯曲 90° 的三根标准钢筋进行反向弯曲 20°，测量最终弯曲角度，以上述测得的弯曲 90° 时的实际角度为起点，计算反向弯曲角度，取反向弯曲角度的设定值与 3 次计算结果的平均值之差作为反向弯曲角度的示值误差。

反向弯曲角度示值误差计算公式如下：

$$\Delta\delta = \delta_0 - \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 [\alpha(-20^\circ)_i - \alpha(90^\circ)_i] \quad (2)$$

式中：

$\Delta\delta$  ——反向弯曲角度示值误差，°；

$\delta_0$  ——反向弯曲角度设定值，°；

$\alpha(90^\circ)_i$  ——7.2.1 中弯曲 90° 后标准钢筋的实际弯曲角度， $i=1, 2, 3$ ，°；

$\alpha(-20^\circ)_i$  ——反向弯曲 20° 后标准钢筋的实际弯曲角度， $i=1, 2, 3$ ，°。

### 7.3 弯曲角度重复性

按 7.2 每个弯曲角度的 3 根钢筋中，弯曲角度（反向弯曲角度）的最大值和最小值之差即为该弯曲角度时的重复性。

弯曲角度重复性计算公式如下：

$$s = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} \quad (3)$$

式中:

$s$  ——弯曲角度重复性, ° ;

$\alpha_{\max}$  ——同一弯曲角度三次弯曲试验中测得角度的最大值, ° ;

$\alpha_{\min}$  ——同一弯曲角度三次弯曲试验中测得角度的最小值, ° 。

#### 7.4 弯曲速度示值相对误差

分别校准弯曲试验机最大弯曲速度和最小弯曲速度。选用符合 GB/T1499.2 规定的直径为 16mm 或 20mm 的 400MPa 级带肋钢筋, 设定弯曲角度为 180°, 记录钢筋从 0° 弯曲到 180° 所用的时间  $t$ , 重复测量 3 次。用下列公式计算出弯曲试验机弯曲速度相对误差。

$$v' = \frac{1}{2\bar{t}} \quad (4)$$

$$b = \frac{v' - v}{v} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

$\bar{t}$  ——3 次测量的平均值, min;

$v'$  ——弯曲试验机弯曲速度, r/min;

$v$  ——弯曲试验机设定弯曲速度, r/min;

$b$  ——弯曲试验机弯曲速度相对误差。

#### 7.5 V 型模具角度偏差

V 型模具角度用角度尺直接测量, 在垂直于 V 形槽方向 3 个不同位置进行测量, 取算术平均值, 与 V 型模具角度标称值之差的作为测量结果。

$$\Delta\alpha = \bar{\alpha} - \alpha_0 \quad (6)$$

式中:

$\Delta\alpha$  ——V 型模具角度偏差, ° ;

$\bar{\alpha}$  ——3 次测得的平均值, ° ;

$\alpha_0$ ——V 型模具角度标称值，°。

## 7.6 试验机测力系统力值示值相对误差

使用标准测力仪在试验机力值范围的 20%，40%，60%，80%，100%进行校准，每个校准点应以递增力进行三组测量，以试验机的指示装置为准，在标准测力仪上读数，计算每个校准点三次测量的平均值，由下式计算示值相对误差。

$$q = \frac{\bar{F}_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

$q$ ——测力系统的相对示值误差，%；

$\bar{F}_i$ ——递增力时，被校试验机力值指示装置指示的力的平均值，N；

$\bar{F}$ ——对于同一力值点， $F$  三次测量的算数平均值，N。

## 8 校准结果表达

经校准的电砂浴加热装置应出具校准证书，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（如果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；

接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

## 9 复校时间间隔

建议复校间隔时间为 1 年, 使用特别频繁是应适当缩短。凡在使用过程钢筋弯曲试验机的弯曲装置、测力系统、电机等重要器件经过修理、更换的, 一般需要重新校准。

由于复校时间的长短由钢筋弯曲试验机的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素决定, 因此用户可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

## 附录 A

## 钢筋弯曲试验机校准记录

弯曲试验机类型：					
<input type="checkbox"/> 带弯曲角度自动定位功能 <input type="checkbox"/> 不带弯曲角度自动定位功能 <input type="checkbox"/> 带弯曲速度设定功能 <input type="checkbox"/> 不带弯曲速度设定功能 <input type="checkbox"/> 带测力系统 <input type="checkbox"/> 不带测力系统					
弯曲装置： <input type="checkbox"/> 支承辊式 <input type="checkbox"/> V型模具式 <input type="checkbox"/> 固定弯心式					
校准用标准设备：					
设备名称	规格型号	证书编号/有效期至		计量特性	
校准项目	校准结果				技术要求
弯曲速度相对误差	$t/\text{min}$	$\bar{t}/\text{min}$		相对误差	
弯曲角度示值误差/ $^{\circ}$	弯曲角度	最大	最小	示值误差	
	$45^{\circ}$				
	$90^{\circ}$				
	$135^{\circ}$				
	$-20^{\circ}$				
重复性/ $^{\circ}$					
V型模具角度偏差/ $^{\circ}$	1			平均值：	
	2				
	3				
力值装置示值相对误差/%					

## 附录 B

## 钢筋弯曲试验机校准证书

弯曲试验机类型：				
<input type="checkbox"/> 带弯曲角度自动定位功能 <input type="checkbox"/> 不带弯曲角度自动定位功能 <input type="checkbox"/> 带弯曲速度设定功能 <input type="checkbox"/> 不带弯曲速度设定功能 <input type="checkbox"/> 带测力系统 <input type="checkbox"/> 不带测力系统				
弯曲装置： <input type="checkbox"/> 支承辊式 <input type="checkbox"/> V型模具式 <input type="checkbox"/> 固定弯心式				
校准用标准设备：				
设备名称	规格型号	证书编号/有效期至	计量特性	
校准项目	校准结果		不确定度	技术指标
弯曲速度相对误差				
弯曲角度示值误差/°	弯曲角度	示值误差		
	45°			
	90°			
	135°			
	-20°			
弯曲角度重复性/°				
V型模具角度偏差/°				
力值装置示值相对误差/%				

## 附录 C

### 弯曲角度校准不确定度评定示例

#### C.1 概述

钢筋弯曲试验机弯曲角度示值误差采用万能角度尺对弯曲后的光圆钢筋进行直接测量。设定弯曲角度为  $135^\circ$ ，选用直径为 16mm 的 400MPa 级光圆钢筋，安装在弯曲装置上。待弯曲完成后，用万能角度尺测量光圆钢筋弯曲角度。重复弯曲 3 根，取 3 次测量结果的平均值与弯曲角度的设定值之差作为该弯曲角度的示值误差。

#### C.2 数学模型

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0 \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\Delta\alpha$ ——角度偏差， $^\circ$ ；

$\alpha$ ——角度测量值， $^\circ$ ；

$\alpha_0$ ——角度理论值， $^\circ$ 。

所以有： $u_c^2 = u^2(\alpha)$

#### C.3 不确定度来源及分析

##### C.3.1 由测量重复性引入的不确定度分量

用角度尺对弯曲后的光圆钢筋角度进行 3 次重复测量，结果分别为： $134.43^\circ$ 、 $134.46^\circ$ 、 $134.60^\circ$ 。

用极差法计算测量重复性见公式（C.2）。

$$s(\alpha) = \frac{R}{C} \quad (\text{C.2})$$

式中：

$s(\alpha)$ ——测量重复性；

$R$ ——极差；

$C$ ——极差系数，当重复测量次数为 3 次时， $C=1.69$ 。



实际测量结果为 3 次测量的平均值，可得由重复性引入的不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{S(\alpha)}{\sqrt{3}} = \frac{0.17^\circ}{1.69 \cdot \sqrt{3}} = 0.058^\circ$$

C.3.2 由万能角度尺示值误差引入的不确定度分量：

万能角度尺允许误差为 $\pm 2'$ ，区间半宽为 $d/2=2'$ ，按矩形分布，则可得有卡尺示值误差引入的不确定度分量 $u_2 = \frac{d}{2\sqrt{3}} = 1.155' = 0.019^\circ$ 。

C.3.3 由万能角度尺分度值引入的不确定度分量：

万能角度尺的分度值为 $2'$ ，区间半宽为 $1'$ ，按均匀分布，则可得由卡尺分辨力引入的不确定度分量 $u_3 = \frac{2}{2\sqrt{3}} = 0.577' = 0.010^\circ$

C.4 不确定度来源一览表

序号	不确定度来源	不确定度分量	$u_i/^\circ$
1	测量重复性	$u_1$	0.058
2	卡尺示值误差	$u_2$	0.019
3	卡尺分度值或分辨力	$u_3$	0.010

C.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \approx 0.062^\circ$$

C.6 扩展不确定度

$$U = k \times u_c, \text{ 取 } k=2, \text{ 则 } U=0.13^\circ$$

## 附录 D

## 弯曲速度相对误差校准不确定度评定示例

## D.1 概述

以型号为 GW-40B 钢筋弯曲试验机为例, 其弯曲速度选用直径为 16mm 的 400MPa 级带肋钢筋, 设定弯曲角度为  $180^\circ$ , 弯曲速度为  $20^\circ/\text{s}$ , 即 3.33r/min, 记录钢筋弯曲到  $180^\circ$  所用的时间  $t$ , 重复测量三次, 取平均值作为弯曲时间, 得出弯曲试验机弯曲速度。

## D.2 数学模型

$$v' = \frac{1}{2\bar{t}} \quad (\text{D.1})$$

式中:

$\bar{t}$  ——钢筋弯曲到  $180^\circ$  时的时间, 3 次测量的平均值, min;

$v'$  ——速度测量值, r/min;

其中灵敏系数:

$$c = \frac{\partial v'}{\partial \bar{t}} = -\frac{1}{2\bar{t}^2}$$

## D.3 不确定度来源及分析

D.3.1 由时间测量重复性引入的不确定度分量  $u_1$ 

用电子秒表对弯曲到  $180^\circ$  的时间进行 3 次重复测量, 测量结果分别为: 8.99s, 9.05s, 9.08s。

用极差法计算测量重复性见公式 (D.2)。

$$s(t) = \frac{R}{C} \quad (\text{D.2})$$

式中:

$s(t)$  ——测量重复性;

$R$  ——极差;

$C$  ——极差系数, 当重复测量次数为 3 次时,  $C=1.69$ 。

实际测量结果为 3 次测量的平均值, 可得由重复性引入的不确定度分量

为:

$$u_1 = \frac{S(t)}{\sqrt{3}} = \frac{0.17s}{1.69 \cdot \sqrt{3}} = 0.031s$$

D.3.2 由秒表示值误差引入的不确定度分量  $u_2$ :

秒表在 10min 时的允许误差为  $\pm 0.05s$ , 区间半宽为  $d/2=0.05s$ , 按均匀分布, 则可得有卡尺示值误差引入的不确定度分量  $u_2 = \frac{d}{2\sqrt{3}} = 0.029s$ 。

D.3.3 由秒表分辨力引入的不确定度分量  $u_3$ :

以电子秒表为例, 分度值为  $0.01s$ , 区间半宽为  $0.005s$ , 按均匀分布, 则可得由卡尺分辨力引入的不确定度分量  $u_3 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003s$

D.4 不确定度来源一览表

序号	不确定度来源	不确定度分量	$u_i/s$
1	测量重复性	$u_1$	0.031
2	秒表示值误差	$u_2$	0.029
3	秒表分度值或分辨力	$u_3$	0.003

D.5 时间测量引起的不确定度

$$u_t = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \approx 0.043s \approx 0.0007 \text{ min}$$

D.6 合成标准不确定度

$$u_c = |c| \cdot u_t = 0.016r / \text{min}$$

D.7 扩展不确定度

$$U = k \times u_c, \text{ 取 } k=2, \text{ 则 } U=0.032r/\text{min}$$

由弯曲速度相对偏差计算公式得出弯曲速度相对偏差测量不确定度为:

$$U_{rel}=0.9\%, \quad k=2$$



## 附录 E

## 测力系统力值示值相对误差校准不确定度评定

## E.1 概述

将 0.5 级标准测力仪安放在被校试验机工作台上，每个校准点应以递增力进行三组测量，以试验机的指示装置为准，在标准测力仪上读数，计算每个校准点三次测量的平均值，由下式计算示值误差。

## E.2 数学模型

$$\Delta F = \bar{F}_i - \bar{F} \quad (\text{E.1})$$

式中：

$\Delta F$  ——测力系统的示值误差，N；

$\bar{F}_i$  ——递增力时，被校试验机力值指示装置指示的力的平均值，N；

$\bar{F}$  ——对于同一力值点，F 三次测量的算数平均值，N。

## E.3 不确定度来源及分析

E.3.1 由输入量  $\bar{F}_i$  的不确定度，即测量重复性引入的标准不确定度  $u_{rel}(\bar{F}_i)$ 

用标准测力仪校准 2 级试验机，对 60kN 校准点进行连续 3 次测量，测量结果为：60.01kN、60.03kN、59.99kN，用极差法计算测量测量重复性公式如（E.2）：

$$s(\bar{F}_i) = \frac{R}{C} \quad (\text{E.2})$$

式中：

$s(\bar{F}_i)$  ——测量重复性；

$R$  ——极差；

$C$  ——极差系数，当重复测量次数为 3 次时， $C=1.69$ 。

实际测量结果为 3 次测量的平均值，可得由重复性引入的不确定度分量为：

$$u_{rel}(\bar{F}_i) = \frac{R}{\sqrt{3}C} = \frac{0.04}{1.69 \cdot \sqrt{3} \cdot 60} = 0.023\%$$

E.3.2 由输入量  $\bar{F}$  的不确定度  $u_{rel}(\bar{F})$

E.3.2.1 标准测力仪校准证书引入的标准不确定度  $u_{rel}(\bar{F})_1$

根据标准器准确度等级为 0.5 级，均匀分布。引入的标准不确定度分量度为：

$$u_{rel}(\bar{F})_1 = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} \approx 0.29\%$$

E.3.2.2 标准测力仪的长期稳定度引入的标准不确定度  $u_{rel}(\bar{F})_2$

标准测力仪的年稳定性为 0.5 级，标准测力仪的长期稳定度  $Sb=0.5\%$ ，其所引入分标准不确定度属均匀分布。

$$u_{rel}(\bar{F})_2 = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} \approx 0.29\%$$

E.3.2.3 标准测力仪的受温度变化影响引入的标准不确定度  $u_{rel}(\bar{F})_3$

标准测力仪的受温度变化影响引入的标准不确定度  $u_{rel}(\bar{F})_3$ ，属均匀分布

$$u_{rel}(\bar{F})_3 = \frac{(t_2 - t_1)S_t}{60 \times 2\sqrt{3}} = 0$$

式中：

$t_1$ ——校准证书所给标准测力仪在力标准机上校准时的温度；

$t_2$ ——标准测力仪在校准电子式万能试验机时的温度；

$S_t$ ——标准测力仪的温度修正系数。

(对应变式标准测力  $S_t \geq 1.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，故此项忽略不计)

E.3.2.4、合成标准不确定度  $u_{rel}(\bar{F})$

$$u_{rel}(\bar{F}) = \sqrt{u_{rel}(\bar{F})_1^2 + u_{rel}(\bar{F})_2^2 + u_{rel}(\bar{F})_3^2} = 0.41\%$$

E.4 合成标准不确定度：

主要标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	标准不确定度的值	灵敏系数 $c_i$
$u_{rel}(\bar{F}_i)$	0.023	1
$u_{rel}(\bar{F})$	0.41	-1

E.5.合成标准不确定度  $u_{crel}$  的评定

$$u_{crel} = \sqrt{u_{rel}^2(\bar{F}_i) + u_{rel}^2(\bar{F})} = 0.41\%$$

E.6 扩展不确定度的评定

取  $k=2$  扩展不确定度为：

$$U_{rel}=k \times u_{crel}=2 \times 0.41\%=0.82\%$$

---