



贵州省地方计量技术规范

JJF (黔) ××—××××

钢筋弯曲试验机校准规范

**Calibration Specification for Bending Testers of
Corrugated Bar**

(征求意见稿)

202×— — 发布

202×— — 实施

贵州省市场监督管理局 发布

钢筋弯曲试验机校准规范

Cal i brati on Speci fi cati on for Bendi ng

JJF(黔)XX-X

XX

Tester of Corrugated Steel Bar

归 口 单 位：贵州省市场监督管理局

主要起草单位：安顺市质量技术监督检测所

六盘水市检验检测中心

参加起草单位：上海标卓科学仪器有限公司

本规范委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

王时箭 （安顺市质量技术监督检测所）

赵 阳 （安顺市质量技术监督检测所）

王兰兰 （六盘水市检验检测中心）

参加起草人：

赵庆岳 （六盘水市检验检测中心）

管毓榜 （安顺市质量技术监督检测所）

张文龙 （安顺市质量技术监督检测所）

王 潇 （上海标卓科学仪器有限公司）

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 术语	错误! 未定义书签。
3.2 计量单位	4
4 概述	5
5 计量特性	4
6 校准条件	5
6.1 环境条件	5
6.2 主标准器及配套设备	错误! 未定义书签。
7 校准项目和校准方法	5
7.1 弯曲角度示值误差	7
7.2 弯曲角度重复性	7
7.3 弯曲压头直径示值误差	7
7.4 弯曲速度	8
8 校准结果表达	8
9 复校时间间隔	9

附录 A 校准记录的格式	10
附录 B 校准证书的内页信息及格式	11
附录 C 不确定度评定	15

引 言

本规范依据 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编制工作的基础性系列规范。

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（以下简称试验机）的校准，不包括通过测量弯曲压头位移计算弯曲角度的试验机。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

GB/T 232-2010《金属材料 弯曲试验方法》

GB/T 28900-2012《钢筋混凝土用钢材试验方法》

YB/T 5126-2003《钢筋混凝土用钢筋 弯曲和反向弯曲试验方法》

JB/T 12076-2014《建筑施工机械与设备 钢筋弯曲机》

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（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 弯曲试验

弯曲试验是将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，观察试样表面裂纹情况以确定金属材料承受弯曲塑性变形能力的试验。

3.2 反向弯曲试验

反向弯曲试验是将试样弯曲一定角度经时效热处理后再将试样反向弯曲还原到一定角度，观察试样表面裂纹情况以确定金属材料在弯曲塑性变形与时效后的反向弯曲变形能力的试验。

3.3 弯曲速度

弯曲试验机施加弯曲力矩使试样产生弯曲或反向弯曲的速度。

3.4 弯曲角度

弯曲试验机施加弯曲力矩使试样从起始位置弯曲至某塑性变形位置时试验机显示的角度，以 α 表示。

3.5 反向弯曲角度

弯曲试验机施加弯曲力矩使试样从塑性变形位置反向弯曲到某一位置时时间及显示的角度，以 δ 表示。

3.6 支承辊

装在工作台上起支撑作用的滚轴。

3.7 弯心

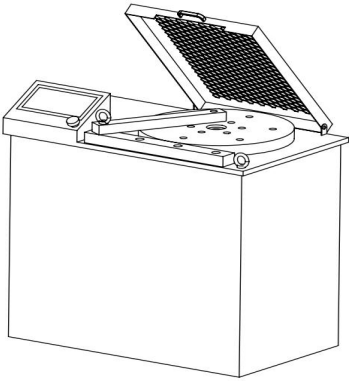
装在工作台上，使金属材料绕其产生弯曲变形的轴。

3.8 弯曲压头

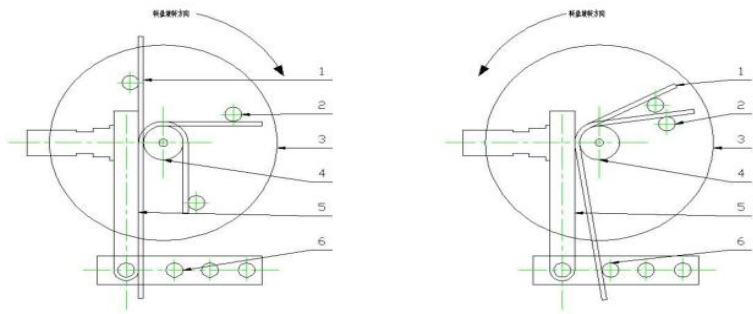
装在工作台或加力装置上，使金属材料产生弯曲变形或反向弯曲变形的轴。

4 概述

钢筋弯曲试验机是对钢筋进行平面正、反向弯曲试验的专用设备，主要用于建工、质检、冶金等部门进行钢筋弯曲性能测试。根据其工作原理的不同，分为卧式试验机和立式试验机。卧式试验机工作原理是将钢筋平放在转盘中心轴和挡板之间，当转盘转动时，钢筋一端被挡板阻止不能转动，中心轴位置不变，而工作辊绕中心轴作圆弧转动，将钢筋推弯。立式试验机工作原理是通过液压缸推动活塞移动，弯曲压头连接活塞，对横置摆放在弯曲支座上的钢筋试样进行下压弯曲。两种试验机工作原理如图 1、图 2 所示。

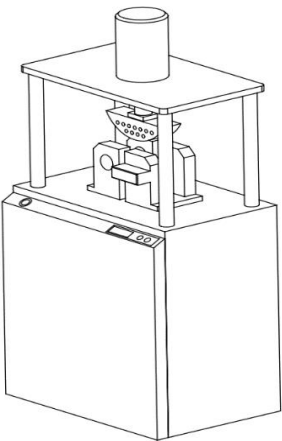


卧式钢筋弯曲试验机

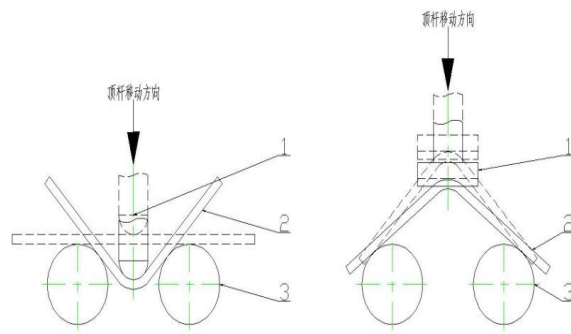


1、钢筋试样；2、工作辊；3、转盘；4、弯曲压头；5、挡板；6、反弯挡轴。

图 1 卧式转盘钢筋弯曲试验机正、反弯原理图



立式钢筋弯曲试验机



1、弯曲压头；2、钢筋试样；3、支辊。

图3 立式钢筋弯曲试验机正、反弯原理图

5 计量特性

5.1 弯曲角度示值误差不超过 $\pm 3^\circ$ ；

5.2 弯曲角度重复性： $\leq 2^\circ$ ；

5.3 弯曲压头、弯曲弯心直径示值误差不超过 $\pm 0.5\text{mm}$ ；

5.4 弯曲速度： $\leq 20^\circ/\text{s}$ 。

注：以上计量特性要求仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 弯曲试验机应在温度（10~35） $^\circ\text{C}$ ，湿度条件不大于 85%RH；

6.1.2 校准时应确保无影响校准工作的其他因素存在。

6.2 主标准器及配套设备

主标准器和配套设备表

序号	设备名称	技术要求
1	钢筋弯曲试验机 校准装置	角度测量仪：测量范围（ $0 \sim \pm 180$ ）° 最大允许误差绝对值不大于 0.3° 倾角测量仪：测量范围（ $-90 \sim +90$ ）° 最大允许误差绝对值不大于 0.3°
2	游标卡尺	测量范围：（ $0 \sim 500$ ） mm， 示值误差： $\pm (0.02 \sim 0.05)$ mm；
3	电子秒表	分辨力： 0.01 s；

注：可以选择满足要求的其他测量设备。

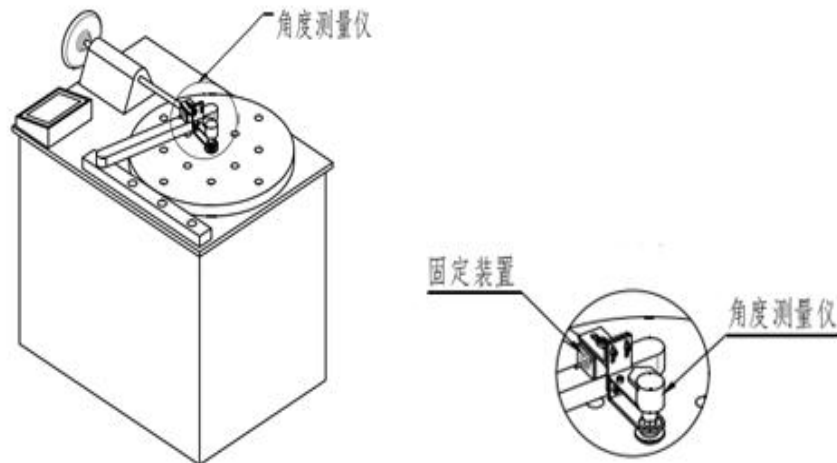
7 校准项目和校准方法

校准前，首先对钢筋弯曲试验机的外观及机座水平进行检查，确定没有影响计量特性的因素后再进行校准。

7.1 弯曲角度示值误差

7.1.1 卧式转盘钢筋弯曲试验机

将角度测量仪放置于试验机转盘圆心，调至水平状态并置零，确保角度测量仪与试验机转盘同轴固定。其安装示意图如图所示。



转盘式试验机角度测量仪安装示意图

在试验机上设定角度值，启动试验机，控制其运行速度不超过 $20^{\circ}/s$ ，待试验机运行到设定角度值后，记录角度测量仪读数，重复上述步骤，每个校准点测量三次，计算角度测量仪三次测量的算术平均值作为校准结果，其示值误差按公式 (1) 计算

$$\Delta A = A - A_{\text{标}} \quad (1)$$

式中：

ΔA ——弯曲角度示值误差，单位：(°)；

A ——试验机角度显示值，单位：(°)；

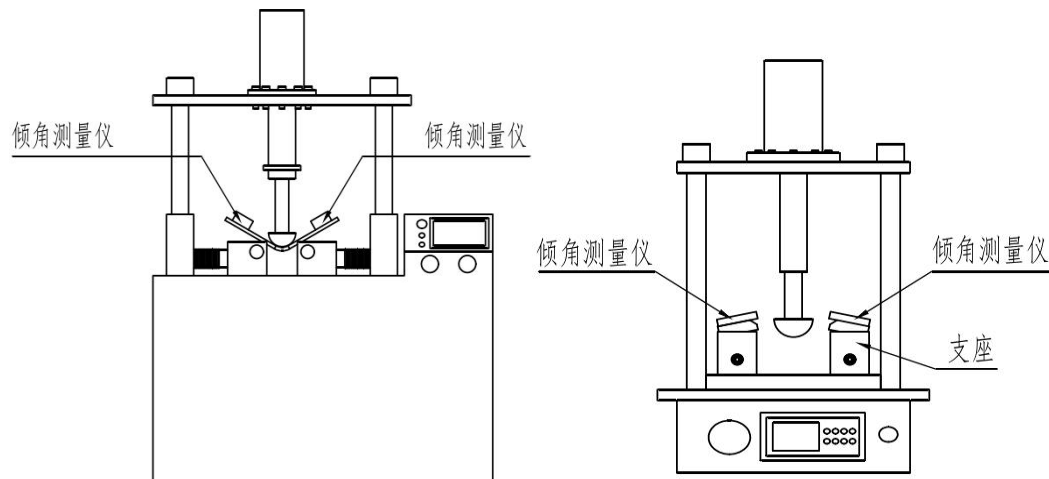
$A_{\text{标}}$ ——角度测量仪显示值的绝对值，单位：(°)。

7.1.2 卧式顶压及立式钢筋弯曲试验机

以下给出校准过程中倾角测量仪的两种安装方法，

方法一：根据选取的钢筋试样型号，安装相应的弯曲压头，调整支座间距，将两只倾角测量仪分别固定在钢筋试样两端，放入支座槽内。

方法二：将两只倾角测量仪分别放置在两个支座上，使倾角测量仪能围绕支座轴心转动。两种方法中两只倾角测量仪转动角度之和即为试验机弯曲角度。两种安装方法如图所示。



卧式试验机倾角测量仪安装示意图

对于方法一，在试验机上设定角度值后，启动试验机，控制其运行速度不超过 $20^{\circ}/s$ ，待试验机运行到设定角度值后，记录倾角测量仪读数，重复上述步骤，每个校准点测量三次，计算倾角测量仪三次测量的算术平均值。

对于方法二，转动支座转轴，使试验机达到设定角度值后，记录倾角测量仪读数，重复上述步骤，每个校准点测量三次，计算倾角测量仪三次测量的算术平均值作为校准结果，两种方法的示值误差均按公式（2）计算：

$$\Delta A = A - (A_{\text{标}1} + A_{\text{标}2}) \quad (2)$$

式中：

ΔA ——弯曲角度示值误差， 单位：（°）；

A ——试验机角度显示值， 单位：（°）；

$A_{\text{标}1}$ ——1号 角度测量仪显示值的绝对值，单位：（°）；

$A_{\text{标}2}$ ——2号角度测量仪显示值的绝对值，单位：（°）。

7.2 弯曲角度重复性

计算每个校准点上，测量仪在三次测量中示值的最大值与最小值之差，其重复性按公式（3）计算。

$$R = \frac{A_{\text{max}} - A_{\text{min}}}{1.69} \quad (3)$$

式中：

R ——弯曲角度重复性， 单位：（°）；

A_{max} ——同一校准点，示值的最大值，单位：（°）；

A_{min} ——同一校准点，示值的最小值，单位：（°）。

7.3 弯曲压头直径示值误差

选择标称直径 100mm 和 125mm 弯曲压头进行校准，其余弯曲压头根据客户要求校准。用游标卡尺在弯曲压头工作面中间位置三个方位进行测量，弯曲压头直径示值误差计算方法见公式（4），取三次测量平均值作为校准结果。

$$\Delta d = d - d' \quad (4)$$

式中：

Δd ——弯曲压头直径示值误差，单位：mm；

d ——弯曲压头直径标称值，单位：mm；

d'——游标卡尺测量值，单位：mm。

当弯曲压头有肉眼可见磨损时建议更换，不予校准。

7.4 弯曲速度

钢筋弯曲试验机开始试验的同时启动电子秒表计时，在钢筋弯曲试验机停止的瞬间暂停计时，记录角度测量仪显示值的绝对值和电子秒表显示值。

弯曲速度测量结果按公式（5）计算，取三次平均值作为校准结果。

$$\omega = \frac{A_{\text{标}}}{T} \quad (5)$$

式中：

ω ——钢筋弯曲试验机弯曲速度，单位： $^{\circ}/s$ ；

$A_{\text{标}}$ ——校准对象为卧式转盘钢筋弯曲试验机时为角度测量仪显示值的绝对值，校准对象为卧式顶压及立式钢筋弯曲试验机时为两只角度测量仪显示值的绝对值之和，单位： $(^{\circ})$ ；

T ——电子秒表显示值，单位：s。

8 校准结果表达

校准后，应出具校准证书。校准结果应在校准证书上反映，校准证书应包括以下信息：

- a) 标题：如“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) 校准证书的唯一性标识（如证书编号）、页码及总页数的标识；
- e) 客户的名称；

- f) 被校对象的描述和明确标识 (如制造单位、名称、型号、编号等) ;
- g) 校准单位校准专用章、进行校准的日期或校准证书的日期;
- 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 (如主要测量设备名称、型号、准确度等级或不确定度或最大允许误差、仪器编号、证书编号及有效期) 及有效性说明;
- j) 校准时环境的描述 (如环境温度、相对湿度) ;
- k) 校准结果及测量不确定度的说明;
- l) 复校时间间隔的建议;
- m) 校准证书的校准人、核验人、批准人签名;
- n) 校准结果仅对被校仪器有效的声明;
- o) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书无效的申明。

校准记录格式参见附录 A, 校准证书内页格式参见附录 B。

9 复校时间间隔

复校时间间隔的长短由试验机的使用情况、使用者以及仪器本身质量等诸因素所决定, 建议复校时间间隔为 1 年。

附录 A

钢筋弯曲试验机校准记录格式

校准记录编号

校准证书编号

委托单位					
仪器名称		型号规格			
出厂编号		制造厂家			
校准依据					
名称及编号	型号/规格	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	溯源单位名称及证书编号	有效期至
一、弯曲角度示值误差和重复性 单位：(°) (卧式转盘钢筋弯曲试验机)					

弯曲 方向	设定值	实测值				示值误差	示值重复 性	扩展不确定 度 $U(k=2)$
		1	2	3	平均值			
备注								
环境条件		温度 °C				校准地点		
		湿度 %RH						

一、弯曲角度示值误差和重复性 单位：(°) (立式钢筋弯曲试验机)

设定值	实测值							示值 误差	示值重 复性	扩展不确定 度 $U(k=2)$
	1		2		3		平均值			
	1号 测量 仪	2号 测量 仪	1号 测量 仪	2号 测量 仪	1号 测量 仪	2号 测量 仪				

备注										
环境条件	温度 °C					校准地点				
	湿度 %RH									

二、弯曲压头直径示值误差 单位：（mm）

标称值	实测值				示值误差	扩展不确定度 $U(k=2)$
	1	2	3	平均值		
100						
125						

三、弯曲速度 单位：（°/s）

设定值	弯曲速度									速度 平均值	扩展 不确定度 U $k=2$
	1			2			3				
	1号测量仪 (°)	2号测量仪 (°)	时间 (s)	1号测量仪 (°)	2号测量仪 (°)	时间 (s)	1号测量仪 (°)	2号测量仪 (°)	时间 (s)		

校准员：_____ 核验员：_____ 校准日期：_____年____月____日

附录 B

校准证书内页（参考） 格式

一、弯曲角度示值误差和重复性（°）

弯曲方向	校准点	示值误差	示值重复性	扩展不确定度 $U= (k=2)$
正向				
反向				

二、弯曲压头直径示值误差 (mm)

标称值	实测平均值	示值误差	扩展不确定度 $U= (k=2)$
100			
125			

三、弯曲速度 (° /s)

设定值	速度平均值	扩展不确定度 $U= (k=2)$

附录 C1

卧式转盘钢筋弯曲试验机弯曲角度示值误差的不确定度评定示例

1. 测量依据：JJF (黔) XXX-20XX 《钢筋弯曲试验机校准规范》。
2. 测量对象：卧式转盘钢筋弯曲试验机弯曲角度示值误差。
3. 测量方法：按照本规范 7.1.1 的要求安装弯曲压头和角度测量仪。在卧式转盘钢筋弯曲试验机的操作面板上设定弯曲方向为正向、弯曲角度为 90° 。启动试验机，记录卧式转盘钢筋弯曲试验机显示值和角度测量仪显示值的绝对值，以卧式转盘钢筋弯曲试验机角度显示值减去角度测量仪显示值的绝对值作为弯曲角度示值误差校准结果。
4. 数学模型及灵敏系数：

$$\Delta A = A - A_{\text{标}}$$

(C1.1)

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{f \Delta A}{f A} = 1 \qquad c_2 = \frac{f \Delta A}{f A_{\text{标}}} = -1 \qquad (\text{C1.2})$$

式中： ΔA ——弯曲角度示值误差， 单位： $(^\circ)$ ；

A ——卧式转盘钢筋弯曲试验机角度显示值， 单位： $(^\circ)$ ；

$A_{\text{标}}$ ——角度测量仪显示值的绝对值， 单位： $(^\circ)$ 。

5. 各输入量标准不确定度评定:

5.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

按照本规范 7.1.1 的要求安装弯曲压头和角度测量仪,在卧式转盘钢筋弯曲试验机的操作面板上设定弯曲方向为正向、弯曲角度为 90° 。启动试验机,记录卧式转盘钢筋弯曲试验机的显示值和角度测量仪显示值的绝对值。在重复性条件下测量 10 次,测得结果如下:

测量 次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
试验机 显示值	90. 0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90. 0	90. 0	90.0	90.0
传感器 显示值	90. 19	90.2 6	90.0 7	90.1 8	90.3 3	90.1 8	90. 09	90. 16	90.2 7	90.0 8

由贝塞尔公式得出单次测得值的实验标准偏差:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.087$$

(C1.3)

实际工作时以三次测量的算术平均值作为校准结果,故测量重复性引入的不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.050$$

(C1.4)

5.2 被测钢筋弯曲试验机分辨力引入的不确定度分量 u_2

被测钢筋弯曲试验机分辨力为 0.1° ，故半宽度为 0.05° ，估计为均匀分布，

取 $k = \sqrt{3}$

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029$$

(C1.5)

考虑到测量重复性和被测对象分辨力存在重复，在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去。

5.3 测量用角度测量仪示值误差引入的不确定度分量 u_3

角度测量仪最大允许误差为 $\pm 0.3^\circ$ ，故半宽度为 0.3° ，估计为均匀分布，

取 $k = \sqrt{3}$

$$u_3 = \frac{0.3}{\sqrt{3}} = 0.173 \quad (\text{C1.6})$$

6. 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 u_i	不确定度分量来源	标准不确定度值	c_i	$ c_i u_i(x) $
u_1	测量重复性	0.050	1	0.050

u_3	角度测量仪示值误差	0.173	-1	0.173
-------	-----------	-------	----	-------

7. 合成标准不确定度:

因输入量 u_1 、 u_3 彼此独立不相关，合成标准不确定度:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_3^2} = 0.180$$

(C1.7)

8. 扩展不确定度:

取包含因子 $k=2$ ，卧式转盘钢筋弯曲试验机弯曲角度为 90° 时示值误差的扩展不确定度:

$$U = u_c \times k = 0.180 \times 2 = 0.36^\circ$$

附录 C2

立式钢筋弯曲试验机弯曲角度示值误差的不确定度评定示例

1. 测量依据：JJF (黔) XXX-20XX 《钢筋弯曲试验机校准规范》；
2. 测量对象：立式顶压钢筋弯曲试验机弯曲角度示值误差；
3. 测量方法：按照本规范 7.1.2 的要求安装弯曲压头和角度测量仪，调整两支辊间距。在卧式顶压钢筋弯曲试验机的操作面板上设定弯曲方向为正向、弯曲角度为 90° 。启动试验机，记录卧式顶压钢筋弯曲试验机显示值和角度测量仪显示值的绝对值，以卧式顶压钢筋弯曲试验机角度显示值减去两只角度测量仪显示值的绝对值之和作为弯曲角度示值误差校准结果；
4. 数学模型及灵敏系数：

$$\Delta A = A - (A_{\text{标}1} + A_{\text{标}2}) \quad (\text{C2.1})$$

1)

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{f \Delta A}{f A} = 1 \quad c_2 = \frac{f \Delta A}{f A_{\text{标}1}} = -1 \quad c_3 = \frac{f \Delta A}{f A_{\text{标}2}} = -1 \quad (\text{C2.2})$$

式中：A —— 弯曲角度示值误差，单位：($^\circ$)；

A —— 卧式顶压钢筋弯曲试验机角度显示值，单位：($^\circ$)；

$A_{\text{标}1}$ ——1# 角度测量仪显示值的绝对值， 单位：（°）；

$A_{\text{标}2}$ ——2# 角度测量仪显示值的绝对值， 单位：（°）。

5. 各输入量标准不确定度评定：

5.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

由测量重复性引入的不确定度分量 u_1 按照本规范 6.1.2 的要求安装弯曲压头和角度测量仪， 调整两支辊间距。在卧式顶压钢筋弯曲试验机的操作面板上设定弯曲方向为正向、弯曲角度为 90° 。启动试验机，记录卧式顶压钢筋弯曲试验机的显示值和角度测量仪显示值的绝对值。在重复性条件下测量 10 次，测得结果如下：

测量 次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
试验机显示值	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
1号传感器显示值	44.3 0	44.0 9	44.4 2	44.9 4	44.8 8	44.2 8	44.1 4	44.1 6	44.3 8	44.0 1
2号传感器显示值	44.7 2	44.0 6	44.0 2	44.2 6	44.3 2	43.9 2	44.2 6	44.2 6	44.0 9	44.3 2
显示值 之和	89.0 2	88.1 5	88.4 4	88.2 0	88.2 0	88.2 0	88.4 0	88.4 2	88.4 7	88.3 3

由贝塞尔公式得出单次测得值的实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.259 \quad (\text{C2.3})$$

实际工作时以三次测量的算术平均值作为校准结果，故测量重复性引入的不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.150 \quad (\text{C2.4})$$

4)

5.2 被测钢筋弯曲试验机分辨力引入的不确定度分量 u_2

已知被测钢筋弯曲试验机分辨力为 0.1° ，故半宽度为 0.05° ，估计为均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \quad (\text{C2.5})$$

考虑到测量重复性和被测对象分辨力存在重复，在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去。

5.3 测量用角度测量仪示值误差引入的不确定度分量 u_3

1号角度测量仪最大允许误差为 $\pm 0.3^\circ$ ，故半宽度为 0.3° ，估计为均匀分布，

$$\text{取 } k = \sqrt{3} \quad u_{31} = \frac{0.3}{\sqrt{3}} = 0.173 \quad (\text{C2.6})$$

2 号角度测量仪最大允许误差为 $\pm 0.3^\circ$, 故半宽度为 0.3° , 估计为均匀分布,

$$\text{取 } k = \sqrt{3} \quad u_{32} = \frac{0.3}{\sqrt{3}} = 0.173 \quad (\text{C2.7})$$

测量用角度测量仪示值误差引入的不确定度分量 u_3

$$u_3 = \sqrt{u_{31}^2 + u_{32}^2} = 0.245 \quad (\text{C2.8})$$

6. 标准不确定度汇总表:

标准不确定度分量 $u_i(x)$	不确定度来源	标准不确定值	C_i	$ C_i u_i(x) $
u_1	测量重复性	0.150	1	0.150
u_3	标准器示值误差	0.245	-1	0.245

7. 合成标准不确定度:

因输入量 u_1 、 u_3 彼此独立不相关, 合成标准不确定度:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 0.287 \quad (\text{C2.9})$$

8. 扩展不确定度:

取包含因子 $k=2$, 卧式顶压钢筋弯曲试验机弯曲角度为 90° 时示值误差的扩展不确定度:

$$U = k \times u_c = 0.57^\circ$$

附录 C3

钢筋弯曲试验机弯曲压头直径示值误差的不确定度评定示例

1. 测量依据：JJF (黔) XXX-20XX 《钢筋弯曲试验机校准规范》。
2. 测量对象：钢筋弯曲试验机弯曲压头直径示值误差。
3. 测量方法：用游标卡尺在标称直径 100mm 的弯曲压头工作面中间位置三个方位进行测量，以弯曲压头直径标称值减游标卡尺测量值作为校准结果。
4. 数学模型及灵敏系数：

$$\Delta d = d - d' \quad (\text{C3.1})$$

1)

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{f \Delta d}{f d} = 1 \quad c_2 = \frac{f \Delta d}{f d'} = -1 \quad (\text{C3.2})$$

式中： Δd ——弯曲压头直径示值误差， 单位： mm；

d ——弯曲压头直径标称值， 单位： mm；

d' ——游标卡尺测量值， 单位： mm。

5. 各输入量标准不确定度评定：

5.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

用游标卡尺在标称直径 100mm 的弯曲压头工作面中间位置三个方位进行测量。在重复性条件下测量 10 次，测得结果如下：（mm）

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
99. 96	99. 94	99. 98	99. 94	99. 98	99. 96	99. 94	99. 92	99. 96	99. 98

由贝塞尔公式得出单次测得值的实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.021 \quad (\text{C3.}$$

3)

实际工作时以三次测量的算术平均值作为校准结果，故测量重复性引入的不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.012 \quad (\text{C3.4})$$

5.2 测量用游标卡尺分度值引入的不确定度分量 u_2

游标卡尺分度值为 0.02mm，故半宽度为 0.01mm，估计为均匀分布，

取 $k = \sqrt{3}$
$$u_2 = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006 \quad (\text{C3.}$$

5)

考虑到测量重复性和标准器分度值存在重复，在合成标准不确定度时将二者中较小值舍去。

5.3 测量用游标卡尺示值误差引入的不确定度分量 u_3

游标卡尺在 100mm 时最大允许误差为 $\pm 0.03\text{mm}$ ，故半宽度为 0.03mm，估计为均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$

$$u_3 = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.017 \quad (\text{C3.6})$$

6. 标准不确定度汇总表：

标准不确定度分量 $u_i(x)$	不确定度来源	标准不确定值	c_i	$ c_i u_i(x) $
u_1	测量重复性	0.012	1	0.012
u_3	标准器示值误差	0.017	-1	0.017

7. 合成标准不确定度：

因输入量 u_1 、 u_3 彼此独立不相关，合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 0.021 \quad (\text{C3.7})$$

8. 扩展不确定度：

取包含因子 $k=2$ ，钢筋弯曲试验机弯曲压头为标称直径 100mm 时示值误差的扩展不确定度：

$$U = k \times u_c = 0.04\text{mm}$$

附录 C4

钢筋弯曲试验机弯曲速度测量结果的不确定度评定示例

1. 测量依据：JJF (黔) XXX-20XX《钢筋弯曲试验机校准规范》；
2. 测量对象：钢筋弯曲试验机弯曲速度；
3. 测量方法：按照本规范 7.4 的要求对样品进行 90° 正向弯曲。开启钢筋弯曲试验机的同时启动电子秒表计时，钢筋弯曲试验机停止的瞬间暂停计时，记录角度测量仪显示值的绝对值和电子秒表显示值。以角度测量仪显示值的绝对值除以电子秒表显示值作为测量结果；
4. 数学模型及灵敏系数：

$$\omega = \frac{A_{\text{标}}}{T} \quad (\text{C4.1})$$

1)

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{f\omega}{fA_{\text{标}}} = T^{-1} \quad c_2 = \frac{f\omega}{fA_{\text{标}}} = -A_{\text{标}}T^{-2} \quad (\text{C4.2})$$

2)

式中： ω ——钢筋弯曲试验机弯曲速度， 单位： $^{\circ}/s$ ；

$A_{\text{标}}$ ——角度测量仪显示值的绝对值， 单位： $(^{\circ})$ ；

T ——电子秒表显示值， 单位： s 。

弯曲速度 $\omega=20^{\circ}/s$ ， 弯曲角度 $A_{\text{标}}=90^{\circ}$ ， 所用时间 $T=4.5s$ ， 则：

$$c_1 = \frac{f\omega}{fA_{\text{标}}} = T^{-1} = 0.222s^{-1} \quad c_2 = \frac{f\omega}{fA_{\text{标}}} = -A_{\text{标}}T^{-2} = -4.444^{\circ}/s^2 \quad (\text{C4.3})$$

3)

5. 各输入量标准不确定度评定:

5.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1 、 u_2

按照本规范 7.4 的要求对样品进行 90° 正向弯曲, 开启钢筋弯曲试验机的同时启动电子秒表计时, 钢筋弯曲试验机停止的瞬间暂停计时, 记录角度测量仪显示值的绝对值和电子秒表显示值。在重复性条件下测量 10 次, 测得果如下:

测量 次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
角度 ($^\circ$)	89.8 4	90.1 5	90.0 4	90.2 8	90.3 5	90.1 3	89.9 5	90.0 5	90.2 9	90.1 4
时间 (/s)	4.54	4.59	4.58	4.62	4.65	4.56	4.57	4.61	4.63	4.63
速度 ($^\circ$ /s)	19.8 1	19.6 4	19.6 6	19.5 4	19.4 3	19.7 7	19.6 8	19.5 3	19.5 0	19.4 7

贝塞尔公式得出单次测得值的实验标准偏差:

$$s_{\text{测}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \prod_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.157 \quad (\text{C4.}$$

4)

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \prod_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.036 \quad (\text{C4.}$$

5)

实际工作时以 3 次测量的算术平均值作为校准结果, 故测量重复性引入的不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.091 \quad (\text{C4.6})$$

$$u_2 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.021\text{s} \quad (\text{C4.}$$

7)

5.2 测量用角度测量仪和电子秒表分辨力引入的不确定度分量 u_3 、 u_4 忽略不计。

5.3 测量用角度测量仪和电子秒表示值误差引入的不确定度分量 u_5 、 u_6

角度测量仪最大允许误差为 $\pm 0.3^\circ$, 故半宽度为 0.3° , 估计为均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$

$$u_5 = \frac{0.3}{\sqrt{3}} = 0.173 \quad (\text{C4.}$$

8)

电子秒表最大允许误差为 $\pm 0.07\text{s}$, 故半宽度为 0.07s , 估计为均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$

$$u_6 = \frac{0.07}{\sqrt{3}} = 0.040\text{s} \quad (\text{C4.}$$

9)

5.4 启动、 停止电子秒表的同步误差引入的不确定度分量 u_7

校准人员启动、停止电子秒表的同步误差不大于 0.1s ，估计为均匀分布，

$$\text{取 } k=\sqrt{3}: \quad u_7 = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058\text{s} \quad (\text{C4.10})$$

6. 标准不确定度汇总表:

标准不确定度分量 $u_i(x)$	不确定度来源	标准不确定值	c_i	$ c_i u_i(x) $
u_1	测量重复性	0.091	0.222	0.020
u_2	电子秒表测量重复性	0.021	$-\frac{4.44}{4}$	0.093
u_5	标准传感器示值误差	0.173	0.222	0.038
u_6	电子秒表示值误差	0.040	$-\frac{4.44}{4}$	0.178
u_7	启动、停止电子秒表的同步误差	0.058	$-\frac{4.44}{4}$	0.258

7. 合成标准不确定度:

因输入量 u_1 、 u_2 、 u_5 、 u_6 、 u_7 彼此独立不相关，合成标准不确定度:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} = 0.330 \frac{^\circ}{\text{s}} \quad (\text{C4.11})$$

8. 扩展不确定度:

取包含因子 $k=2$ ，钢筋弯曲试验机弯曲速度的扩展不确定度:

$$\underline{U = k \times u_c = 0.7^\circ / \text{s}}$$