



# 福建省地方计量技术规范

JJF (闽) 1111-2020

---

## 十字板剪切试验仪校准规范

Calibration Specification for Vane Shear Apparatus

2020-12-16 发布

2021-03-16 实施

---

福建省市场监督管理局 发布



# 十字板剪切试验仪校准规范

Calibration Specification for Vane

Shear Apparatus

JJF ( 闽 ) 1111 — 2020

---

本规范经福建省市场监督管理局于 2020 年 12 月 16 日批准，并自  
2021 年 03 月 16 日起施行。

**归口单位：**福建省市场监督管理局

**主要起草单位：**福建省计量科学研究院

**参加起草单位：**福建省交通建设工程试验检测有限公司

温岭市南光地质仪器有限公司

**本规程主要起草人：**

薛 金（福建省计量科学研究院）

叶礼明（福建省计量科学研究院）

**参加起草人：**

钟金德（福建省计量科学研究院）

林育春（福建省交通建设工程试验检测有限公司）

陈 偲（温岭市南光地质仪器有限公司）

## 目 录

引 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
3.1 原位不排水强度 .....	1
4 概述 .....	1
5 计量特性 .....	2
5.1 外观及功能 .....	2
5.2 尺寸 .....	3
5.3 扭矩 .....	3
6 校准条件 .....	3
6.1 环境条件 .....	3
6.2 测量标准及其他设备 .....	3
7 校准项目和校准方法 .....	4
7.1 校准项目 .....	4
7.2 校准方法 .....	4
8 校准结果表达 .....	6
9 复校时间间隔 .....	6
附录 A 原位不排水强度与加载扭矩的对应关系 .....	8
附录 B 十字形板头高度与扭矩测量设备示值测量结果不确定度评定 (示例) .....	9
附录 C 十字板剪切试验仪校准证书内页 (格式) .....	14
附录 D 十字板剪切试验仪校准记录 (格式) .....	15

## 引 言

本规范依据 JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》和 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》为基础性系列规范进行制定，本规范主要参考了 GB/T 4934.2《土工试验仪器 剪切仪 第 2 部分：现场十字板剪切仪》、SL 756《土工原位测试专用仪器校验方法》和 TB 10018《铁路工程地质原位测试规程》等技术规范和标准编制而成。

本规范为首次发布。

# 十字板剪切试验仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于测定饱和软黏性土的原位不排水强度的十字板剪切试验仪（包含机械式与电测式）的校准。

## 2 引用文件

本规范引用下列文件：

GB/T 4934.2 土工试验仪器 剪切仪 第2部分：现场十字板剪切仪

TB 10018-2018 铁路工程地质原位测试规程

SL 756-2017 土工原位测试专用仪器校验方法

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 术语和定义

3.1 原位不排水强度 in-situ intension without drainage [GB/T 4934.2-2008 术语和定义 3.2]

土在原地不排水条件下受剪时可产生的最大剪阻力。

## 4 概述

十字板剪切试验仪（以下简称剪切试验仪）主要由十字形板头、轴杆、扭矩测量设备及必要的附件等部分组成（如图1所示）。十字形板头应由两片正交的耐腐蚀、耐磨损、不易变形的高硬度金属材料制成，轴杆宜与十字形板头整体铸造，应均匀、光滑。十字形板头和轴杆的规格应符合表1的规定。剪切试验仪主要应用于十字板剪切试验，将十字形板头由钻孔压入孔底软土中，以均匀的速度转动，通过一定的测量系统，测得其转动时所需之力矩，直至土体破坏，从而计算出土的原位不排水强度，广泛应用于水利、岩土、土木、交通等行业的工程质量检测领域。

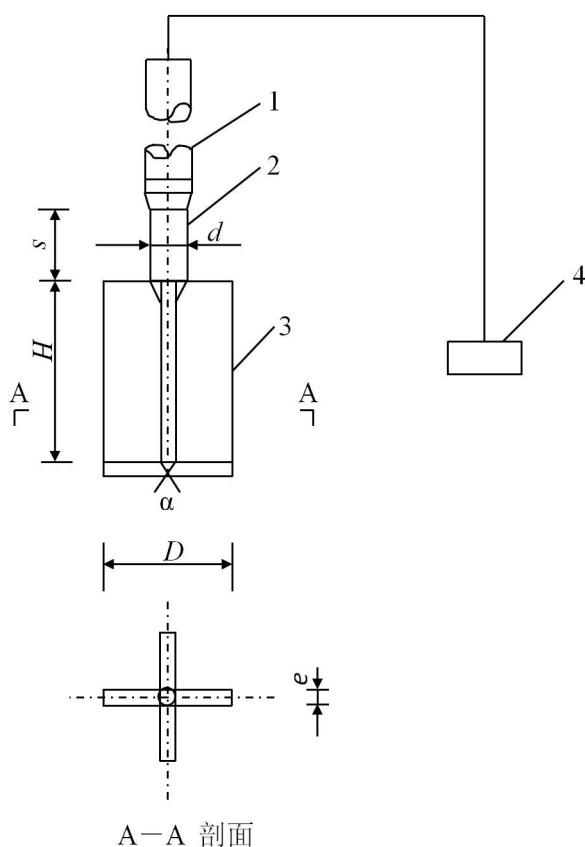


图1 剪切试验仪结构示意图

1—扭矩测量设备；2—轴杆；3—十字形板头；4—显示仪表

表1 十字形板头和轴杆规格

十字形板头				轴杆		十字板面积 比 A (%)
板高 $H$ (mm)	板宽 $D$ (mm)	板厚 $e$ (mm)	刃角 $\alpha$ ( $^{\circ}$ )	直径 $d$ (mm)	长度 $s$ (mm)	
100	50	2	60	13	50	14
150	75	3	60	14	50	13

注：面积比是十字板头截面积与直径为  $D$  的圆柱状土体截面积之比。

## 5 计量特性

### 5.1 外观及功能

5.1.1 剪切试验仪表面无生锈、凹痕、划伤、裂缝、变形等缺陷，仪表显示正常。

5.1.2 剪切试验仪应有铭牌，铭牌上需标明仪器名称、型号规格、出厂编号、制造厂名称和出厂日期等。



## 5.2 尺寸

剪切试验仪的十字形板头和轴杆的尺寸技术指标要求见表 2。

表2 十字形板头和轴杆技术指标

十 字 形 板 头			轴 杆	
板高 $H$ (mm)	板宽 $D$ (mm)	板厚 $e$ (mm)	直径 $d$ (mm)	长度 $s$ (mm)
MPE:±1%	MPE:±1%	MPE:±0.2	MPE: ±0.2	MPE:±1%
注：以上指标仅供参考，不作为判断合格与否的依据。				

## 5.3 扭矩

剪切试验仪所用扭矩测量配套显示仪表的单位为 kPa，其技术指标见表 3。  
剪切试验仪测定饱和软黏性土的原位不排水强度与其所加载的扭矩对应关系式见附录 A。

表 3 扭矩测量设备技术指标

直线度 $L$	重复性 $R$	滞后 $H$
≤1.0% FS	≤0.8% FS	≤1.0% FS
注：以上指标仅供参考，不作为判断合格与否的依据。		

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

剪切试验仪应置于平稳的工作台上，室内应清洁、干燥，周围无影响校准的振动、电磁场或其他干扰源，室温应控制在  $(20\pm 10)$  °C，相对湿度 ≤85%。

### 6.2 测量标准及其他设备

校准剪切试验仪所用的测量标准及其他设备见表4。

表4 测量标准及其他设备

序号	标准器具	技术指标
1	扭矩测量仪	0.3级
2	数显卡尺	MPE: ±0.03 mm
注：以上标准器可用同等级或更优的其它标准器代替。		

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

剪切试验仪的校准项目见表 5。

表 5 剪切试验仪的校准项目

剪切试验仪部件	校准项目
十字形板头	宽度
	高度
	厚度
轴杆	直径
	长度
扭矩测量设备	直线度
	重复性
	*滞后
注：*表示扭矩测量设备的滞后参数可根据用户需求进行校准。	

### 7.2 校准方法

首先检查剪切试验仪的外观及各部分配件，满足条件下开展校准。

#### 7.2.1 十字形板头宽度的校准

用数显卡尺测量十字形板头的宽度，每块板在上、中、下各测量 1 次，取数显卡尺 6 次测量值的平均值作为十字形板头宽度的测量结果。

#### 7.2.2 十字形板头高度与厚度的校准

用数显卡尺分别测量十字形板头的高度与厚度，每半片板测量一次，分别取数显卡尺 4 次测量值的平均值作为十字形板头高度与厚度的测量结果。

#### 7.2.3 轴杆直径和长度的校准

用数显卡尺测量轴杆的直径和长度，测量轴杆直径时取中间合适位置每隔 120° 测量一次，一共测量三次，取三次测量值的平均值作为轴杆直径的测量结果；测量轴杆长度时，每间隔 120° 测量一次，一共测量三次，取三次测量值的平均值作为轴杆长度的测量结果。

#### 7.2.4 扭矩测量设备的校准

7.2.4.1 将十字形板头卸下，通过转接头将剪切试验仪与扭矩测量仪准确安装连

接。

7.2.4.2 施加预负荷 3 次，每次加荷到满量程后退回到零负荷。预负荷至少应保持 30 s，卸至零负荷后也应至少保持 30 s。第三次预负荷后若有零点输出值，应调零。

7.2.4.3 扭矩测量设备在额定范围内选取校准点，一般从 10% 开始，校准点应不少于 5 个。在校准过程中应逐级平稳加荷，两相邻校准点间加载时间宜相等，直至额定值。然后逐级平稳卸荷，直至零负荷。重复三次上述过程，记录加荷和卸荷过程中各校准点的显示值。

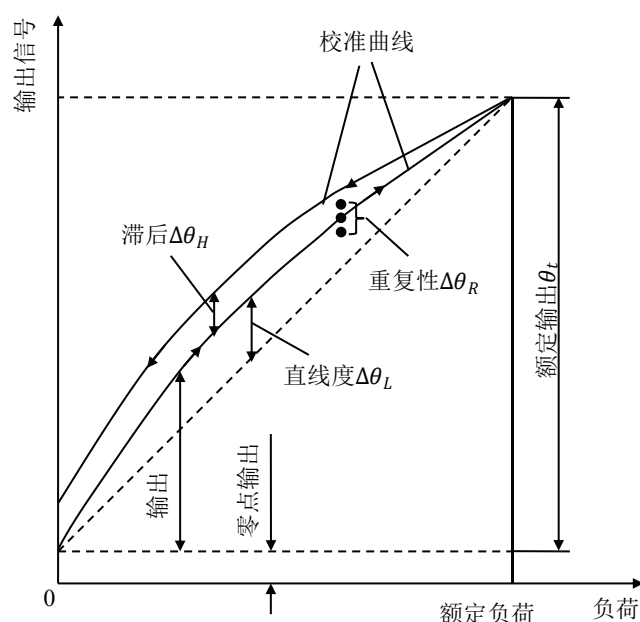


图 2 剪切试验仪扭矩测量设备校准曲线图

根据图2和公式 (1) ~ (3) 分别计算直线度、重复性和滞后，具体计算公式如下。

$$L = \frac{\Delta\theta_L}{\theta_t} \times 100\% \quad (1)$$

$$R = \frac{\Delta\theta_R}{\theta_t} \times 100\% \quad (2)$$

$$H = \frac{\Delta\theta_H}{\theta_t} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$L$ ——直线度，%FS。

$\Delta\theta_L$ ——加荷平均校准曲线与平均端点直线偏差的最大值，kPa。

$\theta_i$ ——额定输出值，kPa。

$R$ ——重复性，%FS。

$\Delta\theta_R$ ——加荷重复校准时各校准点输出极差的最大值，kPa。

$H$ ——滞后，%FS。

$\Delta\theta_H$ ——加荷平均校准曲线与卸荷平均校准曲线偏差的最大值，kPa。

## 8 校准结果表达

校准证书或校准报告应至少包含以下信息：

- 1) 标题，如“校准证书”“或校准报告”；
- 2) 实验室名称和地址；
- 3) 进行校准的地点；
- 4) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- 5) 送校单位的名称和地址；
- 6) 被校对象的描述和明确标识；
- 7) 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；
- 8) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- 9) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- 10) 校准环境的描述；
- 11) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- 12) 校准证书或校准报告签发人的签名等效标识，以及签发日期；
- 13) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- 14) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

## 9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由剪切试验仪的使用情况、使用者、剪切试验仪本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可依据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校时间间隔不超过一年。

## 附录 A

## 原位不排水强度与加载扭矩的对应关系

A.1 十字板剪切试验仪测定饱和软黏性土的原位不排水强度与其所加载的扭矩对应关系式如下：

$$C_u = \frac{2M}{\pi D^3 \left( \frac{H}{D} + \frac{\alpha}{2} \right)} = \frac{xM}{\pi D^3}$$

式中：

$C_u$ ——原位不排水强度，kPa

$M$ ——十字板剪切试验仪所加载扭矩，Nm

$H$ ——十字形板头高度，mm

$D$ ——十字形板头宽度，mm

$\alpha$ ——与圆柱顶底面剪应力的分布有关的系数（见表 A.1）

$x$ —— $\frac{2}{\left( \frac{H}{D} + \frac{\alpha}{2} \right)}$ （高宽比为固定值  $\frac{H}{D} = 2$ ）

表 A.1 与圆柱顶底面剪应力的分布有关的系数

圆柱顶底面剪应力的分布	均匀	抛物线	三角形
$\alpha$	2/3	3/5	1/2
$x$	6/7=0.857	20/23=0.870	8/9=0.899

注：在实际应用中，圆柱顶底面剪应力的分布通常为均匀分布，则  $x=0.857$ 。

## 附录 B

## 十字形板头高度与扭矩测量设备示值测量结果不确定度评定（示例）

## B.1 测量方法：

用数显卡尺测量十字形板头的高度，每半片板测量一次，一共测量 4 次，取 4 次示值的平均值作为十字板板头高度的测量结果。

将十字形板头卸下，通过转接头将十字板剪切试验仪的扭矩测量设备与扭矩测量仪准确安装连接。施加预负荷 3 次，每次加荷到满量程后退回到零负荷。预负荷至少应保持 30 s，卸至零负荷后也应至少保持 30 s。在扭矩测量设备额定范围内选取校准点，一般从 10% 开始，校准点应不少于 5 个。在校准过程中应逐级平稳加荷，两相邻校准点间加载时间宜相等，直至额定值。然后逐级平稳卸荷，直至零负荷。重复三次上述过程，记录加荷和卸荷过程中各校准点的显示值。

## B.2 十字形板头高度测量结果的不确定度评定

B.2.1 测量模型： $H = \bar{H}$ 

式中：

$H$ ——十字形板头高度的实际值，mm；

$\bar{H}$ ——十字形板头高度四次测量值的平均值，mm。

## B.2.2 标准不确定度分量的评定

B.2.2.1 输入量  $\bar{H}$  的标准不确定度  $u(\bar{H})$  的评定：其不确定度来源主要是测量重复性引入的不确定度  $u_1(\bar{H})$ ，由 A 类方法评定  $u_1(\bar{H})$ ；数显卡尺准确度引入的不确定度  $u_2(\bar{H})$ ，由 B 类方法评定  $u_2(\bar{H})$ 。

B.2.2.1.1 选取一台十字形板头（50 mm×100 mm），用数显卡尺对板头高度连续进行 10 次测量，得到测量列如下表所示：

序号(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值(mm)	99.98	100.01	99.99	99.97	100.02	100.01	100.02	100.00	100.01	99.98

其所求的平均值： $\bar{H} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} H_i = 100.00 \text{ mm}$

单次实验标准偏差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (H_i - \bar{H})^2}{n-1}} = 0.018 \text{ mm}$

实际测量中是在重复性条件下测量 4 次，取其平均值作为测量结果。

则  $u_1(\bar{H}) = \frac{s}{\sqrt{4}} = 0.009 \text{ mm}$

B.2.2.1.2 数显卡尺的最大允许误差为 $\pm 0.03 \text{ mm}$ ，估计为均匀分布，其引入的标准不确定度为：

$u_2(\bar{H}) = \frac{\alpha}{k} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} \text{ mm} = 0.017 \text{ mm}$

B.2.3 合成标准不确定度的评定

B.2.3.1 灵敏系数：由  $H = \bar{H}$  得

$c = \frac{\partial H}{\partial \bar{H}} = 1$

B.2.3.2 标准不确定度汇总表，见下表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (mm)	$c_i$	$ c_i u(x_i)$ (mm)
$u_1(\bar{H})$	测量重复性	0.009	1	0.009
$u_2(\bar{H})$	数显卡尺准确度	0.017	1	0.017

B.2.3.3 合成标准不确定度的计算：

$u_c(H) = u_c(\bar{H}) = \sqrt{[c \cdot u_1(\bar{H})]^2 + [c \cdot u_2(\bar{H})]^2} = \sqrt{0.009^2 + 0.017^2} = 0.019 \text{ mm}$

B.2.4 扩展不确定度的评定：

取包含因子  $k=2$ ，则  $U=k \cdot u_c=0.04 \text{ mm}$

B.2.5 扩展不确定度的报告与表示：

十字形板头高度的测量结果为： $\bar{H}=100.00 \text{ mm}$ ， $U=0.04 \text{ mm}$ ， $k=2$ 。

B.3 扭矩测量设备示值测量结果的不确定度评定



B.3.1 测量模型： $C_u = \overline{C_u}$

式中：

$C_u$ ——扭矩测量设备的原位不排水强度实际值，kPa；

$\overline{C_u}$ ——扭矩测量设备的原位不排水强度三次进程示值的平均值，kPa。

B.3.2 标准不确定度分量的评定

B.3.2.1 输入量  $\overline{C_u}$  的标准不确定度  $u(\overline{C_u})$  的评定：其不确定度来源主要是测量重复性引入的不确定度  $u_1(\overline{C_u})$ ，由 A 类方法评定  $u_1(\overline{C_u})$ ；还来源于扭矩测量设备的分辨力引入的不确定度  $u_2(\overline{C_u})$ ，由 B 类方法评定  $u_2(\overline{C_u})$ 。

B.3.2.1.1 选取一台十字板剪切试验仪（十字板头宽高尺寸测量结果为 50.02 mm×100.04 mm），用扭矩测量仪对其扭矩测量设备（校准点为 10 Nm）连续进行 10 次测量，得到测量列如下表所示：

序号(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值(kPa)	21.9	22.0	21.8	21.9	22.0	21.9	22.0	21.9	21.8	21.9

其所求的平均值： $\overline{C_u} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} C_{ui} = 21.9 \text{ kPa}$

单次实验标准偏差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (C_{ui} - \overline{C_u})^2}{n-1}} = 0.07 \text{ kPa}$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其平均值作为测量结果。

则  $u_1(\overline{C_u}) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.04 \text{ kPa}$

B.3.2.1.2 扭矩测量设备的分辨力为 0.1 kPa，估计为均匀分布，其引入的标准不确定度为：

$u_2(\overline{C_u}) = \frac{\alpha}{k} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} \text{ kPa} = 0.03 \text{ kPa}$

B.3.2.1.3 为避免重复计算，计算  $u(\overline{C_u})$  时取  $u_1(\overline{C_u})$  与  $u_2(\overline{C_u})$  较大者即可，则：

$u(\overline{C_u}) = u_1(\overline{C_u}) = 0.04 \text{ kPa}$

B.3.2.2 标准器扭矩测量仪引入的标准不确定度  $u(M)$  的评定：主要来源于扭矩测

量仪准确度引入的不确定度  $u(M)$ ，由 B 类方法评定  $u(M)$ 。

扭矩测量仪准确度为 0.3 级，在 10 Nm 校准点的最大允许误差为  $\pm 0.03$  Nm，

估计为均匀分布，其引入的标准不确定度为： $u(M) = \frac{\alpha}{k} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} \text{ Nm} = 0.02 \text{ Nm}$

B.3.2.3 标准器数显卡尺引入的标准不确定度  $u(D)$  的评定：主要来源于扭矩测量仪准确度引入的不确定度  $u(D)$ ，由 B 类方法评定  $u(D)$ 。

数显卡尺的最大允许误差为  $\pm 0.03$  mm，估计为均匀分布，其引入的标准不确

定度为： $u(D) = \frac{\alpha}{k} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} \text{ mm} = 0.017 \text{ mm}$

B.3.3 合成标准不确定度的评定

B.3.3.1 灵敏系数：由测量模型  $C_u = \overline{C_u}$  以及附录 A 中原位不排水强度与施加扭

矩的关系式  $C_u = \frac{xM}{\pi D^3}$  得

$$c_1 = \frac{\partial C_u}{\partial C_u} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial C_u}{\partial M} = \frac{x}{\pi D^3} \text{ (将 } x=0.857, D=50.02 \text{ mm 代入式中得 } c_2=2.18 \times 10^{-6} \text{ mm}^{-3}\text{)}$$

$$c_3 = \frac{\partial C_u}{\partial D} = -\frac{3xM}{\pi D^4} \text{ (将 } x=0.857, M=10 \text{ Nm, } D=50.02 \text{ mm 代入式中得 } c_3=-1.31$$

$\times 10^{-3} \text{ Nmm}^{-3}\text{)}$

B.3.3.2 标准不确定度汇总表，见下表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	$c_i$	$ c_i u(x_i)$ (kPa)
$u(C_u)$	测量重复性及示值分辨力	0.04 kPa	1	0.04
$u(M)$	扭矩测量仪准确度	0.02 Nm	$2.18 \times 10^{-6}$ $\text{mm}^{-3}$	0.04
$u(D)$	数显卡尺准确度	0.017 mm	$-1.31 \times 10^{-3}$ $\text{Nmm}^{-3}$	0.02

## B.3.3.3 合成标准不确定度的计算:

由于各输入量彼此独立, 互不相关  
则

$$u_c(C_u) =$$

$$\sqrt{[c_1 \cdot u(C_u)]^2 + [c_2 \cdot u(M)]^2 + [c_3 \cdot u(D)]^2} = \sqrt{0.04^2 + 0.04^2 + 0.02^2} = 0.06(\text{kPa})$$

$$\text{或表示为 } u_{cr}(C_u) = \frac{u_c(C_u)}{C_u} = \frac{0.06}{21.9} \times 100\% = 0.27\%$$

## B.3.4 扩展不确定度的评定:

取包含因子  $k=2$ , 则  $U_{rel}=k \cdot u_{cr}=0.6\%$

## B.3.5 扩展不确定度的报告与表示:

扭矩测量设备在 10 Nm 校准点时示值测量结果为:  $\overline{C_u} = 21.9 \text{ kPa}$ ,  $U_{rel}=0.6\%$ ,

$k=2$ 。

## 附录 C

## 十字板剪切试验仪校准证书内页（格式）

校准数据/结果：

一、外观检查：；附件检查：

二、校准结果：

校准项目		标称值(mm)	实测值(mm)	实测值扩展不确定度 $U$ (mm) ( $k=2$ )
十字形板头	高度			
	厚度			
	宽度			
轴杆	直径			
	长度			
扭矩测量设备	校准点 (Nm)	仪表进程示值 ( )	仪表回程示值 ( )	进程示值相对扩展不确定度 $U_{rel}$ (%) ( $k=2$ )
		直线度 $L$ ： 滞后 $H$ ：	重复性 $R$ ：	
说明	标定系数：		修正系数：	

## 附录 D

## 十字板剪切试验仪校准记录 (格式)

被校单位						记录编号					
样品名称	型号规格	生产厂家	出厂编号		溯源机构/证书编号		出厂编号		有效期至		
名称	型号	出厂编号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差							
标准器											
标准设备样品检查	校准前: <input type="checkbox"/> 正常, <input type="checkbox"/> 不正常	校准后: <input type="checkbox"/> 正常, <input type="checkbox"/> 不正常									
技术依据	JJF (闽) XXXX-XXXX	十字板剪切试验仪校准规范	环境温度: <input type="text"/> °C	相对湿度: <input type="text"/> %	地点						
一、外观检查: 表面状况: <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格, 附件: <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格。											
二、校准结果:											
十字板 形板 头	项目	标称值 (mm)	实测值(mm)						平均值 (mm)	实测值标准不确定度 $u_c$ (mm)	实测值扩展不确定度 $U$ (mm) ( $k=2$ )
			1	2	3	4					
	高度										
	厚度										
	宽度	1	2	3	4	5	6				
说明		证书/报告编号									
校准	校准日期	校准	校准	校准	校准	校准	校准	校准	校准日期		

## 十字板剪切试验仪校准记录 (格式) (续页)

记录编号										
项目	标称值 (mm)	实测值 (mm)			平均值 (mm)	实测值标准不确定 度 $u_c$ (mm)	实测值扩展不确定度 $U$ (mm) ( $k=2$ )			
		1	2	3						
轴										
杆										
扭矩测量设 备	校准点 (Nm)	仪表进程示值 ( )			仪表回程示值 ( )			进程示值相对标准 不确定度 $u_{cr}$ (%)	进程示值相对扩展不确 定度 $U_{rel}$ (%) ( $k=2$ )	
		1	2	3	平均	1	2			3
	直线度 $L$ :				重复性 $R$ :			滞后 $H$ :		
说明	修正系数:									



