

JJF(闽)1132-2023

JJF

# 福建省地方计量技术规范

JJF(闽)1132-2023

## 型砂强度试验机校准规范

Calibration Specification for Sand Strength Testing Machines

2023-07-26 发布

2023-10-26 实施

福建省市场监督管理局 发布

# 型砂强度试验机校准规范

Calibration Specification for Sand

Strength Testing Machines

JJF (闽) 1132-2023

归口单位：福建省市场监督管理局

主要起草单位：龙岩市计量所

参加起草单位：龙岩学院

福建省计量科学研究院

本规范委托福建省计量规范技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

林福财（龙岩市计量所）

杨 颖（龙岩市计量所）

郑振强（龙岩市计量所）

参加起草人：

邹锐锐（龙岩学院）

陈 玲（福建省计量科学研究所）

福建省计量规范技术委员会

## 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 抗压强度 .....	( 1 )
3.2 抗剪强度 .....	( 1 )
3.3 抗拉强度 .....	( 1 )
3.4 抗弯强度 .....	( 1 )
3.5 本规范使用的量的符号、单位与定义 .....	( 1 )
4 概述 .....	( 3 )
5 计量特性 .....	( 3 )
5.1 示值误差 .....	( 3 )
5.2 重复性 .....	( 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 校准前的准备 .....	( 4 )
7.2 截面参数和抗弯夹具支撑刀口距离的测量 .....	( 4 )
7.3 示值误差和重复性 .....	( 4 )
8 校准结果表达 .....	( 6 )
9 复校时间间隔 .....	( 7 )
附录A 型砂强度试验机校准记录(式样) .....	( 8 )
附录B 型砂强度试验机校准证书内页(式样) .....	( 10 )
附录C 型砂强度试验机示值误差测量结果不确定度评定(示例) .....	( 11 )
附录D 型砂强度试验用试样轮廓形状图和抗弯夹具支撑刀口距离示意图 .....	( 24 )



## 引 言

本规范按照 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》以及 JJF 1071-2010 《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 GB/T 2684-2009 《铸造用砂及混合料试验方法》编制而成。  
本规范为首次制定。

福建省计量规范技术委员会



# 型砂强度试验机校准规范

## 1 范围

本规范适用于型砂强度试验机 (以下简称试验机) 的校准。

## 2 引用文件

本规范引用下列文件：

GB/T 2684-2009 铸造用砂及混合料试验方法

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 术语和计量单位

### 3.1 抗压强度 compressive strength

在静态力作用下，圆柱形型 (芯) 砂试样破坏前承受的最大压应力。

### 3.2 抗剪强度 shear strength

在静态力作用下，圆柱形型 (芯) 砂试样断裂前承受的最大剪切应力。

### 3.3 抗拉强度 tensile strength

在静态力作用下，“8”字形型 (芯) 砂试样拉断前承受的最大拉应力。

### 3.4 抗弯强度 bending strength

在静态弯曲力作用下，长条形型 (芯) 砂试样破坏前的最大正应力。

### 3.5 本规范使用的量的符号、单位与定义

本规范使用的量的符号、单位与定义见表 1。

表 1 符号、单位与定义

符 号	单 位	定 义
$\bar{d}_{\text{压}}$	mm	抗压试模圆柱形内腔直径三次测量的算术平均值。
$\bar{d}_{\text{剪}}$	mm	抗剪试模圆柱形内腔直径三次测量的算术平均值。
$\bar{h}_{\text{剪}}$	mm	抗剪试模圆柱形内腔高度尺寸三次测量的算术平均值。
$\bar{b}_{\text{拉}}$	mm	抗拉试模“8”字形内腔腰部宽度尺寸三次测量的算术平均值。
$\bar{h}_{\text{拉}}$	mm	抗拉试模“8”字形内腔高度尺寸三次测量的算术平均值。
$\bar{b}_{\text{弯}}$	mm	抗弯试模长条形内腔宽度尺寸三次测量的算术平均值。
$\bar{h}_{\text{弯}}$	mm	抗弯试模长条形内腔高度尺寸三次测量的算术平均值。
$\bar{L}$	mm	抗弯夹具支撑刀口距离三次测量的算术平均值。



表 1(续)

符 号	单 位	定 义
$q_{\text{压}}$	%	试验机抗压强度显示装置的示值误差。
$P_{\text{压}}$	MPa	抗压强度的真值。
$P_{\text{压}i}$	MPa	被校试验机抗压强度显示装置的示值。
$\bar{P}_{\text{压}}$	MPa	三次测量中,同一测量点抗压强度的真值 $P_{\text{压}}$ 的算术平均值。
$F_{\text{压}}$	N	抗压强度校准时,标准测力仪的示值。
$\bar{F}_{\text{压}}$	N	抗压强度校准时,三次测量中同一测量点标准测力仪示值 $F_{\text{压}}$ 的算术平均值。
$A_{\text{压}}$	mm <sup>2</sup>	抗压横截面的面积。
$R_{\text{压}}$	%	试验机抗压强度显示装置的示值重复性。
$P_{\text{压} \max}$	MPa	同一测量点,抗压强度真值 $P_{\text{压}}$ 的最大值。
$P_{\text{压} \min}$	MPa	同一测量点,抗压强度真值 $P_{\text{压}}$ 的最小值。
$q_{\text{剪}}$	%	试验机抗剪强度显示装置的示值误差。
$P_{\text{剪}}$	MPa	抗剪强度的真值。
$P_{\text{剪}i}$	MPa	被校试验机抗剪强度显示装置的示值。
$\bar{P}_{\text{剪}}$	MPa	三次测量中,同一测量点抗剪强度的真值 $P_{\text{剪}}$ 的算术平均值。
$F_{\text{剪}}$	N	抗剪强度校准时,标准测力仪的示值。
$\bar{F}_{\text{剪}}$	N	抗剪强度校准时,三次测量中同一测量点标准测力仪示值 $F_{\text{剪}}$ 的算术平均值。
$A_{\text{剪}}$	mm <sup>2</sup>	抗剪横截面的面积。
$R_{\text{剪}}$	%	试验机抗剪强度显示装置的示值重复性。
$P_{\text{剪} \max}$	MPa	同一测量点,抗剪强度真值 $P_{\text{剪}}$ 的最大值。
$P_{\text{剪} \min}$	MPa	同一测量点,抗剪强度真值 $P_{\text{剪}}$ 的最小值。
$q_{\text{拉}}$	%	试验机抗拉强度显示装置的示值误差。
$P_{\text{拉}}$	MPa	抗拉强度的真值。
$P_{\text{拉}i}$	MPa	被校试验机抗拉强度显示装置的示值。
$\bar{P}_{\text{拉}}$	MPa	三次测量中,同一测量点抗拉强度的真值 $P_{\text{拉}}$ 的算术平均值。
$F_{\text{拉}}$	N	抗拉强度校准时,标准测力仪的示值。
$\bar{F}_{\text{拉}}$	N	抗拉强度校准时,三次测量中同一测量点标准测力仪示值 $F_{\text{拉}}$ 的算术平均值。
$A_{\text{拉}}$	mm <sup>2</sup>	抗拉横截面的面积。
$R_{\text{拉}}$	%	试验机抗拉强度显示装置的示值重复性。
$P_{\text{拉} \max}$	MPa	同一测量点,抗拉强度真值 $P_{\text{拉}}$ 的最大值。
$P_{\text{拉} \min}$	MPa	同一测量点,抗拉强度真值 $P_{\text{拉}}$ 的最小值。
$q_{\text{弯}}$	%	试验机抗弯强度显示装置的示值误差。
$P_{\text{弯}}$	MPa	抗弯强度的真值。
$P_{\text{弯}i}$	MPa	被校试验机抗弯强度显示装置的示值。
$\bar{P}_{\text{弯}}$	MPa	三次测量中,同一测量点抗弯强度的真值 $P_{\text{弯}}$ 的算术平均值。
$\bar{M}$	Nmm	抗弯强度校准时,三次测量中同一测量点弯矩的真值的算术平均值。
$W$	mm <sup>3</sup>	抗弯截面系数。
$F_{\text{弯}}$	N	抗弯强度校准时,标准测力仪的示值。
$\bar{F}_{\text{弯}}$	N	抗弯强度校准时,三次测量中同一测量点标准测力仪示值 $F_{\text{弯}}$ 的算术平均值。
$R_{\text{弯}}$	%	试验机抗弯强度显示装置的示值重复性。
$P_{\text{弯} \max}$	MPa	同一测量点,抗弯强度真值 $P_{\text{弯}}$ 的最大值。
$P_{\text{弯} \min}$	MPa	同一测量点,抗弯强度真值 $P_{\text{弯}}$ 的最小值。

## 4 概述

试验机是一种用于测定砂型铸造中型 (芯) 砂试样抗压、抗剪、抗拉、抗弯强度的试验设备。试验机是通过机械或液压传动的持续加载方式，对试样进行加载至破裂，测量试样的强度。

试验机主要由机体、试样夹具、测量机构（力传感器等感压元件）、驱动机构、显示装置等组成（如图 1 所示）。

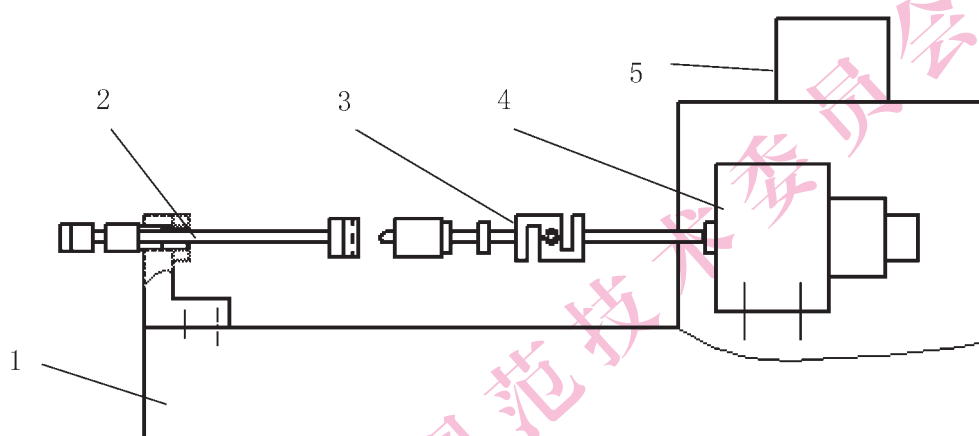


图1 试验机结构示意图

1、机体；2、试样夹具；3、测量机构；4、驱动机构；5 显示装置

## 5 计量特性

### 5.1 示值误差

试验机强度示值的最大允许误差： $\pm 5.0\%$ 。

### 5.2 重复性

试验机强度示值的重复性：不超过 5.0%。

注：以上指标要求不用于合格性判断，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 温度：(10~35)℃。

6.1.2 湿度：不大于 80% RH。

### 6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 2。

表 2 测量标准及其他设备

测量标准器具及设备	技术指标
标准测力仪	0.3 级
数显卡尺	MPE: ±0.03mm

注：

- 1、依据校准工况与应用工况基本一致的原则，根据实际情况，选择合适测量范围的标准器具；
- 2、也可采用满足测量不确定度要求的其他测量设备进行校准。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准前的准备

显示装置采用模拟指示时，其空载指针应紧靠止销，分辨力应能至少估读至 1/2 分度值；显示装置采用数字指示时，其分辨力应至少为 0.001 MPa。

试验机应清晰标明其名称、型号规格、出厂编号、制造厂名等。不应有影响性能的机械损伤，能均匀平稳地施加载荷，满足条件下开展校准。

### 7.2 截面参数和抗弯夹具支撑刀口距离的测量

7.2.1 抗压截面参数  $\bar{d}_{\text{压}}$ 。用数显卡尺的内量爪测量抗压试模圆柱形内腔（见附录 D 图 1）直径，在圆周上均匀分布的三个位置测量，取三次测量值的平均值作为测量结果  $\bar{d}_{\text{压}}$ 。

7.2.2 抗剪截面参数  $\bar{d}_{\text{剪}}$ 、 $\bar{h}_{\text{剪}}$ 。用数显卡尺的内量爪测量抗剪试模圆柱形内腔（见附录 D 图 1）直径，在圆周上均匀分布的三个位置测量，取三次测量值的平均值作为测量结果  $\bar{d}_{\text{剪}}$ ；用数显卡尺的深度测量杆测量其内腔高度，在圆周上均匀分布的三个位置测量，取三次测量值的平均值作为测量结果  $\bar{h}_{\text{剪}}$ 。

7.2.3 抗拉截面参数  $\bar{b}_{\text{拉}}$ 、 $\bar{h}_{\text{拉}}$ 。用数显卡尺的内量爪测量抗拉试模“8”字形内腔腰部（见附录 D 图 2）宽度尺寸，重复测量三次，取三次测量值的平均值作为测量结果  $\bar{b}_{\text{拉}}$ ；用数显卡尺的深度测量杆测量其内腔高度，在“8”字形一周上均匀分布的三个位置测量，取三次测量值的平均值作为测量结果  $\bar{h}_{\text{拉}}$ 。

7.2.4 抗弯截面参数  $\bar{b}_{\text{弯}}$ 、 $\bar{h}_{\text{弯}}$ 和抗弯夹具支撑刀口距离  $\bar{L}$ 。用数显卡尺的内量爪测量抗弯试模长条形内腔（见附录 D 图 3）宽度尺寸，在长条方向上均匀分布的三个位置测量，取三次测量值的平均值作为测量结果  $\bar{b}_{\text{弯}}$ ；用数显卡尺的深度测量杆测量其内腔高度，在长条形一周上均匀分布的三个位置测量，取三次测量值的平均值作为测量结果  $\bar{h}_{\text{弯}}$ ；用数显卡尺对抗弯夹具支撑刀口的距离（见附录 D 图 4）进行测量，前、中、后各测量一次，取三次测量值的平均值作为抗弯夹具支撑刀口距离的测量结果  $\bar{L}$ 。

### 7.3 示值误差和重复性

#### 7.3.1 抗压强度

a) 选择试验机的抗压试验类型，在抗压测量范围内，从 20%~100% 中尽可能均匀选取至少 5 个校准点（显示装置采用模拟指示的校准点应在标有数字的分度线上），校准点也可根据送校单位要求选取。

b) 将标准测力仪放置在试验机试验区域内，使标准测力仪受力轴线与试验机加载轴线同轴。以试验机的抗压显示装置为准在标准测力仪上读数，并按递增方式逐点施加相应的载荷，直至最大值，重复测量 3 次。

示值误差按式 (1) 计算：

$$q_{\text{压}} = \left( \frac{P_{\text{压}i} - \bar{P}_{\text{压}}}{\bar{P}_{\text{压}}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{其中, } \bar{P}_{\text{压}} = \frac{\bar{F}_{\text{压}}}{A_{\text{压}}} = \frac{4\bar{F}_{\text{压}}}{\pi d_{\text{压}}^2}。$$

重复性按式 (2) 计算：

$$R_{\text{压}} = \left( \frac{P_{\text{压} \max} - P_{\text{压} \min}}{\bar{P}_{\text{压}}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

### 7.3.2 抗剪强度

a) 选择试验机的抗剪试验类型，在抗剪测量范围内，从 20%~100% 中尽可能均匀选取至少 5 个校准点（显示装置采用模拟指示的校准点应在标有数字的分度线上），校准点也可根据送校单位要求选取。

b) 将标准测力仪放置在试验机试验区域内，使标准测力仪受力轴线与试验机加载轴线同轴。以试验机的抗剪显示装置为准在标准测力仪上读数，并按递增方式逐点施加相应的载荷，直至最大值，重复测量 3 次。

示值误差按式 (3) 计算：

$$q_{\text{剪}} = \left( \frac{P_{\text{剪}i} - \bar{P}_{\text{剪}}}{\bar{P}_{\text{剪}}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{其中, } \bar{P}_{\text{剪}} = \frac{\bar{F}_{\text{剪}}}{A_{\text{剪}}} = \frac{\bar{F}_{\text{剪}}}{d_{\text{剪}} h_{\text{剪}}}。$$

重复性按式 (4) 计算：

$$R_{\text{剪}} = \left( \frac{P_{\text{剪} \max} - P_{\text{剪} \min}}{\bar{P}_{\text{剪}}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

### 7.3.3 抗拉强度

a) 选择试验机的抗拉试验类型，在抗拉测量范围内，从 20%~100% 中尽可能均匀选取至少 5 个校准点（显示装置采用模拟指示的校准点应在标有数字的分度线上），校准点也可根据送校单位要求选取。

b) 将标准测力仪放置在试验机试验区域内,使标准测力仪受力轴线与试验机加载轴线同轴。以试验机的抗拉显示装置为准在标准测力仪上读数,并按递增方式逐点施加相应的载荷,直至最大值,重复测量3次。

示值误差按式(5)计算:

$$q_{\text{拉}} = \left( \frac{P_{\text{拉}i} - \bar{P}_{\text{拉}}}{\bar{P}_{\text{拉}}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

其中,  $\bar{P}_{\text{拉}} = \frac{\bar{F}_{\text{拉}}}{A_{\text{拉}}} = \frac{\bar{F}_{\text{拉}}}{b_{\text{拉}} h_{\text{拉}}}$ 。

重复性按式(6)计算:

$$R_{\text{拉}} = \left( \frac{P_{\text{拉} \max} - P_{\text{拉} \min}}{\bar{P}_{\text{拉}}} \right) \times 100\% \quad (6)$$

### 7.3.4 抗弯强度

a) 选择试验机的抗弯试验类型,在抗弯测量范围内,从20%~100%中尽可能均匀选取至少5个校准点(显示装置采用模拟指示的校准点应在标有数字的分度线上),校准点也可根据送校单位要求选取。

b) 将标准测力仪放置在试验机试验区域内,使标准测力仪受力轴线与试验机加载轴线同轴。以试验机的抗弯显示装置为准在标准测力仪上读数,并按递增方式逐点施加相应的载荷,直至最大值,重复测量3次。

示值误差按式(7)计算:

$$q_{\text{弯}} = \left( \frac{P_{\text{弯}i} - \bar{P}_{\text{弯}}}{\bar{P}_{\text{弯}}} \right) \times 100\% \quad (7)$$

其中,参照GB/T 14235.2-2018中3.5.1有三点弯曲强度计算公式:  $\bar{P}_{\text{弯}} = \frac{1.5\bar{F}_{\text{弯}}L}{b_{\text{弯}}h_{\text{弯}}^2}$ 。

重复性按式(8)计算:

$$R_{\text{弯}} = \left( \frac{P_{\text{弯} \max} - P_{\text{弯} \min}}{\bar{P}_{\text{弯}}} \right) \times 100\% \quad (8)$$

## 8 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:

- 标题:“校准证书”;
- 实验室名称和地址;
- 进行校准的地点;
- 证书的唯一性标识(如编号),每页及总页数的标识;
- 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相关时, 应说明被校对象的接收日期;
- 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

由于复校时间间隔的长短是由试验机的使用情况、使用者、试验机本身质量等诸多因素所决定的, 因此, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

建议复校时间间隔为一年。

## 附录A

## 型砂强度试验机校准记录 (式样)

记录编号:

第 1 页 共 2 页

委托单位				委托单位地址				
物 品	名称			型号/规格		出厂编号		
	制造厂							
标 准 器 具	名称	型号规格	技术特征	出厂编号	溯源机构/证书编号	溯源有效期至		
校准依据				校准地点				
环境条件		温度:                      ℃		相对湿度:                      %				
1、抗压强度								
圆柱形试模内腔直径(mm)								
1		2		3		$\bar{d}_{压}$		
校准点 (MPa)	标准测力仪示值(N)				抗压强度 (MPa)	重复性 (%)	示值误差 (%)	示值误差 扩展不确定度 $U$ , $k=2$ 。
	1	2	3	均值				
2、抗剪强度								
圆柱形试模内腔直径/高度尺寸(mm)								
1		2		3		均 值		
直径:		直径:		直径:		$\bar{d}_{剪}$ :		
高度:		高度:		高度:		$\bar{h}_{剪}$ :		
校准点 (MPa)	标准测力仪示值(N)				抗剪强度 (MPa)	重复性 (%)	示值误差 (%)	示值误差 扩展不确定度 $U$ , $k=2$ 。
	1	2	3	均 值				

3、抗拉强度								
“8”字形试模内腔腰部宽度/高度尺寸(mm)								
1		2		3		均 值		
宽度:		宽度:		宽度:		$\bar{b}_{拉}$ :		
高度:		高度:		高度:		$\bar{h}_{拉}$ :		
校准点 (MPa)	标准测力仪示值(N)				抗拉强度 (MPa)	重复性 (%)	示值误差 (%)	示值误差 扩展不确定度 $U$ , $k=2$ 。
	1	2	3	均 值				
4、抗弯强度								
长条形试模内腔宽度/高度尺寸(mm)					抗弯夹具支撑刀口距离 (mm)			
1	2	3	均 值		1	2	3	$\bar{L}$
宽度:	宽度:	宽度:	$\bar{b}_{弯}$ :					
高度:	高度:	高度:	$\bar{h}_{弯}$ :					
校准点 (MPa)	标准测力仪示值(N)				抗弯强度 (MPa)	重复性 (%)	示值误差 (%)	示值误差 扩展不确定度 $U$ , $k=2$ 。
	1	2	3	均 值				
说 明								
校 准 员			校 准 日 期					
核 验 员			证 书 编 号					



## 附录 B

型砂强度试验机校准证书内页 (式样)

试验类型	校准点(MPa)	强度(MPa)	重复性 (%)	示值误差 (%)	示值误差扩展 不确定度 $U(\%), k=2$
抗压					
抗剪					
抗拉					
抗弯					

## 附录 C

## 型砂强度试验机示值误差测量结果不确定度评定 (示例)

## C.1 概述

C.1.1 环境条件：温度：(10~35) °C；相对湿度：≤80%。

C.1.2 测量标准：标准测力仪 (0~500) N, 0.3 级；数显卡尺 (0~150) mm, MPE: ±0.03 mm。

C.1.3 校准对象：型砂强度试验机。

C.1.4 测量过程：示值误差校准前，用数显卡尺对抗压、抗剪、抗拉和抗弯的截面参数和抗弯夹具支撑刀口距离分别进行测量 3 次，取其平均值作为测量结果。

将标准测力仪放置在试验机试验区域内，使标准测力仪受力轴线与试验机加载轴线同轴。以试验机的各试验类型的显示装置为准在标准测力仪上读数，并按递增方式逐点施加相应的载荷，直至最大值，重复测量 3 次。各点 3 次标准测力仪读数的算术平均值作为该点的试验力测量结果。

通过公式计算出抗压、抗剪、抗拉和抗弯强度真值三次测量的算术平均值，与试验机强度示值进行直接比较。

C.1.5 评定结果的使用：在符合上述条件下的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定结果。

## C.2 型砂强度试验机抗压强度示值误差的测量结果的不确定度评定：

## C.2.1 测量模型

$$q_{\text{压}} = \left( \frac{P_{\text{压}i} - \bar{P}_{\text{压}}}{\bar{P}_{\text{压}}} \right) \times 100\%。其中，\bar{P}_{\text{压}} = \frac{4\bar{F}_{\text{压}}}{\pi d_{\text{压}}^2}。$$

## C.2.2 标准不确定度分量的评定

C.2.2.1 输入量  $P_{\text{压}i}$  的标准不确定度  $u(P_{\text{压}i})$  的评定

C.2.2.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(P_{\text{压}i})$ ，可以采用 A 类方法进行评定。选取一台型砂强度试验机，用标准测力仪在 0.02 MPa 校准点，对其进行 10 次测量并计算，得到试验力测量结果列如下：

序号(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
测量值(N)	38.35	38.56	38.92	38.39	39.31	39.06	38.85	38.39	38.76	39.23	38.78

校准前对抗压截面参数测量后有  $\bar{d}_{\text{压}}=49.87$  mm。计算可得抗压强度测量结果列如

下:

序号(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
抗压强度 (MPa)	0.0196	0.0198	0.0199	0.0197	0.0201	0.0200	0.0199	0.0197	0.0199	0.0201	0.0199

单次实验结果的标准偏差:

$$s_{\text{压}} = 0.0002 \text{ MPa}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次, 取其算术平均值为测量结果。则:

$$u_1(P_{\text{压}i}) = \frac{s_{\text{压}}}{\sqrt{3}} = 0.0001 \text{ MPa}$$

C.2.2.1.2 由试验机抗压显示装置分辨力引入的标准不确定度  $u_2(P_{\text{压}i})$ , 可以按 B 类方法评定。试验机抗压显示装置的分度值为 0.001 MPa, 按 1/2 分度值估读, 则其分辨力为 0.0005 MPa。其半宽为 0.00025 MPa, 估计为均匀分布, 其引入的标准不确定度:

$$u_2(P_{\text{压}i}) = \frac{0.00025 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} = 0.00014 \text{ MPa}$$

C.2.2.1.3 因  $u_2(P_{\text{压}i}) > u_1(P_{\text{压}i})$ , 故输入量  $P_{\text{压}i}$  的标准不确定度:

$$u(P_{\text{压}i}) = u_2(P_{\text{压}i}) = 0.00014 \text{ MPa}$$

C.2.2.2 输入量  $\bar{P}_{\text{压}}$  的标准不确定度  $u(\bar{P}_{\text{压}})$  的评定

C.2.2.2.1  $\bar{P}_{\text{压}}$  的测量模型

$$\bar{P}_{\text{压}} = \frac{4\bar{F}_{\text{压}}}{\pi\bar{d}_{\text{压}}^2}$$

C.2.2.2.2 由标准测力仪的准确度引入的标准不确定度  $u(\bar{F}_{\text{压}})$ , 可以按 B 类方法评定。标准测力仪的准确度为 0.3 级, 其误差  $38.78 \text{ N} \times 0.3\% = 0.12 \text{ N}$ 。估计为均匀分布, 其引入的标准不确定度为:

$$u(\bar{F}_{\text{压}}) = \frac{0.12 \text{ N}}{\sqrt{3}} = 0.07 \text{ N}$$

C.2.2.2.3 由抗压截面参数  $\bar{d}_{\text{压}}$  的测量引入的标准不确定度  $u(\bar{d}_{\text{压}})$ 。

1) 数显卡尺的准确度引入的标准不确定度  $u_1(\bar{d}_{\text{压}})$ , 可以按 B 类方法评定。其最大允许误差为  $\pm 0.03 \text{ mm}$ , 半宽为 0.03 mm。估计为均匀分布, 其引入的标准不确定度为

$$u_1(\bar{d}_{\text{压}}) = \frac{0.03 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.017 \text{ mm}$$

2) 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_2(\bar{d}_{\text{压}})$ , 可以按 A 类方法评定。抗压截面参数  $\bar{d}_{\text{压}}$  三次测量的结果列为: 49.80 mm、49.92 mm、49.90 mm, 测量结果  $\bar{d}_{\text{压}} = 49.87 \text{ mm}$ 。极差法计算单次实验结果的标准偏差:

$$s_y = \frac{0.12 \text{ mm}}{1.69} = 0.07 \text{ mm}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其算术平均值为测量结果。则：

$$u_2(\bar{d}_{\text{压}}) = \frac{s_y}{\sqrt{3}} = 0.04 \text{ mm}$$

3)  $\bar{d}_{\text{压}}$  的标准不确定度评定

$$u(\bar{d}_{\text{压}}) = \sqrt{u_1^2(\bar{d}_{\text{压}}) + u_2^2(\bar{d}_{\text{压}})} = 0.04 \text{ mm}$$

C.2.2.2.4  $\bar{P}_{\text{压}}$  的标准不确定度评定

由测量模型  $\bar{P}_{\text{压}} = \frac{4\bar{F}_{\text{压}}}{\pi\bar{d}_{\text{压}}^2}$  得：

$$c_{y1} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{压}}}{\partial \bar{F}_{\text{压}}} = \frac{4}{\pi\bar{d}_{\text{压}}^2}, \quad c_{y2} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{压}}}{\partial \bar{d}_{\text{压}}} = \frac{-8\bar{F}_{\text{压}}}{\pi\bar{d}_{\text{压}}^3}$$

由于  $\bar{F}_{\text{压}}$  与  $\bar{d}_{\text{压}}$  不相关，前述有  $\bar{F}_{\text{压}}=38.78 \text{ N}$ ， $\bar{d}_{\text{压}}=49.87 \text{ mm}$ 。故  $\bar{P}_{\text{压}}$  的标准不确定度：

$$u(\bar{P}_{\text{压}}) = \sqrt{[c_{y1}u(\bar{F}_{\text{压}})]^2 + [c_{y2}u(\bar{d}_{\text{压}})]^2} = 0.0001 \text{ MPa}$$

C.2.3 合成标准不确定度的评定

C.2.3.1 灵敏系数

由测量模型： $q_{\text{压}} = \left(\frac{P_{\text{压}i} - \bar{P}_{\text{压}}}{\bar{P}_{\text{压}}}\right) \times 100\%$  得：

$$c_{\text{压}1} = \frac{\partial q_{\text{压}}}{\partial P_{\text{压}i}} = \frac{1}{\bar{P}_{\text{压}}}, \quad c_{\text{压}2} = \frac{\partial q_{\text{压}}}{\partial \bar{P}_{\text{压}}} = -\frac{P_{\text{压}i}}{\bar{P}_{\text{压}}^2}$$

C.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	$c_i$	$ c_i u(X_i)$
$u(P_{\text{压}i})$	测量重复性	0.0002 MPa	$\frac{1}{\bar{P}_{\text{压}}}$	$\frac{0.0002 \text{ MPa}}{\bar{P}_{\text{压}}}$
	试验机抗压分辨率			
$u(\bar{P}_{\text{压}})$	标准测力仪准确度	0.0001 MPa	$-\frac{P_{\text{压}i}}{\bar{P}_{\text{压}}^2}$	$0.0001 \text{ MPa} \times \frac{P_{\text{压}i}}{\bar{P}_{\text{压}}^2}$
	抗压截面参数 $\bar{d}_{\text{压}}$ 的测量			

C.2.3.3 合成标准不确定度的计算：由于  $P_{\text{压}i}$  和  $\bar{P}_{\text{压}}$  彼此独立，互不相关，前述有  $P_{\text{压}i}=0.02 \text{ MPa}$ ， $\bar{P}_{\text{压}}=0.0199 \text{ MPa}$  则：

$$u_c(q_{\text{压}}) = \sqrt{[c_{\text{压}1}u(P_{\text{压}i})]^2 + [c_{\text{压}2}u(\bar{P}_{\text{压}})]^2} = 1.1\%$$

C.2.4 扩展不确定度的评定：

取包含因子  $k=2$ ，则  $U=k \times u_c(q_{\text{压}}) = 2.2\%$ 。

C.2.5 扩展不确定度的报告与表示

型砂强度试验机抗压强度在 0.02MPa 校准点时示值误差测量结果为： $q_{\text{压}}=0.5\%$ ， $U=2.2\%$ ， $k=2$ 。

### C.3 型砂强度试验机抗剪强度示值误差的测量结果的不确定度评定：

#### C.3.1 测量模型

$$q_{\text{剪}} = \left( \frac{P_{\text{剪}i} - \bar{P}_{\text{剪}}}{\bar{P}_{\text{剪}}} \right) \times 100\%。其中，\bar{P}_{\text{剪}} = \frac{\bar{F}_{\text{剪}}}{d_{\text{剪}}\bar{h}_{\text{剪}}}。$$

#### C.3.2 标准不确定度分量的评定

##### C.3.2.1 输入量 $P_{\text{剪}i}$ 的标准不确定度 $u(P_{\text{剪}i})$ 的评定

C.3.2.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(P_{\text{剪}i})$ ，可以采用 A 类方法进行评定。选取一台型砂强度试验机，用标准测力仪在 0.02 MPa 校准点，对其进行 10 次测量，得到试验力测量结果列如下：

序号(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
测量值(N)	49.11	49.30	49.69	49.16	49.60	49.81	50.06	50.13	49.51	49.05	49.54

校准前对抗剪截面参数测量后有  $\bar{d}_{\text{剪}}=49.87$  mm， $\bar{h}_{\text{剪}}=50.11$  mm。计算可得抗剪强度测量结果列如下：

序号(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
抗剪强度(MPa)	0.0197	0.0197	0.0199	0.0197	0.0198	0.0199	0.0200	0.0201	0.0198	0.0196	0.0198

单次实验结果的标准偏差：

$$s_{\text{剪}} = 0.0002 \text{ MPa}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其算术平均值为测量结果。则：

$$u_1(P_{\text{剪}i}) = \frac{s_{\text{剪}}}{\sqrt{3}} = 0.0001 \text{ MPa}$$

C.3.2.1.2 由试验机抗剪显示装置分辨力引入的标准不确定度  $u_2(P_{\text{剪}i})$ ，可以按 B 类方法评定。试验机抗剪显示装置的分度值为 0.001 MPa，按 1/2 分度值估读，则其分辨力为 0.0005 MPa。其半宽为 0.00025 MPa，估计为均匀分布，其引入的标准不确定度：

$$u_2(P_{\text{剪}i}) = \frac{0.00025 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} = 0.00014 \text{ MPa}$$

C.3.2.1.3 因  $u_2(P_{\text{剪}i}) > u_1(P_{\text{剪}i})$ ，故输入量  $P_{\text{剪}i}$  的标准不确定度：

$$u(P_{\text{剪}i}) = u_2(P_{\text{剪}i}) = 0.00014 \text{ MPa}$$

##### C.3.2.2 输入量 $\bar{P}_{\text{剪}}$ 的标准不确定度 $u(\bar{P}_{\text{剪}})$ 的评定

###### C.3.2.2.1 $\bar{P}_{\text{剪}}$ 的测量模型

$$\bar{P}_{\text{剪}} = \frac{\bar{F}_{\text{剪}}}{\bar{d}_{\text{剪}} \bar{h}_{\text{剪}}}$$

C.3.2.2.2 由标准测力仪的准确度引入的标准不确定度  $u(\bar{F}_{\text{剪}})$ ，可以按 B 类方法评定。标准测力仪的准确度为 0.3 级，其误差  $49.54 \text{ N} \times 0.3\% = 0.15 \text{ N}$ 。估计为均匀分布，其引入的标准不确定度为：

$$u(\bar{F}_{\text{剪}}) = \frac{0.15 \text{ N}}{\sqrt{3}} = 0.009 \text{ N}$$

C.3.2.2.3 由抗剪截面参数  $\bar{d}_{\text{剪}}$ 、 $\bar{h}_{\text{剪}}$  的测量引入的标准不确定度。

1) 数显卡尺的准确度引入的标准不确定度  $u_1(\bar{d}_{\text{剪}})$ ，可以按 B 类方法评定。其最大允许误差为  $\pm 0.03 \text{ mm}$ ，半宽为  $0.03 \text{ mm}$ 。估计为均匀分布，其引入的标准不确定度为：

$$u_1(\bar{d}_{\text{剪}}) = \frac{0.03 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.02 \text{ mm}$$

2) 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_2(\bar{d}_{\text{剪}})$ ，可以按 A 类方法评定。抗剪截面参数  $\bar{d}_{\text{剪}}$  三次测量的结果列为：49.80 mm、49.92 mm、49.90 mm，测量结果  $\bar{d}_{\text{剪}} = 49.87 \text{ mm}$ 。极差法计算单次实验结果的标准偏差：

$$s_j = \frac{0.12 \text{ mm}}{1.69} = 0.07 \text{ mm}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其算术平均值为测量结果。则：

$$u_2(\bar{d}_{\text{剪}}) = \frac{s_j}{\sqrt{3}} = 0.04 \text{ mm}$$

3)  $\bar{d}_{\text{剪}}$  的标准不确定度评定：

$$u(\bar{d}_{\text{剪}}) = \sqrt{u_1^2(\bar{d}_{\text{剪}}) + u_2^2(\bar{d}_{\text{剪}})} = 0.04 \text{ mm}$$

4) 数显卡尺的准确度引入的标准不确定度  $u_1(\bar{h}_{\text{剪}})$ ，由 1) 有  $u_1(\bar{h}_{\text{剪}}) = 0.02 \text{ mm}$ 。

5) 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_2(\bar{h}_{\text{剪}})$ ，可以按 A 类方法评定。抗剪截面参数  $\bar{h}_{\text{剪}}$  三次测量的结果列为：50.26 mm、50.10 mm、49.96 mm，测量结果  $\bar{h}_{\text{剪}} = 50.11 \text{ mm}$ 。极差法计算单次实验结果的标准偏差：

$$s_{j1} = \frac{0.30 \text{ mm}}{1.69} = 0.18 \text{ mm}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其算术平均值为测量结果。则：

$$u_2(\bar{h}_{\text{剪}}) = \frac{s_{j1}}{\sqrt{3}} = 0.10 \text{ mm}$$

6)  $\bar{h}_{\text{剪}}$  的标准不确定度评定

$$u(\bar{h}_{\text{剪}}) = \sqrt{u_1^2(\bar{h}_{\text{剪}}) + u_2^2(\bar{h}_{\text{剪}})} = 0.10 \text{ mm}$$

C.3.2.2.4  $\bar{P}_{\text{剪}}$  的标准不确定度评定。

由测量模型  $\bar{P}_{\text{剪}} = \frac{\bar{F}_{\text{剪}}}{\bar{d}_{\text{剪}} \bar{h}_{\text{剪}}}$  得：

$$c_{j1} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{剪}}}{\partial \bar{F}_{\text{剪}}} = \frac{1}{\bar{d}_{\text{剪}} \bar{h}_{\text{剪}}}, \quad c_{j2} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{剪}}}{\partial \bar{d}_{\text{剪}}} = \frac{-\bar{F}_{\text{剪}}}{\bar{d}_{\text{剪}}^2 \bar{h}_{\text{剪}}}, \quad c_{j3} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{剪}}}{\partial \bar{h}_{\text{剪}}} = \frac{-\bar{F}_{\text{剪}}}{\bar{d}_{\text{剪}} \bar{h}_{\text{剪}}^2}。$$

由于  $\bar{F}_{\text{剪}}$  分别与  $\bar{d}_{\text{剪}}$ 、 $\bar{h}_{\text{剪}}$  彼此独立，互不相关。但  $\bar{d}_{\text{剪}}$  和  $\bar{h}_{\text{剪}}$  测量过程有一定的相关性，将其视为正相关。同时，前述有  $\bar{F}_{\text{剪}}=49.54$  N， $\bar{d}_{\text{剪}}=49.87$  mm， $\bar{h}_{\text{剪}}=50.11$  mm。故  $\bar{P}_{\text{剪}}$  的标准不确定度：

$$u(\bar{P}_{\text{剪}}) = \sqrt{[c_{j1}u(\bar{F}_{\text{剪}})]^2 + [c_{j2}u(\bar{d}_{\text{剪}}) + c_{j3}u(\bar{h}_{\text{剪}})]^2} = 0.0001 \text{ MPa}$$

C.3.3 合成标准不确定度的评定

C.3.3.1 灵敏系数：由测量模型： $q_{\text{剪}} = \left(\frac{P_{\text{剪}i} - \bar{P}_{\text{剪}}}{\bar{P}_{\text{剪}}}\right) \times 100\%$  得：

$$c_{\text{剪}1} = \frac{\partial q_{\text{剪}}}{\partial P_{\text{剪}i}} = \frac{1}{\bar{P}_{\text{剪}}}, \quad c_{\text{剪}2} = \frac{\partial q_{\text{剪}}}{\partial \bar{P}_{\text{剪}}} = -\frac{P_{\text{剪}i}}{\bar{P}_{\text{剪}}^2}。$$

C.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)$
$u(P_{\text{剪}i})$	测量重复性	0.0002 MPa	$\frac{1}{\bar{P}_{\text{剪}}}$	$\frac{0.0002 \text{ MPa}}{\bar{P}_{\text{剪}}}$
	试验机抗剪分辨率			
$u(\bar{P}_{\text{剪}})$	标准测力仪准确度	0.0001 MPa	$-\frac{P_{\text{剪}i}}{\bar{P}_{\text{剪}}^2}$	$0.0001 \text{ MPa} \times \frac{P_{\text{剪}i}}{\bar{P}_{\text{剪}}^2}$
	抗剪截面参数 $\bar{d}_{\text{剪}}$ 的测量			
	抗剪截面参数 $\bar{h}_{\text{剪}}$ 的测量			

C.3.3.3 合成标准不确定度的计算：由于  $P_{\text{剪}i}$  和  $\bar{P}_{\text{剪}}$  彼此独立，互不相关，前述有  $P_{\text{剪}i}=0.02$  MPa， $\bar{P}_{\text{剪}}=0.0198$  MPa 则：

$$u_c(q_{\text{剪}}) = \sqrt{[c_{\text{剪}1}u(P_{\text{剪}i})]^2 + [c_{\text{剪}2}u(\bar{P}_{\text{剪}})]^2} = 1.1\%$$

C.3.4 扩展不确定度的评定：

取包含因子  $k=2$ ，则  $U=k \times u_c(q_{\text{剪}}) = 2.2\%$ 。

C.3.5 扩展不确定度的报告与表示

型砂强度试验机抗剪强度在 0.02 MPa 校准点时示值误差测量结果为： $q_{\text{剪}}=1.0\%$ ， $U=2.2\%$ ， $k=2$ 。

C.4 型砂强度试验机抗拉强度示值误差的测量结果的不确定度评定：

C.4.1 测量模型

$$q_{\text{拉}} = \left( \frac{P_{\text{拉}i} - \bar{P}_{\text{拉}}}{\bar{P}_{\text{拉}}} \right) \times 100\%。其中, \bar{P}_{\text{拉}} = \frac{\bar{F}_{\text{拉}}}{\bar{b}_{\text{拉}} \bar{h}_{\text{拉}}}。$$

#### C.4.2 标准不确定度分量的评定

##### C.4.2.1 输入量 $P_{\text{拉}i}$ 的标准不确定度 $u(P_{\text{拉}i})$ 的评定

C.4.2.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(P_{\text{拉}i})$ ，可以采用 A 类方法进行评定。选取一台型砂强度试验机，用标准测力仪在 0.1 MPa 校准点，对其进行 10 次测量，得到试验力测量结果列如下：

序号(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
测量值(N)	49.69	48.86	49.27	49.71	50.06	49.36	49.86	49.56	49.01	50.16	49.55

校准前对抗拉截面参数测量后有  $\bar{b}_{\text{拉}}=22.37$  mm,  $\bar{h}_{\text{拉}}=22.36$  mm。计算可得抗拉强度测量结果列如下：

序号(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
抗拉强度(MPa)	0.098	0.096	0.097	0.098	0.099	0.097	0.098	0.098	0.097	0.099	0.098

单次实验结果的标准偏差：

$$s_{\text{拉}} = 0.001 \text{ MPa}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其算术平均值为测量结果。则：

$$u_1(P_{\text{拉}i}) = \frac{s_{\text{拉}}}{\sqrt{3}} = 0.001 \text{ MPa}$$

C.4.2.1.2 由试验机抗拉显示装置分辨力引入的标准不确定度  $u_2(P_{\text{拉}i})$ ，可以按 B 类方法评定。试验机抗拉显示装置的分度值为 0.01 MPa，按 1/2 分度值估读，则其分辨力为 0.005 MPa。其半宽为 0.0025 MPa，估计为均匀分布，其引入的标准不确定度：

$$u_2(P_{\text{拉}i}) = \frac{0.0025 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} = 0.001 \text{ MPa}$$

C.4.2.1.3 因  $u_2(P_{\text{拉}i}) = u_1(P_{\text{拉}i})$ ，故输入量  $P_{\text{拉}i}$  的标准不确定度：

$$u(P_{\text{拉}i}) = 0.001 \text{ MPa}$$

##### C.4.2.2 输入量 $\bar{P}_{\text{拉}}$ 的标准不确定度 $u(\bar{P}_{\text{拉}})$ 的评定

###### C.4.2.2.1 $\bar{P}_{\text{拉}}$ 的测量模型

$$\bar{P}_{\text{拉}} = \frac{\bar{F}_{\text{拉}}}{\bar{b}_{\text{拉}} \bar{h}_{\text{拉}}}$$

C.4.2.2.2 由标准测力仪的准确度引入的标准不确定度  $u(\bar{F}_{\text{拉}})$ ，可以按 B 类方法评定。标准测力仪的准确度为 0.3 级，其误差  $49.55 \text{ N} \times 0.3\% = 0.15 \text{ N}$ 。估计为均匀分布，其引入的标准不确定度为：



$$u(\bar{F}_{\text{拉}}) = \frac{0.15 \text{ N}}{\sqrt{3}} = 0.09 \text{ N}$$

C.4.2.2.3 由抗拉截面参数  $\bar{b}_{\text{拉}}$ 、 $\bar{h}_{\text{拉}}$  的测量引入的标准不确定度。

1) 数显卡尺的准确度引入的标准不确定度  $u_1(\bar{b}_{\text{拉}})$ ，可以按 B 类方法评定。其最大允许误差为  $\pm 0.03 \text{ mm}$ ，半宽为  $0.03 \text{ mm}$ 。估计为均匀分布，其引入的标准不确定度为：

$$u_1(\bar{b}_{\text{拉}}) = \frac{0.03 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.02 \text{ mm}$$

2) 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_2(\bar{b}_{\text{拉}})$ ，可以按 A 类方法评定。抗拉截面参数  $\bar{b}_{\text{拉}}$  三次测量的结果列为：22.40 mm、22.38 mm、22.34 mm，测量结果  $\bar{b}_{\text{拉}} = 22.37 \text{ mm}$ 。极差法计算单次实验结果的标准偏差：

$$s_l = \frac{0.06 \text{ mm}}{1.69} = 0.04 \text{ mm}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其算术平均值为测量结果。则：

$$u_2(\bar{b}_{\text{拉}}) = \frac{s_l}{\sqrt{3}} = 0.02 \text{ mm}$$

3)  $\bar{b}_{\text{拉}}$  的标准不确定度评定。

$$u(\bar{b}_{\text{拉}}) = \sqrt{u_1^2(\bar{b}_{\text{拉}}) + u_2^2(\bar{b}_{\text{拉}})} = 0.03 \text{ mm}$$

4) 数显卡尺的准确度引入的标准不确定度  $u_1(\bar{h}_{\text{拉}})$ ，由 1) 有  $u_1(\bar{h}_{\text{拉}}) = 0.02 \text{ mm}$ 。

5) 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_2(\bar{h}_{\text{拉}})$ ，可以按 A 类方法评定。抗拉截面参数  $\bar{h}_{\text{拉}}$  三次测量的结果列为：22.54 mm、22.80 mm、22.70 mm，测量结果  $\bar{h}_{\text{拉}} = 22.68 \text{ mm}$ 。极差法计算单次实验结果的标准偏差：

$$s_{l1} = \frac{0.26 \text{ mm}}{1.69} = 0.15 \text{ mm}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其算术平均值为测量结果。则：

$$u_2(\bar{h}_{\text{拉}}) = \frac{s_{l1}}{\sqrt{3}} = 0.09 \text{ mm}$$

6)  $\bar{h}_{\text{拉}}$  的标准不确定度评定。

$$u(\bar{h}_{\text{拉}}) = \sqrt{u_1^2(\bar{h}_{\text{拉}}) + u_2^2(\bar{h}_{\text{拉}})} = 0.09 \text{ mm}$$

C.4.2.2.4  $\bar{P}_{\text{拉}}$  的标准不确定度评定。

由测量模型  $\bar{P}_{\text{拉}} = \frac{\bar{F}_{\text{拉}}}{\bar{b}_{\text{拉}} \bar{h}_{\text{拉}}}$  得：

$$c_{11} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{拉}}}{\partial \bar{F}_{\text{拉}}} = \frac{1}{\bar{b}_{\text{拉}} \bar{h}_{\text{拉}}}, \quad c_{12} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{拉}}}{\partial \bar{b}_{\text{拉}}} = \frac{-\bar{F}_{\text{拉}}}{\bar{b}_{\text{拉}}^2 \bar{h}_{\text{拉}}}, \quad c_{13} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{拉}}}{\partial \bar{h}_{\text{拉}}} = \frac{-\bar{F}_{\text{拉}}}{\bar{b}_{\text{拉}} \bar{h}_{\text{拉}}^2}$$

由于  $\bar{F}_{拉}$  分别与  $\bar{b}_{拉}$ 、 $\bar{h}_{拉}$  彼此独立，互不相关。但  $\bar{b}_{拉}$  和  $\bar{h}_{拉}$  测量过程有一定相关性，将其视为正相关。同时，前述有  $\bar{F}_{拉}=49.55$  N， $\bar{b}_{拉}=22.37$  mm， $\bar{h}_{拉}=22.68$  mm。故  $\bar{P}_{拉}$  的标准不确定度：

$$u(\bar{P}_{拉}) = \sqrt{[c_{11}u(\bar{F}_{拉})]^2 + [c_{12}u(\bar{b}_{拉}) + c_{13}u(\bar{h}_{拉})]^2} = 0.0005 \text{ MPa}$$

### C.4.3 合成标准不确定度的评定

#### C.4.3.1 灵敏系数：

由测量模型： $q_{拉} = \left( \frac{P_{拉i} - \bar{P}_{拉}}{\bar{P}_{拉}} \right) \times 100\%$ 得：

$$c_{拉1} = \frac{\partial q_{拉}}{\partial P_{拉i}} = \frac{1}{\bar{P}_{拉}}, \quad c_{拉2} = \frac{\partial q_{拉}}{\partial \bar{P}_{拉}} = -\frac{P_{拉i}}{\bar{P}_{拉}^2}$$

#### C.4.3.2 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)$
$u(P_{拉i})$	测量重复性	0.001 MPa	$\frac{1}{\bar{P}_{拉}}$	$\frac{0.001 \text{ MPa}}{\bar{P}_{拉}}$
	试验机抗拉分辨率			
$u(\bar{P}_{拉})$	标准测力仪准确度	0.0005 MPa	$-\frac{P_{拉i}}{\bar{P}_{拉}^2}$	$0.0005 \text{ MPa} \times \frac{P_{拉i}}{\bar{P}_{拉}}$
	抗拉截面参数 $\bar{b}_{拉}$ 的测量			
	抗拉截面参数 $\bar{h}_{拉}$ 的测量			

C.4.3.3 合成标准不确定度的计算：由于  $P_{拉i}$  和  $\bar{P}_{拉}$  彼此独立，互不相关，前述有  $P_{拉i}=0.1$  MPa， $\bar{P}_{拉}=0.098$  MPa 则：

$$u_c(q_{拉}) = \sqrt{[c_{拉1}u(P_{拉i})]^2 + [c_{拉2}u(\bar{P}_{拉})]^2} = 1.1\%$$

### C.4.4 扩展不确定度的评定：

取包含因子  $k=2$ ，则  $U=k \times u_c(q_{拉})=2.2\%$ 。

### C.4.5 扩展不确定度的报告与表示

型砂强度试验机抗拉强度在 0.1 MPa 校准点时示值误差测量结果为： $q_{拉}=2.0\%$ ， $U=2.2\%$ ， $k=2$ 。

## C.5 型砂强度试验机抗弯强度示值误差的测量结果的不确定度评定：

### C.5.1 测量模型

$$q_{弯} = \left( \frac{P_{弯i} - \bar{P}_{弯}}{\bar{P}_{弯}} \right) \times 100\%。其中，\bar{P}_{弯} = \frac{1.5 \bar{F}_{弯} \bar{L}}{\bar{b}_{弯} \bar{h}_{弯}^2}。$$

## C.5.2 标准不确定度分量的评定

C.5.2.1 输入量  $P_{\text{弯}i}$  的标准不确定度  $u(P_{\text{弯}i})$  的评定

C.5.2.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(P_{\text{弯}i})$ ，可以采用 A 类方法进行评定。选取一台型砂强度试验机，用标准测力仪在 1 MPa 校准点，对其进行 10 次测量，得到试验力测量结果列如下：

序号(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
测量值(N)	48.68	49.27	49.69	50.31	49.56	49.06	50.16	49.56	49.01	48.73	49.40

校准前对抗弯夹具支撑刀口距离和截面参数测量后有  $\bar{L}=149.19$  mm,  $\bar{b}_{\text{弯}}=22.15$  mm,  $\bar{h}_{\text{弯}}=22.50$  mm。计算可得抗弯强度测量结果列如下：

序号(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
抗弯强度(MPa)	0.97	0.98	0.99	1.00	0.99	0.98	1.00	0.99	0.98	0.97	0.98

单次实验结果的标准偏差：

$$s_{\text{弯}}=0.01 \text{ MPa}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其算术平均值为测量结果。则：

$$u_1(P_{\text{弯}i}) = \frac{s_{\text{弯}}}{\sqrt{3}} = 0.01 \text{ MPa}$$

C.5.2.1.2 由试验机抗弯显示装置分辨力引入的标准不确定度  $u_2(P_{\text{弯}i})$ ，可以按 B 类方法评定。试验机抗弯显示装置的分度值为 0.1 MPa，按 1/2 分度值估读，则其分辨力为 0.05 MPa。其半宽 0.025 MPa，估计为均匀分布，其引入的标准不确定度：

$$u_2(P_{\text{弯}i}) = \frac{0.025 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} = 0.01 \text{ MPa}$$

C.5.2.1.3 因  $u_2(P_{\text{弯}i}) = u_1(P_{\text{弯}i})$ ，故输入量  $P_{\text{弯}i}$  的标准不确定度：

$$u(P_{\text{弯}i}) = 0.01 \text{ MPa}$$

C.5.2.2 输入量  $\bar{P}_{\text{弯}}$  的标准不确定度  $u(\bar{P}_{\text{弯}})$  的评定C.5.2.2.1  $\bar{P}_{\text{弯}}$  的测量模型

$$\bar{P}_{\text{弯}} = \frac{1.5\bar{F}_{\text{弯}}\bar{L}}{\bar{b}_{\text{弯}}\bar{h}_{\text{弯}}^2}$$

C.5.2.2.2 由标准测力仪的准确度引入的标准不确定度  $u(\bar{F}_{\text{弯}})$ ，可以按 B 类方法评定。标准测力仪的准确度为 0.3 级，其误差  $49.40 \text{ N} \times 0.3\% = 0.15 \text{ N}$ 。估计为均匀分布，其引入的标准不确定度为：

$$u(\bar{F}_{\text{弯}}) = \frac{0.15 \text{ N}}{\sqrt{3}} = 0.09 \text{ N}$$

C.5.2.2.3 由抗弯截面参数  $\bar{b}_{\text{弯}}$ 、 $\bar{h}_{\text{弯}}$  和抗弯夹具支撑刀口距离  $\bar{L}$  的测量引入的标准不确定度。

1) 数显卡尺的准确度引入的标准不确定度  $u_1(\bar{b}_{\text{弯}})$ ，可以按 B 类方法评定。其最大允许误差为  $\pm 0.03$  mm，半宽为 0.03 mm。估计为均匀分布，其引入的标准不确定度为：

$$u_1(\bar{b}_{\text{弯}}) = \frac{0.03 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.02 \text{ mm}$$

2) 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_2(\bar{b}_{\text{弯}})$ ，可以按 A 类方法评定。抗弯截面参数  $\bar{b}_{\text{弯}}$  三次测量的结果列为：22.10 mm、22.22 mm、22.12 mm，测量结果  $\bar{b}_{\text{弯}} = 22.15$  mm。极差法计算单次实验结果的标准偏差：

$$s_w(\bar{b}_{\text{弯}}) = \frac{0.12 \text{ mm}}{1.69} = 0.07 \text{ mm}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其算术平均值为测量结果。则：

$$u_2(\bar{b}_{\text{弯}}) = \frac{s_w}{\sqrt{3}} = 0.04 \text{ mm}$$

3)  $\bar{b}_{\text{弯}}$  的标准不确定度评定

$$u(\bar{b}_{\text{弯}}) = \sqrt{u_1^2(\bar{b}_{\text{弯}}) + u_2^2(\bar{b}_{\text{弯}})} = 0.04 \text{ mm}$$

4) 数显卡尺的准确度引入的标准不确定度  $u_1(\bar{h}_{\text{弯}})$ ，由 1) 有  $u_1(\bar{h}_{\text{弯}}) = 0.02$  mm。

5) 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_2(\bar{h}_{\text{弯}})$ ，可以按 A 类方法评定。抗弯截面参数  $\bar{h}_{\text{弯}}$  三次测量的结果列为：22.60 mm、22.40 mm、22.51 mm，测量结果  $\bar{h}_{\text{弯}} = 22.50$  mm。极差法计算单次实验结果的标准偏差：

$$s_{w1} = \frac{0.20 \text{ mm}}{1.69} = 0.12 \text{ mm}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其算术平均值为测量结果。则：

$$u_2(\bar{h}_{\text{弯}}) = \frac{s_{w1}}{\sqrt{3}} = 0.07 \text{ mm}$$

6)  $\bar{h}_{\text{弯}}$  的标准不确定度评定

$$u(\bar{h}_{\text{弯}}) = \sqrt{u_1^2(\bar{h}_{\text{弯}}) + u_2^2(\bar{h}_{\text{弯}})} = 0.07 \text{ mm}$$

7) 数显卡尺的准确度引入的标准不确定度  $u_1(\bar{L})$ ，由 1) 有  $u_1(\bar{L}) = 0.02$  mm。

8) 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_2(\bar{L})$ ，可以按 A 类方法评定。三次测量的结果列为：149.12 mm、149.20 mm、149.25 mm，测量结果  $\bar{L} = 149.19$  mm。极差法计算单次实验结果的标准偏差：

$$s_{w2} = \frac{0.13 \text{ mm}}{1.69} = 0.08 \text{ mm}$$

实际测量中是在重复性条件下测量 3 次，取其算术平均值为测量结果。则：

$$u_2(\bar{L}) = \frac{s_{u2}}{\sqrt{3}} = 0.05 \text{ mm}$$

9)  $\bar{L}$  的标准不确定度评定

$$u(\bar{L}) = \sqrt{u_1^2(\bar{L}) + u_2^2(\bar{L})} = 0.05 \text{ mm}$$

C.5.2.2.4  $\bar{P}_{\text{弯}}$  的标准不确定度评定。

由测量模型  $\bar{P}_{\text{弯}} = \frac{1.5\bar{F}_{\text{弯}}\bar{L}}{\bar{b}_{\text{弯}}\bar{h}_{\text{弯}}}$  得：

$$c_{w1} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{弯}}}{\partial \bar{F}_{\text{弯}}} = \frac{1.5\bar{L}}{\bar{b}_{\text{弯}}\bar{h}_{\text{弯}}}, \quad c_{w2} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{弯}}}{\partial \bar{b}_{\text{弯}}} = \frac{-1.5\bar{F}_{\text{弯}}\bar{L}}{\bar{b}_{\text{弯}}^2\bar{h}_{\text{弯}}},$$

$$c_{w3} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{弯}}}{\partial \bar{h}_{\text{弯}}} = \frac{-3\bar{F}_{\text{弯}}\bar{L}}{\bar{b}_{\text{弯}}\bar{h}_{\text{弯}}^2}, \quad c_{w4} = \frac{\partial \bar{P}_{\text{弯}}}{\partial \bar{L}} = \frac{1.5\bar{F}_{\text{弯}}}{\bar{b}_{\text{弯}}\bar{h}_{\text{弯}}}$$

由于  $\bar{F}_{\text{弯}}$  分别与  $\bar{b}_{\text{弯}}$ 、 $\bar{h}_{\text{弯}}$ 、 $\bar{L}$  彼此独立，互不相关。但  $\bar{b}_{\text{弯}}$ 、 $\bar{h}_{\text{弯}}$  和  $\bar{L}$  测量过程有一定的相关性，将其视为正相关。同时，前述有  $\bar{F}_{\text{弯}}=49.40 \text{ N}$ ， $\bar{b}_{\text{弯}}=22.15 \text{ mm}$ ， $\bar{h}_{\text{弯}}=22.50 \text{ mm}$ ， $\bar{L}=149.19 \text{ mm}$ 。故  $\bar{P}_{\text{弯}}$  的标准不确定度：

$$u(\bar{P}_{\text{弯}}) = \sqrt{[c_{w1}u(\bar{F}_{\text{弯}})]^2 + [c_{w2}u(\bar{b}_{\text{弯}}) + c_{w3}u(\bar{h}_{\text{弯}}) + c_{w4}u(\bar{L})]^2} = 0.008 \text{ MPa}$$

C.5.3 合成标准不确定度的评定

C.5.3.1 灵敏系数

由测量模型： $q_{\text{弯}} = \left(\frac{P_{\text{弯}i} - \bar{P}_{\text{弯}}}{\bar{P}_{\text{弯}}}\right) \times 100\%$  得：

$$c_{\text{弯}1} = \frac{\partial q_{\text{弯}}}{\partial P_{\text{弯}i}} = \frac{1}{P_{\text{弯}}}, \quad c_{\text{弯}2} = \frac{\partial q_{\text{弯}}}{\partial \bar{P}_{\text{弯}}} = -\frac{P_{\text{弯}i}}{\bar{P}_{\text{弯}}^2}$$

C.5.3.2 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)$
$u(P_{\text{弯}i})$	测量重复性	0.01 MPa	$\frac{1}{P_{\text{弯}}}$	$\frac{0.01 \text{ MPa}}{P_{\text{弯}}}$
	试验机抗弯分辨力			
$u(\bar{P}_{\text{弯}})$	标准测力仪准确度	0.008 MPa	$-\frac{P_{\text{弯}i}}{\bar{P}_{\text{弯}}^2}$	$0.008 \text{ MPa} \times \frac{P_{\text{弯}i}}{\bar{P}_{\text{弯}}^2}$
	抗弯截面参数 $\bar{b}_{\text{弯}}$ 的测量			
	抗弯截面参数 $\bar{h}_{\text{弯}}$ 的测量			
	夹具支撑刀口距离测量			

C.5.3.3 合成标准不确定度的计算：由于  $P_{\text{弯}i}$  和  $\bar{P}_{\text{弯}}$  彼此独立，互不相关，前述有  $P_{\text{弯}i}=1 \text{ MPa}$ ， $\bar{P}_{\text{弯}}=0.98 \text{ MPa}$  则：

$$u_c(q_{\text{弯}}) = \sqrt{[c_{\text{弯}1}u(P_{\text{弯}i})]^2 + [c_{\text{弯}2}u(\bar{P}_{\text{弯}})]^2} = 1.3\%$$

C.5.4 扩展不确定度的评定：

取包含因子  $k=2$ ，则  $U=k \times u_c(q_{\text{弯}}) = 2.6\%$ 。

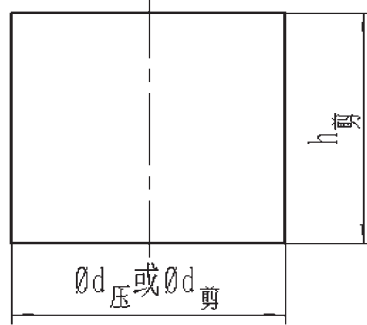
C.5.5 扩展不确定度的报告与表示

型砂强度试验机抗弯强度在 1 MPa 校准点时示值误差测量结果为： $q_{\text{弯}}=2.0\%$ ， $U=2.6\%$ ， $k=2$ 。

福建省计量规范技术委员会

附录 D

型砂强度试验用试样轮廓形状图和抗弯夹具支撑刀口距离示意图



图D1 抗压、抗剪强度试验用试样圆柱形轮廓

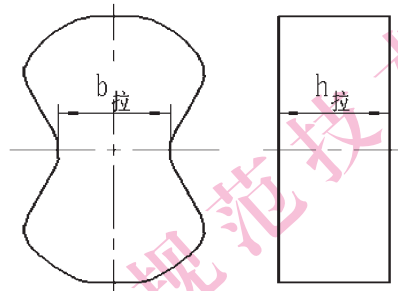


图 D2 抗拉试验用试样“8”字形轮廓

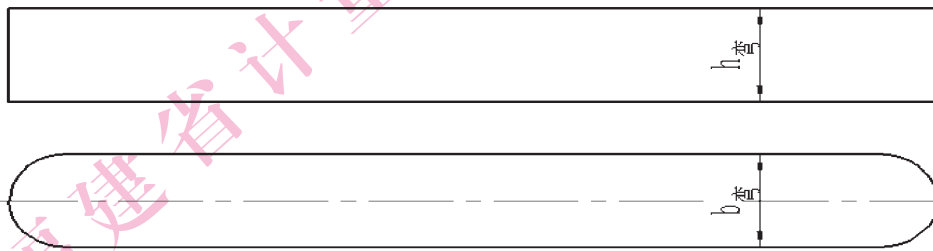


图 D3 抗弯试验用试样长条形轮廓

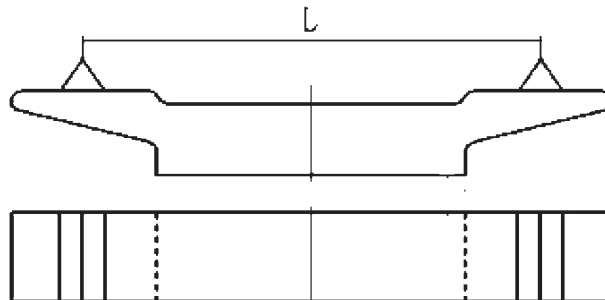


图 D4 抗弯夹具支撑刀口距离示意图