



中华人民共和国工业和信息化部
机械计量技术规范

JJFZ (机械) XXXX-XXXX

残余应力检测仪器稳定性
校准规范

Calibration Specification for Stability of Residual Stress Testing Instruments

202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

残余应力检测仪器稳定性
校准规范

Calibration Specification for Stability of
Residual Stress Testing Instruments

JJFZ(机械)xxxx-xxxx

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：北京理工大学

参加起草单位：北京科技大学

中国兵器科学研究院宁波分院

本规范委托全国机械汽车专业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

徐春广（北京理工大学）

赵文政（北京理工大学）

裴 宁（北京科技大学）

杨光粲（北京理工大学）

肖定国（北京理工大学）

参加起草人：

马永江（北京理工大学）

陈常宏（北京理工大学）

尹 鹏（中国兵器科学研究院宁波分院）

张文君（中国兵器科学研究院宁波分院）

杨双旭（北京理工大学）

李涪诚（北京理工大学）

韩宇辰（北京理工大学）

常金鹏（北京理工大学）

目 录

引 言.....I

1 范围.....1

2 引用文件.....1

3 术语和计量单位.....1

4 概述.....1

5 计量特性.....2

6 校准条件.....2

6.1 环境条件.....2

6.2 校准用器具.....2

7 校准项目和校准方法.....3

7.1 30 天内应力检测测量极差值.....3

7.2 30 天内应力测量平均值的误差.....3

8 校准结果.....4

9 复校时间间隔.....4

附录 A 测量结果的不确定度评定分析示例.....5

附录 B 校准报告.....6

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》和 JJF 1094-2002《测量仪特性评定》等基础性系列规范进行编写。

本规范参考了 GB/T 228.1-2021《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》、GB/T 32073-2015《无损检测 残余应力的超声临界折射纵波检测方法》的部分内容进行编写。

本规范为首次发布。

残余应力检测仪器稳定性校准规范

1 范围

本文件适用于按超声法进行残余应力检测仪稳定性的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 228.1-2021《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》

GB/T 11343-2008《无损检测 接触式超声斜入射检测方法》

GB/T 32073-2015《无损检测 残余应力超声临界折射纵波检测方法》

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 测量时间间隔 time interval of measurements

将仪器稳定性测量全程时间 T ，分为若干时间段。

4 概述

超声残余应力检测仪主要构成包括控制器、超声收发卡、超声换能器、声楔块。

应力检测原理可参见 GB/T 32073，采用声弹性理论来检测固体结构内部残余应力的基本原理是材料内残余应力影响超声声波传播速度，利用这个原理，用零应力构件材料的声速作为基准，可根据超声波声速的变化检测构件材料内部残余应力。

$$\sigma = K \cdot \Delta t \quad (4.1)$$

式中： K 为被测材料的应力系数，单位 MPa/ns； Δt 为零应力声时和 σ 应力时的声时变化量； σ 为计算得出的应力值。

所检测的残余应力是表层下材料内部三维空间区域内沿声波传播方向的残余应力的平均值或体残余应力或宏观残余应力，检测区域大小取决于发射/接收换能器的尺寸、频率和间距，如图 1 所示，检测区域长度（ L ）为临界折射纵波的激励和接收的声程（通常为 5mm~400mm），宽度（ W ）为换能器声束宽度（通常为 5mm~30mm），深度（ D ）由换能器频率决定。

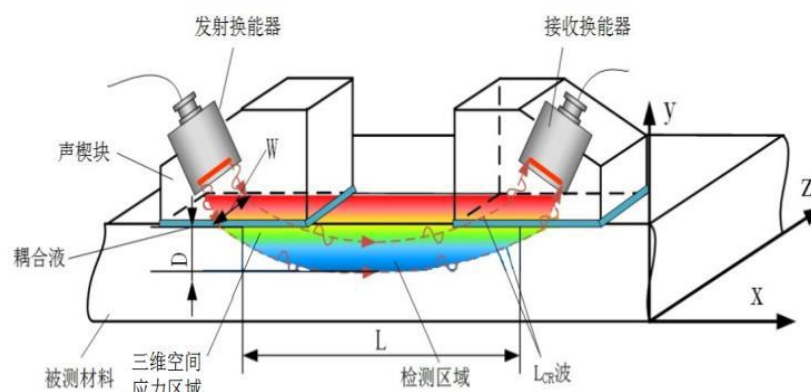


图1 超声临界折射纵波收发原理及残余应力检测区域

5 计量特性

5.1 30 天内应力测量极差值 $R \leq 10\text{MPa}$;

5.2 30 天内应力测量平均值的误差 $\Delta\sigma \leq \text{MPE} \pm 5\text{MPa}$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $(20 \sim 25)^\circ\text{C}$, 在校准之前 2h 将标准试样置于实验室, 测试中的温度波动不大于 $\pm 1^\circ\text{C}$;

6.1.2 相对湿度: $< 85\%$;

6.1.3 校准时应无影响校准结果的其他干扰。

6.2 校准用器具

6.2.1 电子万能试验机

6.2.1.1 拉伸空间: 大于 650mm;

6.2.1.2 拉伸负荷: 大于 20kN;

6.2.1.3 试验力准确度: 优于 1.0 级;

6.2.2 标准试样

6.2.2.1 材料

符合 GB/T 32073 要求。

6.2.2.2 形状和尺寸

形状如图 3 所示, 具体尺寸可参考 GB/T 32073。

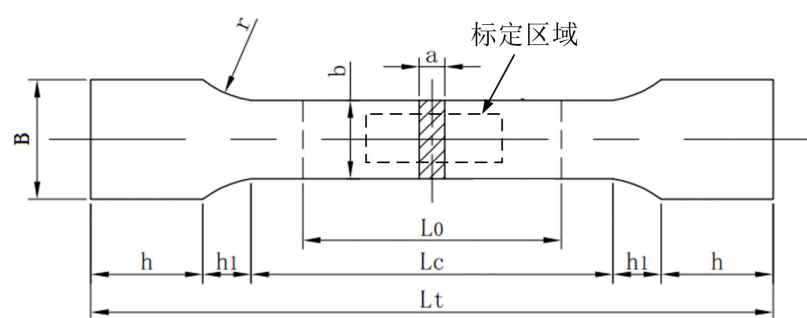


图2 校准拉伸试样

7 校准项目和校准方法

7.1 30 天内应力检测测量极差值

按 GB/T 228.1 规定的方法，室温环境下，在被校准仪器的测量范围内，利用电子万能试验机对标准试样进行拉伸试验，如图 3 所示。使用电子万能试验机对标准试样产生特定应力值 μ_0 （低于试样屈服强度）作为参考值。在 30 天内均匀测量 5-6 次（m），每次测试数据不低于 10 个（n），记录应力数据（ σ ）。

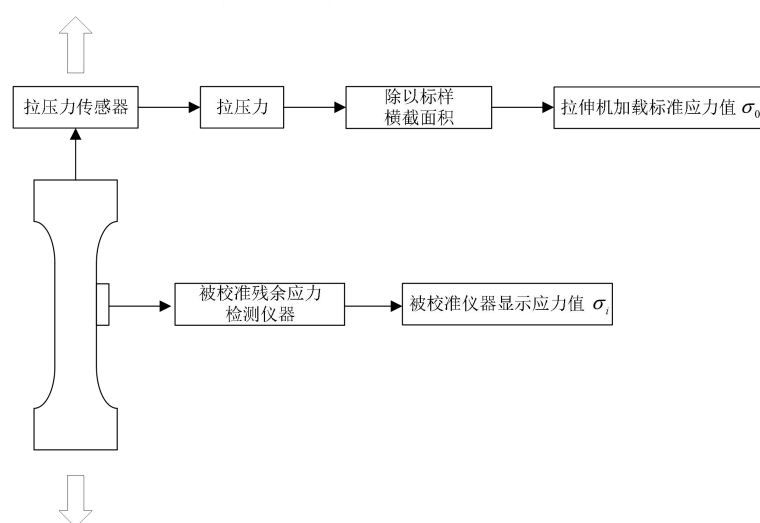


图3 残余应力检测仪器校准原理示意图

被校准检测仪器 30 天内应力检测极差值为：

$$R = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (7.1)$$

7.2 30 天内应力测量平均值的误差

被校准检测仪器 30 天内总测量平均值为：

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n \sigma_{ik}}{m \times n} \quad (7.2)$$

被校准检测仪器 30 天内应力测量平均值的误差，即：

$$\Delta\sigma = \max\left(\left|\bar{\sigma} - \mu_0\right|\right) \quad (7.3)$$

8 校准结果

校准证书至少应包含以下信息：

- a) 被评价仪器型号、编号；
- b) 试验样品、试验场所和试验日期所需的全部资料；
- c) 环境温度、湿度；
- d) 引用标准文件号；
- e) 稳定性评价结果
- f) 测定中发现的异常现象；
- g) 对结果可能已产生影响的本部分中未作规定的各种操作或任选的操作。

测量不确定度的评定方法见附录 A，校准报告格式见附录 B。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素决定的，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。

附录 A 测量结果的不确定度评定分析示例

A.1 测量不确定度来源分析

按本规范校准得到的残余应力超声检测仪稳定性校准测量不确定度来源主要包括：力传感器不确定度和测量器具不确定度。

应力检测计算模型：

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A} = \frac{F_i}{b \times T} \quad (\text{A.1})$$

A.2 相对测量不确定度数学模型

$$u_r = \frac{d(\sigma_i)}{\sigma_i} = \sqrt{\left(\frac{d(F_i)}{F_i}\right)^2 + \left(\frac{d(A)}{A}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{d(F_i)}{F_i}\right)^2 + \left(\frac{d(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{d(T)}{T}\right)^2} \quad (\text{A.2})$$

A.2.1 力传感器不确定度分量 u_F

由力传感器的校准证书，力 F 的相对测量不确定度 $u_{rF} = 2/1000$ ；

A.2.2 测量器具不确定度分量 u_L

由测量器具的校准证书，测量示值误差 0.03mm，按均匀分布考虑，试样边长的测量不确定度 u_L ：

$$u_L = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.01732\text{mm} \quad (\text{A.3})$$

应力理论值计算相对不确定度：

$$\begin{aligned} u_r &= \frac{d(\sigma_i)}{\sigma_i} = \sqrt{(u_{rF})^2 + \left(\frac{u_L}{b}\right)^2 + \left(\frac{u_L}{T}\right)^2} \\ &= \sqrt{(0.002)^2 + \left(\frac{0.01732}{20}\right)^2 + \left(\frac{0.01732}{5}\right)^2} \\ &= 0.407\% \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

A.3 扩展相对测量不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，可求得扩展相对不确定度 U_r 为：

$$U_r = 2u_r = 2 \times 0.407\% = 0.814\% \quad (\text{A.5})$$

附录 B 校准报告

(规范性附录)

校准报告

超声应力检测仪稳定性校准报告见表 A。

表 A 超声应力检测仪稳定性校准报告

校准单位		校准时间	____年__月__日			
仪器/型号		出厂编号				
校准人员						
环境温度（℃）		环境相对湿度（%）				
试样材料及其状态						
应力系数	序号	应力系数			应力系数平均值	
	1					
	2					
	3					
校准结果	测试时间		测试数据			
	应力检测极差值					
	应力检测平均值			给定值		误差值