

湖北省地方计量技术规范

JJF (鄂) 151—2025

金属材料微裂纹非线性超声检测仪 校准规范

Calibration Specification for Nonlinear Ultrasonic Testing

Instrument for Microcracks in Metal Materials

2025-03-02 发布

2025-06-01 实施

湖北省市场监督管理局 发布

金属材料微裂纹非线性超声 检测仪校准规范

Calibration Specification for Nonlinear
Ultrasonic Testing Instrument For
Microcracks in Metal Materials

JJF(鄂)151—2025

归口单位：湖北省市场监督管理局

主要起草单位：湖北特种设备检验检测研究院

参加起草单位：武汉工程大学

武汉中科创新科技股份有限公司

本规范委托湖北特种设备检验检测研究院负责解释

本规范主要起草人：

杨文睿（湖北特种设备检验检测研究院）

陈汉新（武汉工程大学）

张倬权（湖北特种设备检验检测研究院）

吕 程（湖北特种设备检验检测研究院）

参加起草人：

徐 义（湖北特种设备检验检测研究院）

高彩霞（湖北特种设备检验检测研究院）

吴同津（湖北特种设备检验检测研究院）

汪致远（湖北特种设备检验检测研究院）

胡 冲（湖北特种设备检验检测研究院）

李昌胜（湖北特种设备检验检测研究院）

李群科（湖北特种设备检验检测研究院）

曾 莉（武汉工程大学）

韩志雄（武汉中科创新科技股份有限公司）

目 录

引 言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
3.1 非线性超声	(1)
3.2 微裂纹	(1)
3.3 缺陷深度距离	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 微裂纹识别力	(2)
5.2 缺陷深度距离误差	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 校准用仪器设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(4)
7.2 校准前的准备	(4)
7.3 校准方法	(4)
8 校准结果表达	(4)
8.1 校准记录	(4)
8.2 校准证书	(5)
8.3 校准结果的测量不确定	(5)
9 复校时间间隔	(5)
附录 A 校准记录参考格式	(6)
附录 B 校准证书内页参考格式及内容	(7)
附录 C 深度位置误差测量不确定度评定示例	(9)

引 言

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》等共同构成支撑校准规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

金属材料微裂纹非线性超声检测仪校准规范

1 范围

本规范适用于金属材料微裂纹非线性超声检测仪的校准,其他原理类似的检测设备可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

GB/T 12604.1 无损检测术语超声检测

SN/T 5496—2023 金属材料疲劳特性的评价-非线性超声法

NB/T 47013 承压设备无损检测

凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本规范。

3 术语

3.1 非线性超声 Nonlinear ultrasound

利用在超声波作用下的金属构件或材料微观结构所导致的非线性响应,在信号时域表征为波形畸变,在信号频谱上表现为产生的额外频率。产生的根本原因是裂纹、界面和不均匀性遇到有限的相互作用振幅超声波从而引起的介质的不连续性。

3.2 微裂纹 microcracks

特指难以被常规超声检测方法检测出的细小裂纹,裂纹宽度小于等于 0.1mm。

3.3 缺陷深度距离 Defect depth distance

指检测或发现到的缺陷在垂直于超声波传播方向上的深度大小或距离。

4 概述

金属材料微裂纹非线性超声检测仪一般由主机和探头组成,其中主机又分为SNAP信号激励系统及信号处理组件、分析平台等。由SNAP系统激发出一个或者多个高能量的脉冲信号,根据高能量的脉冲信号个数调整信号处理组件实现换能器激励与接收功

能的选择。换能器激发超声波于试样缺陷处振动，接收换能器探测到缺陷非线性效应响应信号，由分析平台分析判定是否存在缺陷与缺陷位置及尺寸。工作原理见图1。

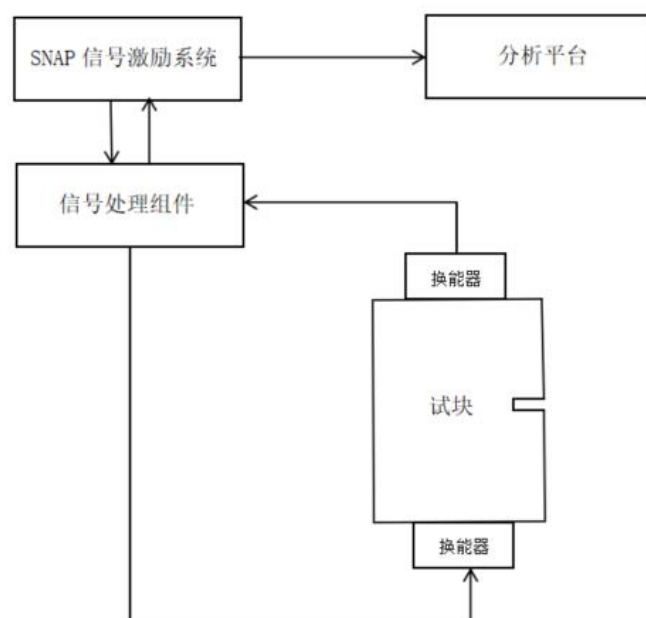


图1 工作原理图

5 计量特性

5.1 微裂纹识别力

微裂纹识别力一般不大于 0.1mm。

5.2 缺陷深度距离误差

缺陷深度距离最大允许误差一般不超过±10%。

注：以上指标不用于合格判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

- a) 温度：（10~30）℃；
- b) 相对湿度：（30~80）%。
- c) 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

如果校准用仪器设备规定了正常使用的环境条件，应符合其规定。

6.2 校准用仪器设备

6.2.1 校准试块

校准试块共计 3 块, 1 块对比试块和 2 块试验试块, 其试块的材料应与送检设备的检测对象材质一致。每个试块拥有不同位置、尺寸的规则通孔或凹槽以模拟缺陷使用。

校准试块材料为金属, 表面应足够平整, 表面粗糙度小于 $1.6 \mu\text{m}$, 所有的人工缺陷均为圆形通孔或凹槽, 试块的几何尺寸与人工缺陷的位置及几何尺寸应如下图所示。应保证试块中人工缺陷的加工精度。

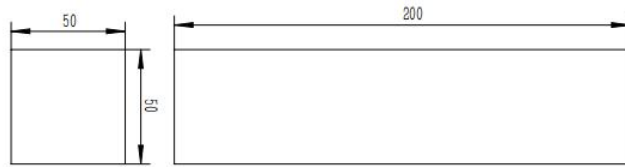


图 2 对比试块

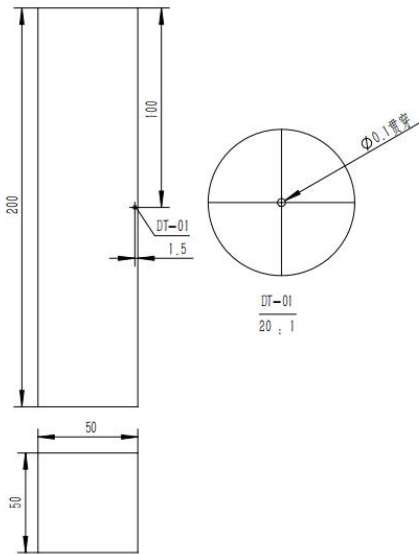


图 3 试验试块 1

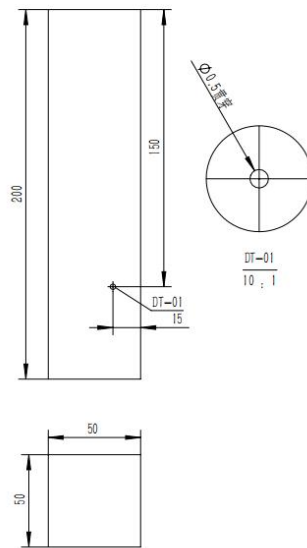


图 4 试验试块 2

6.2.2 拟合曲线图

拟合曲线图须由设备送检方提供, 其应为与设备检测对象材质相对应的缺陷辨识曲线。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

金属材料微裂纹非线性超声检测仪校准项目见表 1。

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目	技术要求条款号	校准方法条款号
1	微裂纹识别力	5.1	7.3.1
2	缺陷深度距离误差	5.2	7.3.2

注：校准时选取适用的项目进行校准。

7.2 校准前的准备

被测仪器不应有影响正常工作的机械损伤，应具有清晰的标识铭牌，包括制造商的名称、型号和序列号等，其开关、按键、旋钮应牢固且调节正常，显示屏应能正常显示。具有自检功能的发射机和接收机应自检正常。

被测仪器在正式校准前应使用对比试块进行设备调试，通过调节信号衰减值、增益参数，保证信号幅值皆低于 4.5V，确保其为正常工作状态且无缺陷波读出。

7.3 校准方法

7.3.1 微裂纹识别力

1 号试验试块用来确定被测设备的微裂纹识别力。将被测设备仪器的探头放置 1 号试验试块两端，在探头与试块表面之间涂敷合适的耦合剂，并施加一定的压力确保良好耦合，调节设备，找寻缺陷非线性效应响应频谱图的幅值信息，能识别出该人工缺陷，即认定该设备微裂纹识别力不低于 0.1mm。

7.3.2 缺陷深度距离误差

2 号试验试块专门用来确定被测设备的缺陷深度距离误差。将探头放置 2 号试验试块两端，在探头与试块表面之间涂敷合适的耦合剂，并施加一定的压力确保良好耦合，调节设备，读取缺陷非线性效应响应频谱图的幅值信息，计算非线性系数，测量 5 次，以 5 次测量平均值作为该缺陷点测量值。测量值与标准值之差作为缺陷深度距离误差。

8 校准结果表达

8.1 校准记录

校准记录应尽可能详尽记载测量数据和计算结果，推荐的校准记录格式见附录 A。所有的数据应先计算后修约，出具的校准数据均保留两位小数。

8.2 校准证书

经校准的仪器应出具校准证书。校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 B。

8.3 校准结果的测量不确定度

校准结果的测量不确定度按 JJF 1059.1-2012 的要求评定，不确定度评定示例见附录 C。

9 复校时间间隔

金属材料微裂纹非线性超声检测仪复校时间间隔一般建议为一年，如中途更换检测对象的材质，应提前校准。

由于复校时间间隔的长短取决于仪器的使用保养情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素，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

校准记录参考格式

记录编号：

委 托 方		标 准 器 名 称	
		型 号	
器 具 名 称		编 号	
制 造 厂 商		测 量 范 围	
型 号		不 确 定 度 / 准 确 度 等 级 / 最 大 允 许 误 差	
器 具 编 号		证 书 号	
技 术 依 据		溯 源 机 构	
环 境 条 件	温度： 相对湿度：	有 效 期	
	℃ %		
地 点		标 准 器 状 况	

1 外观检查：

2 微裂纹识别力：

3 缺陷深度距离误差

标准值/mm	纵向测量值/mm						示值误差 /mm	扩展不确定度
	1	2	3	4	5	平均值		

校准员		核验员		校准日期	年 月 日
-----	--	-----	--	------	-------

附录 B

B.1 校准证书内页参考格式

校 准 结 果

设备检测对象材质：

- 1 外观检查：
- 2 微裂纹识别力：
- 3 缺陷深度距离误差

标准值/mm	测量值/mm	示值误差/mm	扩展不确定度

以下空白

共 页 第 页

B.2 校准证书内容

校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 校准实验室的名称和地址；
- 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) 被校设备的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期；
- h) 如果与校准结果的有效应用有关时，应对被校设备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。

附录 C

缺陷深度距离误差测量不确定度评定示例

C.1 测量原理

按照被测仪器使用要求进行接线并开机, 设置好被测仪器相关参数, 使用耦合剂将探头通过直接接触法耦合至试块待测区, 启动设备读取缺陷非线性效应响应频谱图的幅值信息并记录, 每个缺陷处测 5 次, 通过记录的幅值信息比对送检单位提供的缺陷深度拟合曲线, 得到一处缺陷的 5 次测量值, 取其 5 次的平均值作为该点测量值。测量值与标准值之差作为缺陷深度距离误差。下面以深度距离 15 mm 处缺陷点为例进行评定。

C.2 测量模型

$$\Delta H = \bar{h} - H \quad (\text{C.1})$$

式中:

ΔH ——缺陷深度距离测量的示值误差, mm;

$\bar{h}$ ——5次测量平均值, mm;

H ——校准点的标准值, mm。

考虑各分量彼此独立, 依据公式 $u^2(\Delta) = \sum \left(\frac{\partial \Delta}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)$ 得:

$$u^2(\Delta H) = c_1^2 u^2(\bar{h}) + c_2^2 u^2(H) \quad (\text{C.2})$$

式中: $c_1 = \frac{\partial \Delta H}{\partial \bar{h}} = 1$, $c_2 = \frac{\partial \Delta H}{\partial H} = -1$ 。

C.3 输入量标准不确定度的评定与不确定度分量

缺陷深度距离误差测量过程中, 设备本身对测量不确定度的影响可以忽略不计, 由式(C.2)可知, 不确定度来源主要有两个方面: 重复测量引入的标准不确定度 $u(\bar{h})$; 试块缺陷深度实际值测量引入的标准不确定度 $u(H)$ 。

C.3.1 重复测量引入的标准不确定度

重复测量引入的标准不确定度 $u(\bar{h})$ ，属 A 类标准不确定度。被测仪器在 15 mm 校准点独立重复测量 10 次，得到的结果见表 C.1。

表 C.1 测量值及计算结果

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值/mm	15.98	16.13	14.86	15.15	15.66	16.12	15.95	15.66	15.96	14.67
平均值 $\bar{h} = 15.61\text{mm}$										
实验标准偏差 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n-1}} = 0.534\text{ mm}$										

由于规范要求校准时重复测量 5 次，故以 5 次测量平均值的实验标准偏差作为测量重复性误差引入的标准测量不确定度，则：

$$u(\bar{h}) = \frac{s}{\sqrt{5}} = 0.239\text{ mm}$$

C.3.2 试块缺陷深度距离实际值测量引入的标准不确定度

校准试块缺陷深度距离实际值测量引入的标准不确定度，属 B 类标准不确定度。根据要求，深度位置误差优于 $\pm 1.5\text{ mm}$ ，以均匀分布考虑，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(H) = \frac{1.5}{\sqrt{3}} = 0.577\text{ mm}$$

C.4 不确定度分量汇总表

缺陷深度距离误差测量的标准不确定度的来源及数值汇总表见表 C.2：

表 C.2 标准不确定度来源及数值汇总表

序号	标准不确定度分量	符号	c_i	分类	标准不确定度/mm
1	重复测量	$u(\bar{h})$	1	A	0.239
2	试块缺陷深度距离实际值测量	$u(H)$	-1	B	0.577

C.5 合成标准不确定度

由于表 C.2 中各分量独立且相互无关，故合成标准不确定度 $u(\Delta H)$ 为：

$$u(\Delta H) = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{h}) + c_2^2 u^2(H)} = 0.625\text{ mm}$$

C.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则 $U = ku(\Delta H) = 1.25\text{ mm}$ 。

C.7 测量不确定度报告

缺陷深度距离测量校准点 15 mm时，扩展不确定度为： $U = 1.25\text{mm}$ ， $k = 2$ 。
