



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1862—2020

大型多通道超声波探伤仪校准规范

Calibration Specification for Large Multi-channel Ultrasonic
Flaw Detectors

2020-09-11 发布

2021-03-11 实施

国家市场监督管理总局 发布

大型多通道超声波 探伤仪校准规范

Calibration Specification for Large Multi-channel
Ultrasonic Flaw Detectors

JJF 1862—2020

归口单位：全国声学计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

吉林省计量科学研究院

北京化工大学

本规范委托全国声学计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

邢广振（中国计量科学研究院）

房法成（吉林省计量科学研究院）

祝海江（北京化工大学）

王 敏（中国计量科学研究院）

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 脉冲重复频率	(1)
3.2 时基线性	(1)
3.3 增益线性	(1)
3.4 探伤灵敏度	(2)
3.5 探伤灵敏度的信噪比	(2)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 稳定性	(2)
5.2 显示抖动	(2)
5.3 脉冲重复频率	(2)
5.4 时基线性	(2)
5.5 增益线性	(2)
5.6 探伤灵敏度	(2)
5.7 通道间探伤灵敏度一致性	(2)
5.8 探伤灵敏度信噪比	(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	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(3)
8 校准结果的表达	(6)
8.1 校准结果的处理	(6)
8.2 校准证书	(6)
8.3 校准结果的不确定度评定	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 校准证书的内容	(7)
附录 B 时基线性误差的测量不确定度评定示例	(9)

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范参照 GB/T 27664.1—2011《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第1部分：仪器》对设备计量性能提出了要求，即计量性能中纳入了稳定性、显示抖动、脉冲重复频率等，并参照 GB/T 27664.3—2011《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第3部分：组合设备》对时基线性、增益线性、探伤灵敏度与信噪比进行了综合评价。

本规范为首次发布。

大型多通道超声波探伤仪校准规范

1 范围

本规范适用于基于 A 型脉冲式的大型多通道超声波探伤仪校准，其他类似超声无损检测设备的校准也可以参照采用。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1034 声学计量名词术语及定义

JJF 1294—2011 超声探伤仪换能器校准规范

GB/T 3102.7—1993 声学的量和单位

GB/T 19799.2—2012 无损检测 超声检测 2 号校准试块

GB/T 27664.1—2011 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 1 部分：仪器

GB/T 27664.3—2011 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 3 部分：组合设备

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（包括所有的修订单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

本规范采用 GB/T 3102.7—1993 中规定的量和单位。

JJF 1001、JJF 1034、JJF 1294—2011 和 GB/T 27664.1—2011 中界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 脉冲重复频率 pulse repetition frequency

每单位时间产生的脉冲数，单位为 Hz。

[GB/T 27664.1—2011，定义 3.23]

3.2 时基线性 linearity of time base

由经校准的时间发生器或已知厚度平板的多次反射提供的输入信号与其在时基线上所指示的信号位置之间接近成正比关系程度的一种量度。

[GB/T 27664.1—2011，定义 3.15]

3.3 增益线性 linearity of vertical display

输入到超声探伤仪接收器的信号幅度与其在超声检测仪显示屏（或附加显示器）上所显示的幅度接近正比关系程度的一种量度。

[GB/T 27664.1—2011，定义 3.16，有修改]

3.4 探伤灵敏度 flaw detection sensitivity

在某一具体探伤条件下能探测缺陷大小的能力。

3.5 探伤灵敏度的信噪比 signal to noise ratio for flaw detection sensitivity

探伤灵敏度的可用范围。

4 概述

大型多通道超声波探伤仪主要指一类基于 A 型脉冲式的在线无损检测设备，其基础是通常通道数多达几十到上百个的超声波探伤仪，主要由同步、扫描、发射、接收放大、电源等电路部分和显示部分组成，与超声探头配套使用。广泛应用于冶金、航空航天、铁路、船舶等领域的无损检测。

5 计量特性

5.1 稳定性

- a) 信号幅度变化一般不超过满刻线幅度的 2%。
- b) 沿时基线漂移一般不超过满刻线宽度的 1%。

5.2 显示抖动

- a) 信号幅度变化一般不超过满刻线幅度的 2%。
- b) 沿时基线漂移一般不超过满刻线宽度的 1%。

5.3 脉冲重复频率

偏差一般不超过设定值的 20%。

5.4 时基线性

偏差一般不大于满刻线宽度的 2%。

5.5 增益线性

推荐的增益线性误差的限值见表 1。

表 1 增益线性的推荐限值

增益/dB	预定的满刻线幅度/%	推荐限值
+2	100	$\geq 95\%$
0	80	基准线
-6	40	37%~43%
-12	20	17%~23%
-18	10	8%~12%
-24	5	$< 8\%$ ，可见

5.6 探伤灵敏度

满足厂家技术要求或用户使用要求。

5.7 通道间探伤灵敏度一致性

一般不超过 3 dB。

5.8 探伤灵敏度信噪比

满足厂家技术要求或用户使用要求。

注：由于校准无需作出合格与否的判定，因此上述技术指标仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

室内温度：(15~35)℃；

相对湿度：30% ~ 90%。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 示波器

频率范围：不小于 DC~100 MHz；

采样率：不小于 200 MHz；

幅值：幅值灵敏度小于每格 5 mV，测量不确定度不大于 5%；

时间延迟测量：分辨力优于 5 ns，测量不确定度不大于 2%；

至少应包含两个通道。

6.2.2 标准试块

采用 GB/T 19799.2 规定的 2 号校准试块。

6.2.3 辅助探头

工作带宽覆盖被校仪器的工作频率。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

大型多通道超声波探伤仪的校准项目见表 2。

表 2 大型多通道超声波探伤仪校准项目一览表

序号	项目名称	技术要求的章条号	校准方法的章条号
1	稳定性	5.1	7.2.3
2	显示抖动	5.2	7.2.4
3	脉冲重复频率	5.3	7.2.5
4	时基线性	5.4	7.2.6
5	增益线性	5.5	7.2.7
6	探伤灵敏度	5.6	7.2.8
7	通道间探伤灵敏度一致性	5.7	7.2.9
8	探伤灵敏度信噪比	5.8	7.2.10

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的检查

检查大型多通道超声波探伤仪（以下简称探伤仪）的外观，是否存在影响正常工作

及未来可靠性的外部损伤,检查工作电压能否保证仪器正常工作。

7.2.2 校准通道的选择

对于多通道探伤系统,校准通道数可以根据仪器特点进行优化,在确保有效性的前提下提高效率。例如针对采用分时复用设计的探伤仪,可根据厂商提供的设计文件,将计量特性值根据仪器特点进行优化。稳定性、显示抖动、脉冲重复频率、时基线性与增益线性只校准共用分时复用通道中的其中一个,抽取的校准通道数不应少于总通道数的25%;探伤灵敏度和探伤灵敏度信噪比则逐个通道校准。

7.2.3 稳定性

1) 在检测过程中应采用机油等超声耦合剂,并保证探头和试块的耦合稳定不变。如果配有延时控制器,则延时应设定为零。

2) 使用与探伤仪通道匹配的探头和标准试块,使探伤仪显示一个回波信号。第一个回波的幅度调整为满刻线幅度的80%,并调整时基线,使该回波位于满刻线宽度的80%。

3) 在6 min内,每隔1 min观察回波的幅度和其在时基线上位置的稳定性。

4) 将信号幅度变化和时基线漂移最大值记作稳定性。

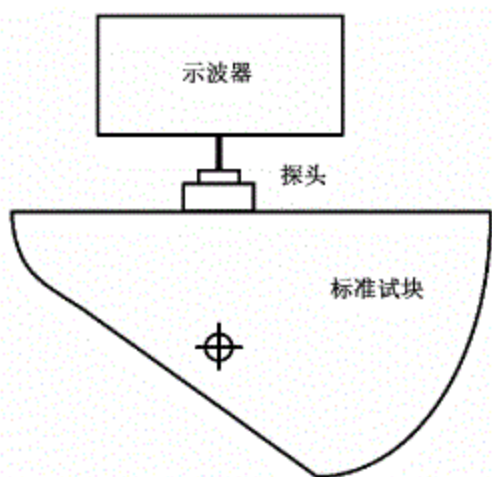


图1 稳定性测量示意图

注:在检测过程中,环境温度应保持在探伤仪制造者技术规范规定的范围 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内。确保电源或电池的电压在制造者技术规范规定的范围以内。

7.2.4 显示抖动

按7.2.3描述的方法产生一个回波参考信号,观察约10 s,记录显示抖动最大值。

7.2.5 脉冲重复频率

使用辅助探头作为接收器,与探伤仪被校通道相匹配的探头耦合,将接收探头输出端连接至示波器。

在不同脉冲重复频率的每个设定值下,用示波器测量发射脉冲的重复频率。

注:若探伤仪有多种组合挡位,且组合挡位的脉冲重复频率(通常指范围和脉冲重复频率)相同时,仅需要校准其中一个组合挡位。对于带有脉冲重复频率连续可调控制器的探伤仪,应从制造者的技术要求中选择一个设定值进行校准。

7.2.6 时基线性

- 1) 使用 2 号校准试块和仪器配套的纵波直探头或横波斜探头进行。
- 2) 将探头放在校准试块上，其位置应使最后一个背面回波或弧面回波的范围不小于所要检查的时基线性范围。
- 3) 调整时基线，使第一个和第六个背面回波分别与标尺的第一个和最后一个刻线对齐。用另外四个回波检查线性。
- 4) 依次将背面回波调至近似相同的幅度，例如：满刻线幅度的 80%。每个回波脉冲的前沿宜与各自相应的刻线对齐。当第一个和第六个回波定位后，并以相同的幅度测量时，检查每一个回波与其理想位置的偏差。取其最大偏差值作为时基线性误差。

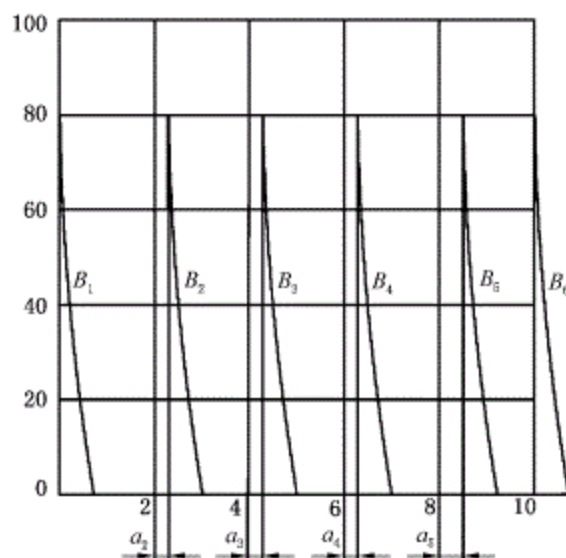


图 2 时基线性波形调整示意图

7.2.7 增益线性

- 1) 将探伤仪的频率、范围、脉冲能量等控制器设置在随后检测时使用的位置，可抑制抑制控制器和扫描增益控制器均置于“关”的位置。
- 2) 在校准试块上定位探头，以从一个小的反射体（例如：GB/T 19799.2 中 2 号校准试块的 5 mm 孔）中获得一个反射信号。
- 3) 调整增益，使该信号达到满刻线幅度的 80%，记录增益控制器数值。
- 4) 将增益增加 2 dB，确认信号幅度上升到大于满刻线幅度。将增益恢复到初始值，然后进一步把增益降低 6 dB，确认信号幅度下降到满刻线幅度的 40% 左右。
- 5) 以 6 dB 步进量依次降低信号幅度 3 次，记录与满刻线幅度的 20%、10% 和 5% 的差值。

7.2.8 探伤灵敏度

- 1) 探伤仪的相应控制器参数，例如：频率、脉冲能量、脉冲抑制和脉冲重复频率的设定值应设置到进行基本测量时所使用的位罝。在每种情况下，要对应基本测量时所选用的特定范围来检查这些参数。
- 2) 将探伤仪发射探头放置在校准试块上，调整探头位置以找到横通孔信号的最大值。

3) 调整以分贝值校准过的增益控制器, 将该信号设置到满刻线幅度的 20%, 记录增益控制器此时的设定值 G_0 为组合设备的探伤灵敏度。

7.2.9 通道间探伤灵敏度一致性

在 7.2.8 探伤灵敏度校准结果中选取最大值与最小值, 两者差值为通道间探伤灵敏度一致性。

7.2.10 探伤灵敏度信噪比

1) 按 7.2.8 校准探伤灵敏度, 从试块上移下探头, 擦干探头表面的耦合剂。

2) 使用经过校准的增益控制器, 增加增益, 直到总的系统噪声幅度与目标孔一样达到满刻线幅度的 20%, 记录增益控制器新的设定值 G_1 。

3) 探伤灵敏度信噪比为:

$$G_{\text{snr}} = G_1 - G_0 \quad (1)$$

式中:

G_{snr} ——探伤灵敏度信噪比, dB;

G_1 ——系统噪声幅度在满刻线幅度 20% 时, 增益控制器设定值, dB;

G_0 ——探伤灵敏度, dB。

8 校准结果的表达

8.1 校准结果的处理

所有的数据应先多位计算后修约, 出具的校准数据均保留一位小数。

8.2 校准证书

大型多通道超声波探伤仪经校准后出具校准证书, 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 A。

8.3 校准结果的不确定度评定

大型多通道超声波探伤仪校准结果的测量不确定度按 JJF 1059.1—2012 的要求评定, 测量不确定度评定示例见附录 B。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。校准时间间隔的长短取决于其使用情况, 如环境条件、使用频率、测量对象等, 因此, 使用单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

校准证书的内容

A.1 校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 证书的编号、页码及总页数；
- c) 校准实验室的名称和地址；
- d) 进行校准的日期；
- e) 进行校准的地点；
- f) 送校单位的名称和地址；
- g) 被校大型多通道超声波探伤仪的描述；
- h) 校准所依据的技术规范的名称及编号；
- i) 校准所用计量标准的名称、技术参数及有效期；
- j) 校准时的环境条件；
- k) 校准结果；
- l) 校准结果的测量不确定度；
- m) 复校时间间隔的建议；
- n) 校准人签名、核验人签名、批准人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

A.2 推荐的大型多通道超声波探伤仪校准证书的内页格式见图 A.1。

校 准 结 果

共 页，第 页

通道号：

序号	项目		校准结果	相对扩展不确定度
1	外观检查			
2	稳定性	幅度		
		时基		
3	显示抖动	幅度		
		时基		
4	脉冲重复频率			
5	时基线性			
6	增益线性			
7	探伤灵敏度			
8	通道间探伤灵敏度一致性			
9	探伤灵敏度信噪比			

校准的环境条件：

环境温度：_____℃；

相对湿度：_____％。

图 A.1 校准证书的内页格式

附录 B

时基线性误差的测量不确定度评定示例

B.1 测量方法

将探头放在校准试块上，其位置应使最后一个背面回波或弧面回波的范围不小于所要检查的时基线性范围。调整时基线，使第一个和第六个背面回波分别与标尺的第一个和最后一个刻线对齐。依次将背面回波调至近似相同幅度，当第一个和第六个回波定位后，并以相同的幅度测量时，检查每一个回波与其理想位置的偏差。时基线性误差为最大偏差值与时基线性范围之比。

B.2 测量模型

$$\Delta L = \Delta L_A + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 \quad (\text{B.1})$$

式中：

ΔL ——时基线性误差；

ΔL_A ——重复性引起的测量偏差；

ΔL_1 ——发射脉冲频率稳定度引入的测量偏差；

ΔL_2 ——发射脉冲频率准确度引入的测量偏差；

ΔL_3 ——读数误差引入的测量偏差。

由测量模型 (B.1) 得：

$$c_i = \frac{\partial (\Delta L)}{\partial (\Delta L_i)} = 1 \quad (\text{B.2})$$

依据公式 $u_c^2(\Delta L) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial (\Delta L)}{\partial (\Delta L_i)} \right]^2 u^2(\Delta L_i)$ 得：

$$u_c^2(\Delta L) = \sum_{i=1}^n [c_i u(\Delta L_i)]^2 = \sum_{i=1}^n u^2(\Delta L_i) \quad (\text{B.3})$$

B.3 标准不确定度评定

B.3.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(\Delta L_A)$ ，采用 A 类方法评定

在重复性条件下连续测量 10 次，所得测量结果如表 B.1 所示。

表 B.1 测量结果

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta L/\%$	0.8	0.6	0.7	0.7	0.9	0.6	0.7	0.8	0.7	0.8

平均值 $\bar{\Delta L} = 0.73\%$ ，实验标准偏差 $s = 0.095\%$ 。

实际测量以单次测量值为测量结果，所以由测量重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u(\Delta L_A) = s = 0.10\% \quad (\text{B. 4})$$

B.3.2 多通道探伤仪发射脉冲频率稳定度引入的标准不确定度分量 $u(\Delta L_1)$ ，采用 B 类方法评定

多通道探伤仪发射脉冲频率稳定度为 2.5×10^{-4} ，则半宽 $a = 2.5 \times 10^{-4}$ ，按均匀分布计算，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度分量为：

$$u(\Delta L_1) = a/k = 2.5 \times 10^{-4} / \sqrt{3} = 0.015\% \quad (\text{B. 5})$$

B.3.3 多通道探伤仪发射脉冲频率准确度引入的标准不确定度分量 $u(\Delta L_2)$ ，采用 B 类方法评定

多通道探伤仪发射脉冲频率准确度为 1×10^{-4} ，则半宽 $a = 1 \times 10^{-4}$ ，按均匀分布计算，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度分量为：

$$u(\Delta L_2) = a/k = 1 \times 10^{-4} / \sqrt{3} = 0.0058\% \quad (\text{B. 6})$$

B.3.4 读数误差引入的标准不确定度分量 $u(\Delta L_3)$ ，采用 B 类方法评定

多通道探伤仪显示屏最小分辨力应优于 $a = 0.5\%$ ，即区间半宽度，按均匀分布计算，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度分量为：

$$u(\Delta L_3) = a/k = 0.5\% / \sqrt{3} = 0.29\% \quad (\text{B. 7})$$

B.4 合成标准不确定度

影响时基线性误差的各输入量相互独立，不确定度来源及标准不确定度值见表 B.2。

表 B.2 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	$ c_i u(x_i)$
$u(\Delta L_A)$	测量重复性	0.1%	0.1%
$u(\Delta L_1)$	频率稳定性	0.015%	0.015%
$u(\Delta L_2)$	频率准确度	0.0058%	0.0058%
$u(\Delta L_3)$	读数误差	0.29%	0.29%

合成标准不确定度为：

$$\begin{aligned}
 u_c(\Delta L) &= \sqrt{u^2(\Delta L_A) + u^2(\Delta L_1) + u^2(\Delta L_2) + u^2(\Delta L_3)} \\
 &= \sqrt{0.10\%^2 + 0.015\%^2 + 0.0058\%^2 + 0.29\%^2} \\
 &= 0.31\%
 \end{aligned} \quad (\text{B. 8})$$

B.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\Delta L) = 2 \times 0.31\% = 0.62\% \quad (\text{B. 9})$$

B.6 测量结果的表示

多通道探伤仪时基线性误差测量结果：

$$\Delta L = (0.73 \pm 0.62)\%, k = 2$$
