

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1294—2011

超声探伤仪换能器校准规范

Calibration Specification
for Transducers of Ultrasonic Flaw Detector

2011-07-04 发布

2011-10-04 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

超声探伤仪换能器

校准规范

Calibration Specification for

Transducers of Ultrasonic Flaw Detector

JJF 1294—2011

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2011 年 7 月 4 日批准，并自 2011 年 10 月 4 日起实施。

归口单位：全国声学计量技术委员会

主要起草单位：吉林省计量科学研究院

汕头超声仪器研究所有限公司

参加起草单位：广州市计量检测技术研究院

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：

房法成（吉林省计量科学研究院）

闫有余（吉林省计量科学研究院）

王兴雄（汕头超声仪器研究所有限公司）

参加起草人：

韩晓飞（吉林省计量科学研究院）

周长华（广州市计量检测技术研究院）



目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 相对脉冲回波灵敏度	(1)
3.2 斜探头入射点	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 脉冲宽度	(2)
5.2 中心频率	(2)
5.3 相对带宽	(2)
5.4 相对脉冲回波灵敏度	(2)
5.5 斜探头入射点	(2)
5.6 斜探头声束角度	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 标准器及主要配套设备	(2)
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 校准结果表达	(6)
8.1 校准数据处理	(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 推荐的校准证书内容	(7)
附录 B 校准结果的不确定度评定实例	(9)

超声探伤仪换能器校准规范

1 范围

本规范规定了 A 型显示的超声探伤仪换能器（亦称为探头）的计量特性、校准条件和校准方法。

本规范适用于中心频率在 0.5 MHz~15 MHz 范围内的探头的校准。

2 引用文献

本规范引用了下列文献：

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

JJF 1034—2005 声学计量名词术语及定义

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

GB 3102.7—1993 声学的量和单位

GB/T 12604.1—2005 无损检测 术语 超声检测

GB/T 18694—2002 超声检验探头及其声场的表征

EN 12668-2: 2001 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 2 部分：探头 (Non-destructive testing—Characterization and verification of ultrasonic examination equipment—Part 2: Probes)

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和计量单位

本规范采用 GB 3102.7—1993 中规定的量和单位。本规范采用 JJF 1001—1998、JJF 1034—2005、GB/T 12604.1—2005 中界定的以下术语及定义。

3.1 相对脉冲回波灵敏度 relative pulse echo sensitivity

来自指定反射体的放大前回波峰-峰值电压与施加到探头上的峰-峰值电压的比值。

注：脉冲发生器/接收器设为单发射/接收方式，相对脉冲回波灵敏度计算公式见式 (1)：

$$S_{\text{rel}} = 20\lg(U_e/U_a) \quad (1)$$

式中：

S_{rel} ——相对脉冲回波灵敏度，dB；

U_e ——来自指定反射体的放大前回波峰-峰值电压，V；

U_a ——施加到探头上的峰-峰值电压，V。

3.2 斜探头入射点 angle probe index

声束轴线通过探头底面的点。

注：该点通常用探头侧面的刻度读数表示。

4 概述

超声探伤仪换能器是在超声频率范围内将电能转换成机械能和/或将机械能转换成

电能的装置。其工作原理是超声换能器的压电晶片接收到一个激励电压，通过压电晶片的逆压电效应产生超声波在物体中传播，若物体内部存在不连续等变化则产生反射回波，通过压电晶片的压电效应接收到回波并转化为电信号。

超声探伤仪换能器一般可分为直探头和斜探头。直探头由压电晶片、吸收块、保护膜和壳体等组成。斜探头由压电晶片、吸收块、斜楔和壳体等组成。

5 计量特性

5.1 脉冲宽度

脉冲宽度的偏差一般不超过标称值的 $\pm 10\%$ 。

5.2 中心频率

中心频率相对标称中心频率的偏差一般不超过 $\pm 10\%$ 。

5.3 相对带宽

相对带宽相对标称值的偏差一般不超过 $\pm 15\%$ 。

5.4 相对脉冲回波灵敏度

相对脉冲回波灵敏度与标称值的偏差一般不超过 ± 3 dB。

5.5 斜探头入射点

斜探头入射点与标称值偏差一般不超过 ± 1 mm。

5.6 斜探头声束角度

频率低于 2 MHz 时，声束角度与标称值的偏差一般不超过 $\pm 3^\circ$ ；

频率不低于 2 MHz 时，声束角度与标称值的偏差一般不超过 $\pm 2^\circ$ 。

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

环境温度： $18^\circ\text{C} \sim 28^\circ\text{C}$ ；

相对湿度： $30\% \sim 90\%$ 。

6.2 标准器及主要配套设备

6.2.1 脉冲发生器/接收器

频率范围： $0.5\text{ kHz} \sim 35\text{ MHz}$ ；

上升时间：不大于 10 ns；

脉冲幅值（空载）：负向脉冲不小于 100 V。

6.2.2 数字存储示波器或频谱分析系统

频率范围：不小于 DC $\sim 100\text{ MHz}$ ；

采样率：不小于 100 MHz；

幅值：幅值灵敏度小于每格 5 mV，测量误差不大于 $\pm 5\%$ 。

6.2.3 标准试块

纵波声速为 $(5\,920 \pm 50)$ m/s 和横波声速为 $(3\,255 \pm 30)$ m/s 的钢试块，包括斜

探头校准试块（见图 3）和半圆柱试块。

注：建议半圆柱试块采用带有不同半径（ R ）的半圆柱钢质试块。半径 R 从 12 mm 以 $\sqrt{2}$ 倍率递增至 200 mm。试块厚度应等于或大于其半径。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

探头的校准项目见表 1。

表 1 探头校准项目一览表

序 号	校准项目	备 注
1	脉冲宽度	
2	中心频率	
3	相对带宽	
4	相对脉冲回波灵敏度	
5	斜探头入射点	仅适用于斜探头
6	斜探头声束角度	仅适用于斜探头

7.2 校准方法

7.2.1 脉冲宽度、中心频率、相对带宽和相对脉冲回波灵敏度

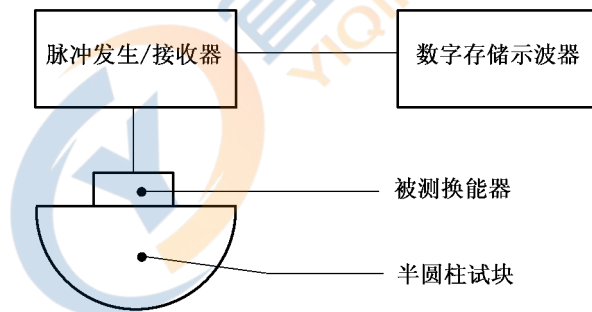


图 1 测试设备连接示意图

将被测探头与测试设备按图 1 所示方法连接，使用半圆柱试块，半圆柱面的半径应大于探头近场长度 1.5 倍。依据探头出厂时脉冲频率、发射强度、阻抗和增益的设置要求，设置脉冲发生器的相应参数。

探头近场长度按式（2）计算

$$N = \frac{D^2 f}{4c} \quad (2)$$

式中：

N ——超声换能器近场长度，mm；

D ——换能器晶片直径，mm；

f ——换能器中心频率，MHz；

c ——媒质中声速，m/s。

探头接触面应平整光滑，在探头与试块之间涂覆适当耦合剂，并施加一定压力以保证探头与试块之间耦合良好，将探头置于半圆柱试块中心，转动和移动探头使来自试块柱面的一系列多次回波幅度最大，在示波器上找到首次回波并放大，得到如图 2 所示的脉冲波形，读出脉冲幅度为最大峰-峰值的 10% 处的脉冲波形宽度即为脉冲宽度。

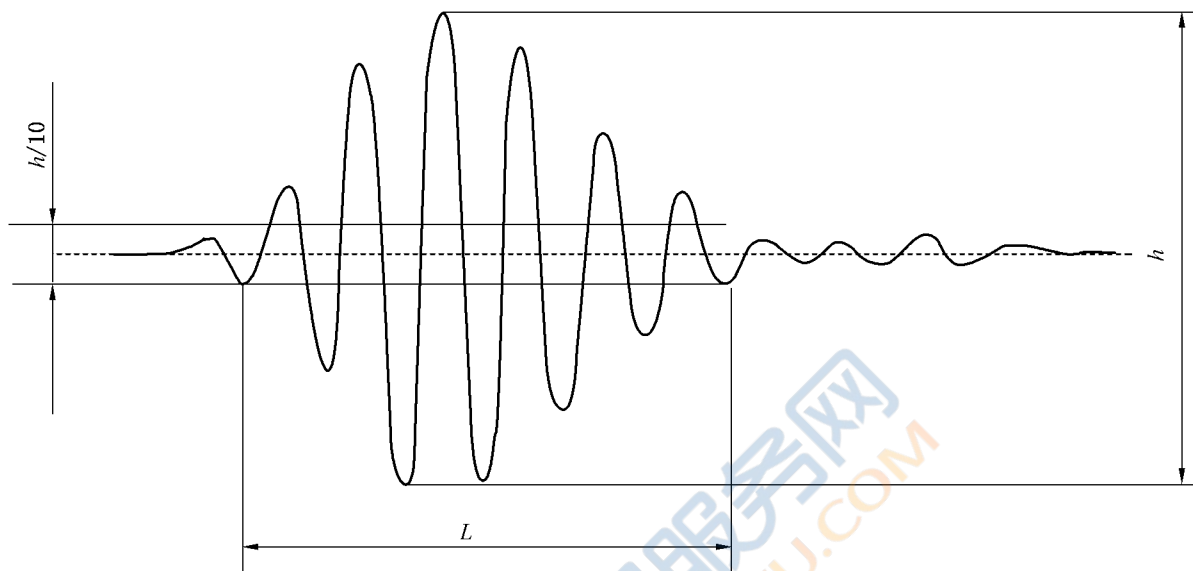


图 2 典型的脉冲波形示意图

h —峰-峰值幅度； L —脉冲宽度

把柱面反射的最大首次回波放在闸门内，闸门最小应设置为脉冲宽度的两倍并对准脉冲的最大值，用频谱分析或离散傅里叶变换测出频谱。测量出回波频谱下降 6 dB 时的高低截止频率，根据式 (2) 及式 (3) 分别计算得出中心频率 f_o 和相对带宽 Δf_{rel} 。

$$f_o = \frac{f_u + f_l}{2} \quad (3)$$

$$\Delta f_{\text{rel}} = \frac{f_u - f_l}{f_o} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

f_o ——中心频率，MHz；

Δf_{rel} ——相对带宽；

f_u, f_l ——回波幅度下降 6 dB 时的高、低截止频率，MHz。

用示波器测出施加到探头上电压的峰-峰值 U_a 和柱面反射的放大前回波电压的峰-峰值 U_e ，则可依据式 (1) 计算出相对脉冲回波灵敏度 S_{rel} 。

7.2.2 斜探头入射点

将斜探头校准试块替换图 1 中的半圆柱试块，斜探头接触面应平整光滑，在斜探头与试块之间涂覆适当耦合剂，并施加一定压力以保证斜探头与试块之间耦合良好。把斜探头耦合到斜探头校准试块（如图 3）的扇形中心位置上，转动和移动探头，使来自半径为 100 mm 扇形圆柱面的回波最大，这时，对应斜探头校准试块扇形圆柱面中心刻度线的位置便是斜探头入射点。

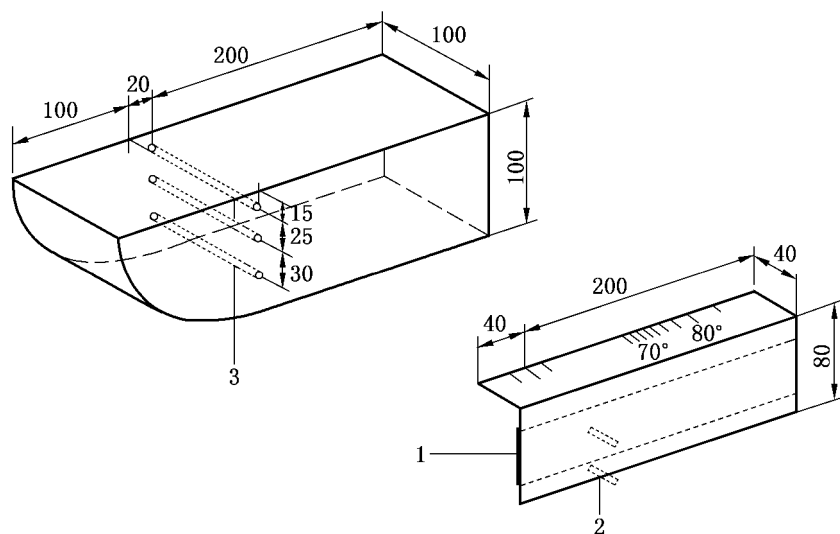


图3 带有活动标尺的斜探头校准试块

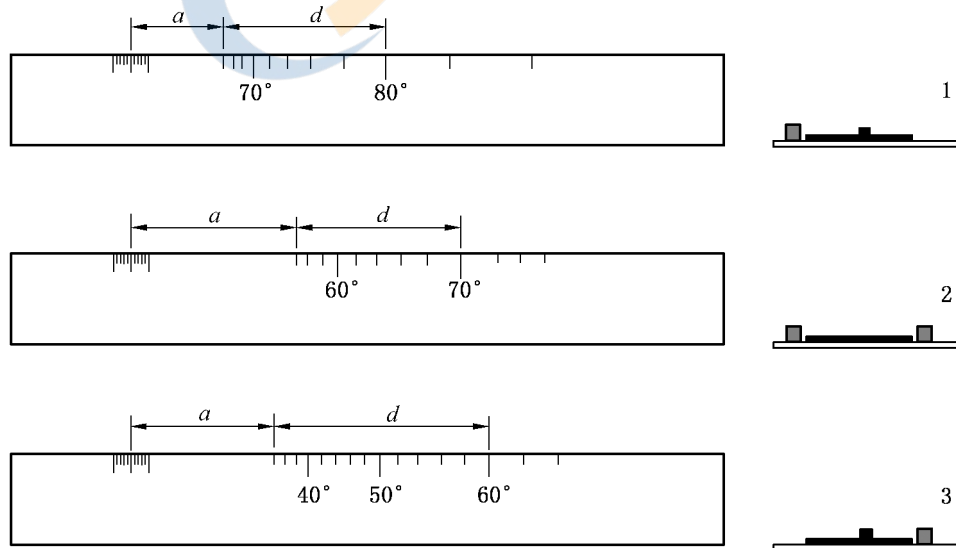
1—磁垫；2—与4 mm 孔相配的两个销钉；3—4 mm 孔

7.2.3 斜探头声束角度

7.2.3.1 斜探头校准试块有三个声束角范围，分别为 $35^\circ \sim 65^\circ$ 、 $60^\circ \sim 75^\circ$ 和 $70^\circ \sim 85^\circ$ 的 L 型标尺（如图 4 所示）。选用适合于被测探头声束角的标尺，如测 45° 探头，应选用标度范围为 $35^\circ \sim 65^\circ$ 的标尺。用标尺上的两个销钉插入试块上三个 4 mm 横孔的其中两个孔中，把该 L 型标尺安装到斜探头校准试块上。剩下的一个横孔用作圆柱反射体，用以测定声束角。标尺的边当作导向探头的直尺用。

7.2.3.2 按斜探头入射点校准方法获得入射点位置。

7.2.3.3 把探头声束打至 4 mm 的横孔上，移动探头，使来自横孔的回波最大，此时读出标尺上探头入射点位置的角度值即为斜探头声束角度。



注： a 和 d 的值参照表 2。

图4 装在斜探头校准试块上的 L 型标尺

表 2 L 型标尺上的分度值

1 号标尺			2 号标尺			3 号标尺		
角度 °	<i>a</i> mm	<i>d</i> mm	角度 °	<i>a</i> mm	<i>d</i> mm	角度 °	<i>a</i> mm	<i>d</i> mm
64	30. 8	0	54	55. 1	0	34	47. 2	0
66		2. 9	56		4. 2	36		3. 6
68		6. 4	58		9. 0	38		7. 5
70		10. 5	60		14. 2	40		11. 5
72		15. 4	62		20. 2	42		15. 8
74		21. 6	64		27. 0	44		20. 4
76		29. 4	66		34. 8	46		25. 3
78		39. 8	68		43. 9	48		30. 5
80		54. 3	70		54. 8	50		36. 2
82		76. 0	72		68. 1	52		42. 4
84		112. 0	74		84. 4	54		49. 1
						56		56. 6
						58		64. 8
						60		74. 0
						62		84. 4
						64		96. 3

8 校准结果表达

8.1 校准数据处理

所有的数据应先计算后修约，中心频率、相对带宽保留二位小数，其他校准数据保留一位小数。

8.2 校准证书

超声探伤仪换能器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

超声探伤仪换能器的测量不确定度评定按 JJF 1059—1999 进行评定，其不确定度评定实例见附录 B。

9 复校时间间隔

超声探伤仪换能器复校时间间隔建议为 1 年。然而，复校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的时间间隔。

附录 A

推荐的校准证书内容

A.1 校准证书至少应包括以下信息：

1. 标题：校准证书；
2. 实验室名称和地址；
3. 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
4. 证书或报告编号、页码及总页数；
5. 送校单位的名称和地址；
6. 被校准仪器名称：超声探伤仪换能器；
7. 被校准超声探伤仪换能器的制造商、型号规格及编号；
8. 校准所使用的计量标准名称及有效期；
9. 本规范的名称及编号和对本规范的任何偏离、增加或减少的说明；
10. 校准时的环境情况；
11. 校准项目的校准结果；
12. 示值误差校准结果的测量不确定度；
13. 校准人签名，核验人签名，批准人签名；
14. 校准证书签发日期；
15. 复校时间间隔的建议；
16. 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书。

A.2 推荐的超声探伤仪换能器校准证书的内页格式见表 A.1

表 A.1 校准证书的内页格式

校 准 结 果	共 页 第 页
1. 脉冲宽度： 2. 中心频率： 3. 相对带宽： 4. 相对脉冲回波灵敏度： 5. 斜探头入射点： 6. 斜探头声束角度： 脉冲发生/接收器设置为 脉冲频率： 发射强度： 阻抗： 增益： 校准结果的不确定度： 校准的环境条件： 温度：_____℃ 相对湿度：_____%	

附录 B

校准结果的不确定度评定实例

B.1 测量方法

将被校准超声探伤仪换能器（以下简称探头）与测试设备连接，使用的半圆柱试块，半圆柱面的半径应大于探头近场长度 1.5 倍。设置脉冲发生器上的脉冲频率、发射强度、阻抗和增益。将探头耦合在试块上，并转动和移动探头使来自试块柱面的一列多次回波最大，在示波器上找到首次回波并放大，得到脉冲波形，使用示波器测出被测脉冲幅度为最大峰-峰值的 10% 处的脉冲波形宽度即为脉冲宽度。

B.2 数学模型

$$L = L_m \quad (\text{B.1})$$

式中：

L ——被校探头脉冲宽度；

L_m ——示波器的读数。

B.3 灵敏系数

$$c = \frac{\partial L}{\partial L_m} = 1$$

则： $u_{\text{rel}}^2(L) = c \cdot u_{\text{rel}}^2(L_m)$

B.4 A 类标准不确定度评定

在正常工作条件下，等精度重复测量 6 次，测得脉冲宽度分别为 718.4 ns, 698.4 ns, 670.8 ns, 690.4 ns, 694.4 ns, 697.2 ns。其单次实验标准差 $s(L_m)$ 为：

$$s(L_m) = \sqrt{\frac{\sum (L_{mi} - \bar{L}_m)^2}{6 - 1}} = 15.30 \text{ ns}$$

$$u(L_{m1}) = s(L_m) = 15.30 \text{ ns}$$

所以， $u_{\text{rel}}(L_{m1}) = u(L_{m1}) / 694.9 = 2.20\%$

B.5 B 类标准不确定度评定

B.5.1 数字存储示波器准确度引起的不确定度分量 $u_{\text{rel}}(L_{m2})$

由上级检定证书可知示波器误差为：-0.60%，按服从均匀分布处理，其覆盖因子 $k = \sqrt{3}$ ，故：

$$u_{\text{rel}}(L_{m2}) = 0.60\% / \sqrt{3} = 0.35\%$$

B.5.2 数字存储示波器分辨力引起的不确定度分量 $u_{\text{rel}}(L_{m3})$

示波器的分辨力误差为：0.040%，按服从均匀分布处理，其覆盖因子 $k = \sqrt{3}$ ，故：

$$u_{\text{rel}}(L_{m3}) = 0.040\% / \sqrt{3} = 0.023\%$$

B.6 标准不确定度一览表

表 B.1 不确定度来源汇总表

序号	不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏系数	标准不确定度
1	重复测量的标准差	$u_{\text{rel}}(L_{\text{m1}})$	1	2.20%
2	数字存储示波器准确度引起的不确定度分量	$u_{\text{rel}}(L_{\text{m2}})$	1	0.35%
3	数字存储示波器分辨力引起的不确定度分量	$u_{\text{rel}}(L_{\text{m3}})$	1	0.023%

B.7 合成标准不确定度

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(L_{\text{m1}}) + u_{\text{rel}}^2(L_{\text{m2}}) + u_{\text{rel}}^2(L_{\text{m3}})} = 2.23\%$$

B.8 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则 $U_{\text{rel}} = k u_{\text{crel}} = 2 \times 2.23\% = 4.5\%$ 。

B.9 测量不确定度报告

超声探伤仪换能器脉冲宽度校准结果的测量不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = 4.5\% ; k = 2。$$