

中华人民共和国工业和信息化部 有色金属计量技术规范

JJF(有色金属) XXXX—XXXX

相控阵超声探伤仪校准规范

(征求意见稿)

Calibration Specification for Phased Array Ultrasonic Flaw detector

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

相控阵超声探伤仪校准规范

Calibration Specification for Phased Array

Ultrasonic Flaw detector

JJF（有色金属）
XXXX—20XX

归口单位：

主要起草单位：西安汉唐分析检测有限公司

参加起草单位：

本规范委托有色金属行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

目录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 概述	1
4 计量特性	1
4.1 发射脉冲电压、上升时间和脉冲宽度	1
4.2 频率响应	1
4.3 等效输入噪声	1
4.4 衰减器误差	1
4.5 通道增益偏差	1
4.6 幅度线性误差	2
5 校准条件	2
5.1 环境条件	2
5.2 测量标准	2
6 校准项目和校准方法	3
6.1 校准项目	3
6.2 校准方法	3
7 校准结果表达	6
8 复校时间间隔	7
附录 A 校准原始记录参考格式	8
附录 B 校准证书内页参考格式	10
附录 C 相控阵超声探伤仪衰减器误差测量不确定度评定示例	11

引 言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范参考了 ISO 18563-1:2022 《无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验 第 1 部分》（Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment）的技术内容。

本规范为首次发布。

相控阵超声探伤仪校准规范

1 范围

本规范适用于频率在 (0.5~10) MHz 范围内的多通道相控阵超声探伤仪的校准。

2 引用文件

本规范无引用文件。

3 概述

相控阵超声探伤仪是一种激励相控阵超声换能器产生超声波, 并接收在材料中传播或反射的超声信号以评价材料内部缺陷的无损检测仪器, 通过软件可以单独控制相控阵探头中每个晶片的激发时间, 从而控制产生波束的角度、聚焦位置和焦点尺寸。广泛应用于航空航天、铁路、船舶、特种设备、建筑、冶金等行业的非破坏性检测。

4 计量特性

4.1 发射脉冲电压、上升时间和脉冲宽度

发射脉冲电压与制造商技术要求不超过 $\pm 10\%$;

上升时间应小于制造商技术要求的最大值;

对于方波脉冲和双极性脉冲波形, 每个单独测量通道的脉冲宽度应在制造商技术要求规定值的 $\pm 10\%$ 范围内。当使用一个尖峰脉冲时, 脉冲宽度应小于制造商的技术规范中规定的最大值, 且通道之间的变化应在 $\pm 20\%$ 范围内。

4.2 频率响应

中心频率和带宽在制造商技术要求规定的 $\pm 10\%$ 范围内。

4.3 等效输入噪声

小于制造商技术要求规定值。

4.4 衰减器误差

在制造商技术要求规定的整个增益范围内的任何连续1dB范围内, 增益偏差应不超过 ± 0.5 dB;

在制造商技术要求规定的整个增益范围内的任何连续20dB范围内, 增益偏差应不超过 ± 1 dB;

在制造商技术要求规定的增益范围内, 衰减器误差应不超过 ± 2 dB。

4.5 通道增益偏差

通道增益偏差应小于3dB。

4.6 幅度线性误差

测得的信号幅度在允许范围内，允许范围见表1。

表 1 幅度线性误差的允许范围

外部标准衰减器设定值/dB	所显示信号幅度的理论值 (全屏高度的百分比/%)	允许范围/ (全屏高度的百分比/%)
0	100	98~102
1	90	88~92
2	80	参考线
4	64	62~66
5	50	48~52
8	40	38~42
12	25	23~27
14	20	18~22
20	10	8~12
26	5	3~7

4.8 延迟时间线性

小于或等于制造商技术要求规定的相控阵超声探伤仪最大延迟时间的1%或时间分辨率。

5 校准条件

5.1 环境条件

室温：（18~28）℃；

5.2 测量标准

测量标准和技术指标见表 2。

表 2 测量标准及其他设备

校准项目	测量标准	技术指标
发射脉冲电压、 上升时间和脉冲 宽度	信号发生器 数字存储示波器 无感电阻 标准衰减器 脉冲发生器	信号发生器：能够产生正弦波信号或正弦脉冲串信号。
频率响应		示波器：工作带宽不低于 100MHz。
等效输入噪声		无感电阻：阻值为（50±0.5）Ω的无感电阻。
衰减器误差		标准衰减器：步进 1dB、总衰减量 100 dB、50Ω的标准衰减器，当信号频率在 15MHz 以内时，该衰减器任意 10dB 范围的累积误差应小于 0.3 dB。

通道增益偏差		脉冲发生器：能够产生一个带延迟或不带延迟的触发脉冲。
幅度线性误差		

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表3。

表 3 相控阵超声探伤仪校准项目一览表

序号	项目名称
1	发射脉冲电压、上升时间和脉冲宽度
2	频率响应
3	等效输入噪声
4	衰减器误差
5	通道增益偏差
6	幅度线性误差

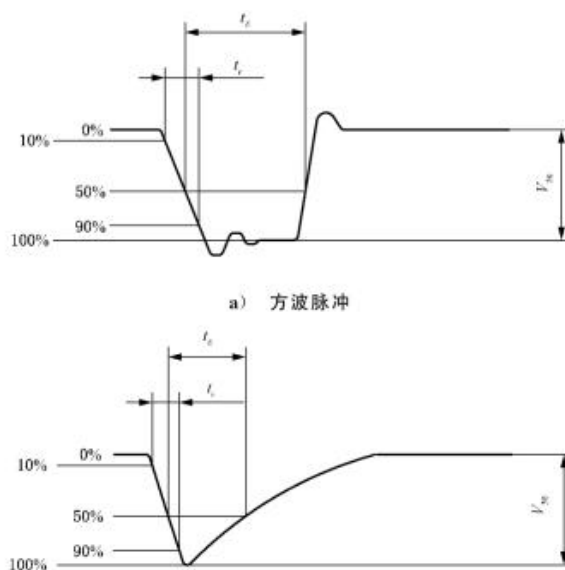
6.2 校准方法

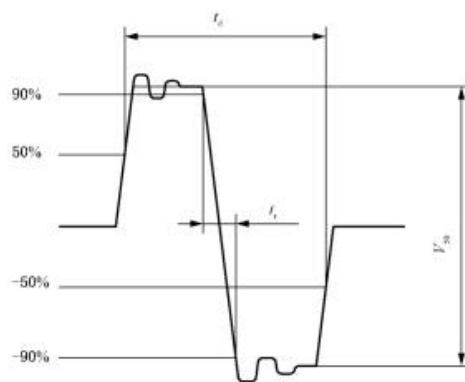
6.2.1 校准前检查

目测相控阵超声探伤仪的外观，检查是否存在影响当前正常工作或未来可靠性的外部损伤。

6.2.2 发射脉冲电压、上升时间和脉冲宽度

将相控阵超声探伤仪，分线板卡和示波器采用线缆进行连接，测量电压幅度从 10%到 90%的脉冲上升时间，如图 1 所示，幅度在 50%时的脉冲宽度，发射脉冲电压。





标引序号说明：

t_r —— 脉冲上升时间；

t_d —— 脉冲宽度；

V_{50} —— 发射脉冲电压。

图1 测量的发射脉冲

6.2.3 频率响应

采用如图 2 所示的连接方法进行搭建校准系统。用信号发生器将正弦波信号输入第一个通道。将输入相控阵超声探伤仪的正弦信号设置为适当幅度，以在增益中间值设置下产生 80%全屏信号高度的信号。依次选取相控阵超声探伤仪内置的频带设定值。在相控阵超声探伤仪所设置的工作频率范围内，改变输入信号的频率，记录每个频带在相控阵超声探伤仪显示最大信号幅度时对应的频率 $f_{\max}$ 以及对应的电平幅度 $A_{\max}$ 。以小于标称频带带宽 5%的增量，依次从 $f_{\max}$ 提高和降低频率，并记录相控阵超声探伤仪显示信号幅度低于最大幅度 $A_{\max}$ 3dB 时所对应的上限频率 f_u 和下限频率 f_l 。每个频带的中心频率 f_0 由公式（1）计算，每个频带的带宽 Δf 由公式（2）计算。在相控阵超声探伤仪可同时激活的通道上重复测量，以得到每个通道的中心频率和带宽。

注：一台 16/64 的相控阵超声探伤仪，应在 16 个通道上进行测量。

$$f_0 = \frac{f_u + f_l}{2} \quad (1)$$

$$\Delta f = f_u - f_l \quad (2)$$

式中：

f_0 ——中心频率，MHz；

f_u ——上限频率，MHz；

f_l ——下限频率，MHz；

Δf ——带宽，MHz。

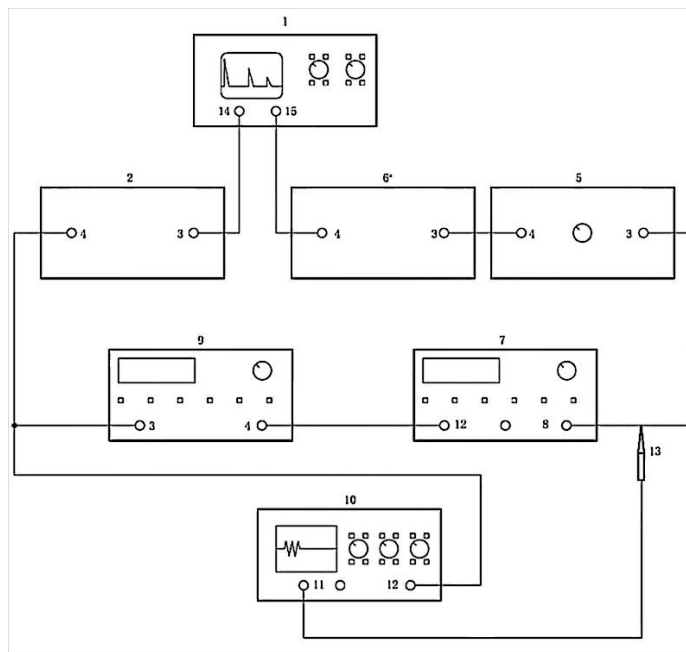


图2 频率响应校准系统接线图

1.相控阵超声探伤仪；2.保护电路；3.输入端；4.输出端；5.外部标准衰减器；6.分线板卡；7.信号发生器；8.信号发生器输出端；9.脉冲发生器；10.数字示波器；11.数字示波器输入通道；12.数字示波器出发输入端；13.示波器表笔；14.相控阵超声探伤仪发射输出端；15.相控阵超声探伤仪接受输入端

6.2.4 等效输入噪声

采用 6.2.3 的校准系统连接方式，关闭相控阵超声探伤仪所有通道发射功能。采用最大带宽中心频率 f_0 的输入信号，测量等效输入噪声。将相控阵超声探伤仪的增益设置到最大值，断开输入信号，记录相控阵超声探伤仪显示屏上的噪声电平，把增益降低 40dB，重新接通输入信号。调整外部标准衰减器和/或输入信号电平直至射频信号电平与上述噪声电平幅度相同，用示波器测量输入信号的峰-峰值电压 V_{in} ，并记录外部标准衰减器的衰减量 S ，单位为 dB。等效输入噪声 V_{ein} 计算见公式（3）。

注：一台 16/64 的相控阵超声探伤仪，应在 16 个通道上进行测量。

$$V_{ein} = \frac{V_{in}}{10^{\left(\frac{S+40}{20}\right)}} \quad (3)$$

V_{ein} ——等效输入噪声，V；

V_{in} ——峰-峰值电压，V；

S ——外部标准衰减器的衰减量，dB。

6.2.5 衰减器误差

采用 6.2.3 的校准系统连接方式，关闭相控阵超声探伤仪所有通道发射功能，启用通道 1 接收功能并连接信号发生器。使用信号发生器对通道 1 输入频率为最宽频带中心频率 f_0 的

正弦波信号，将相控阵超声探伤仪的增益设置为最小值，并调整信号发生器产生的参考信号，使其不饱和显示。在整个增益范围内，以适当的增量，增加相控阵超声探伤仪的增益。对于每个增益设定值，调整外部标准衰减器，使信号幅度保持恒定高度。对应每个增量。记录相控阵超声探伤仪的增益值和外部标准衰减器的衰减值之间的差值，见公式（4）。

$$\Delta \text{dB} = S_1 - S_2 \quad (4)$$

ΔdB ——衰减器误差，dB；

S_1 ——相控阵超声探伤仪增益值，dB；

S_2 ——外部标准衰减器衰减值，dB。

6.2.6 通道增益偏差

采用 6.2.3 的校准系统连接方式，关闭相控阵超声探伤仪所有通道发射功能。启用通道 1 接收功能并连接信号发生器，提供一个频率为最宽频带中心频率的正弦信号，将相控阵超声探伤仪的增益设置为中间值，调整信号发生器的输出信号，使通道 1 的信号的峰值幅度达到 80%全屏信号高度。测量 A 扫显示的正弦波的幅度 A_1 （ A_1 为通道 1 所测得的信号幅度），在所有通道上重复进行测量。相控阵超声探伤仪通道增益偏差计算见公式（5）。

$$\Delta G = 20 \lg(A_{\max}/A_{\min}) \quad (5)$$

ΔG ——通道增益偏差，dB；

$A_{\max}$ ——所有通道中 A 扫显示的正弦波最大幅度，%；

$A_{\min}$ ——所有通道中 A 扫显示的正弦波最大幅度，%。

6.2.7 幅度线性误差

采用 6.2.3 的校准系统连接方式，关闭相控阵超声探伤仪所有通道发射功能。启用通道 1 接收功能并通过信号发生器给通道 1 提供一个频率为最宽频带中心频率的正弦信号。将外部标准衰减器设置为 2dB，调节输入信号的幅度和相控阵超声探伤仪的增益，使该信号的幅度为全屏信号高度的 80%；在不改变相控阵超声探伤仪增益的条件下，设置外部标准衰减器到表 1 第 1 列数值，分别测量不同衰减量下相控阵超声探伤仪屏幕上的信号高度。

7 校准结果表达

经校准的相控阵超声探伤仪出具校准证书，校准结果应在校准证书上反映，校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室的名称和地址；

- c) 实施校准活动的地点，包括客户设施、实验室固定设施以外的地点；
 - d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
 - e) 客户的名称和联络信息；
 - f) 被校对象的描述和明确标识；
 - g) 进行校准活动的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期和证书发布日期；
 - h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
 - i) 本次校准所用的测量标准和溯源性及有效性说明；
 - j) 校准环境的描述；
 - k) 校准结果及其测量不确定度的说明（给出整个测量范围校准结果测量不确定度的最大值）；
 - l) 对校准规范偏离的说明；
 - m) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
 - n) 校准人和核验人签名；
 - 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。
- 校准原始记录参考格式见附录A，校准证书内页参考格式见附录B。

8 复校时间间隔

复校时间间隔的长短取决于其使用情况，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间，建议复校时间间隔为1年。

附录 A

校准原始记录参考格式

记录编号:

测量标准及主要配套设备	仪器名称	型号规格	出厂编号	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书号	有效日期
委托单位						
校准依据						
校准地点			环境条件		°C	%RH
器具名称			出厂编号			
型号/规格			设备编号			
制造厂家						
校准结果						
外观检查: ☐ 符合要求 ☐ 不符合要求						
通道1校准数据:						
1.发射脉冲电压、上升时间、脉冲宽度						
发射电压: V, $U=$ % ($k=2$)。						
上升时间: ns, $U=$ % ($k=2$)。						
脉冲宽度: ns, $U=$ % ($k=2$)。						
2.频率响应						
上限频率: MHz, 下限频率: MHz;						
中心频率: MHz, 带宽: MHz, $U=$ % ($k=2$)。						
3.等效输入噪声: $V_{in}=$ V, $S=$ dB, $V_{ein}=$ V, $U=$ % ($k=2$)。						
4.衰减器误差: $S1=$ dB, $S2=$ dB, $\Delta dB=$ dB, $U=$ % ($k=2$)。						
5.通道增益偏差: $A_{max}=$ %, $A_{min}=$ %, $\Delta G=$ %。						
6.幅度线性误差:						
外部标准衰减器设定值/dB	相控阵超声探伤仪波幅高度 (全屏高度的百分比/%)			允许范围/ (全屏高度的百分比/%)		
0				98~102		
1				88~92		
2				参考线		
4				62~66		
5				48~52		
8				38~42		
12				23~27		

JJF（有色金属）XXXX—XXXX

14		18~22
20		8~12
26		3~7

附录 B

校准证书内页参考格式

证书编号:

校准结果		
通道 1		
1.发射电压	V	$U= \text{_____} \% (k=2)$
2.上升时间	ns	$U= \text{_____} \% (k=2)$
3.脉冲宽度	ns	$U= \text{_____} \% (k=2)$
4 中心频率	MHz	$U= \text{_____} \% (k=2)$
5 带宽	MHz	$U= \text{_____} \% (k=2)$
6 等效输入噪声	V	$U= \text{_____} \% (k=2)$
7.衰减器误差	dB	$U= \text{_____} \% (k=2)$
8.通道增益偏差	%	$U= \text{_____} \% (k=2)$
9.幅度线性误差		
外部标准衰减器设定值/dB	相控阵超声探伤仪波幅高度 (全屏高度的百分比/%)	误差/%
0		
1		
2		
4		
5		
8		
12		
14		
20		
26		
$U= \text{_____} \% (k=2)$		

附录 C

相控阵超声探伤衰减器误差测量不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 测量依据

本规范6.2.5。

C.1.2 测量标准

信号发生器：能够产生正弦波信号或正弦脉冲串信号。

示波器：工作带宽不低于 100MHz。

无感电阻：阻值为 $(50 \pm 0.5) \Omega$ 的无感电阻。

标准衰减器：步进 1dB、总衰减量 100 dB、50Ω 的标准衰减器,当信号频率在 15MHz 以内时,该衰减器任意 10dB 范围的累积误差应小于 0.3 dB。

脉冲发生器：能够产生一个带延迟或不带延迟的触发脉冲。

C.1.3 被校对象

名称：相控阵超声探伤仪；型号/规格：6HT-604305128。

C.1.4 校准方法

以被校相控阵超声探伤仪增益线性测量误差作测量不确定度评定。用仪器自身调节A扫波幅与标准器调节波幅进行增益做差得到增益线性测量误差。

C.2 测量模型

根据相控阵超声探伤仪的特征和验证,其测量模型为:

$$\Delta \text{dB} = S_1 - S_2 \quad (\text{C.1})$$

式中:

ΔdB ——衰减器误差, dB;

S_1 ——相控阵超声探伤仪增益值, dB;

S_2 ——外部标准衰减器衰减值, dB。

C.3 测量结果不确定度主要来源分析

测量结果不确定度的主要来源有:

- (1) 测量重复性引入的相对标准不确定度 u_1 ;
- (2) 标准器引入的不确定度 u_2 。

C.4 测量不确定度的评定

C.4.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

调整信号发生器产生的参考信号，使相控阵超声探伤仪波幅高度为 80%全屏高度。对衰减器与相控阵超声探伤仪增益进行对比，以 2dB 值作为调节量，重复调节相控阵超声探伤仪的增益值和外部标准衰减器衰减值 10 次，对比波幅幅度，使得波幅幅度保持一致，用相控阵超声探伤仪设置增益标称值减去外部标准衰减器的衰减值，得到如下数据(dB)，见表 C.1：

单次测量引入的标准不确定度 0.048dB，相对不确定度为 $u_1=0.096\%$ 。

表C.1 衰减器误差重复性测量数据

衰减器误差 (dB)	测量值				
	1	2	3	4	5
	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
	6	7	8	9	10
	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
平均值(dB)	0.14				
标准偏差 s(%)	0.096				

C.4.2 标准器引入的不确定度 u_2

测量环节中标准器会引入不确定度，依据规程寻得其最大误差进行不确定度分析处理，依据 JJG387-2005 同轴电阻衰减器规范查得，衰减器最大允许误差为 $\pm 1.5\text{dB}$ ，以均匀分布考虑，其引入的绝对不确定度为：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{1.5}{\sqrt{3}} = 0.87\text{dB}$$

对应的相对不确定度 u_2 为 1.74%。

C.5 合成标准不确定度

影响增益线性的各输入量相互独立，则相对合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.096^2 + 1.74^2} = 1.74\%$$

C.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，其扩展不确定度为：

$$U_{rel} = ku_c = 2 \times 1.74\% = 3.48\% \quad (k=2)$$

扩展不确定度取 $U_{rel} = 4.0\%$ ， $k=2$ 。