



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 42399.3—2023/ISO 18563-3:2015

## 无损检测仪器 相控阵超声设备的 性能与检验 第3部分：组合系统

Non-destructive testing instruments—Characterization and verification of  
ultrasonic phased array equipment—Part 3: Combined system

(ISO 18563-3:2015, Non-destructive testing—Characterization and verification of  
ultrasonic phased array equipment—Part 3: Combined systems, IDT)

2023-03-17 发布

2023-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

jcvba.cn, qejc.cn, 微信qejc21

## 目 次

前言 .....	Ⅲ
引言 .....	Ⅳ
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号 .....	2
5 一般要求 .....	3
6 操作模式 .....	4
7 测试设备 .....	7
8 第1组测试 .....	7
8.1 通则 .....	7
8.2 阵元和通道 .....	7
8.2.1 通则 .....	7
8.2.2 通道分配 .....	8
8.2.3 阵元相对灵敏度 .....	8
8.3 声束特性 .....	10
8.3.1 通则 .....	10
8.3.2 未饱和性 .....	10
8.3.3 接触式探头的声束特性 .....	11
8.3.4 液浸式探头的声束特性 .....	17
8.4 成像检查 .....	20
8.4.1 通则 .....	20
8.4.2 反射体定位 .....	20
8.4.3 $-6$ dB 斑点尺寸 .....	20
8.4.4 幅度比较 .....	21
9 第2组测试 .....	21
9.1 通则 .....	21
9.2 设备外观检查 .....	21
9.2.1 检测方法 .....	21
9.2.2 验收标准 .....	21
9.3 阵元相对灵敏度 .....	22
9.3.1 通则 .....	22
9.3.2 检测方法 .....	22

9.3.3	识别失效阵元 .....	22
9.3.4	灵敏度变化补偿 .....	22
9.3.5	验收标准 .....	22
9.4	放大系统的线性 .....	22
9.4.1	检测方法 .....	22
9.4.2	验收标准 .....	22
9.5	虚拟探头绝对灵敏度 .....	23
9.5.1	通则 .....	23
9.5.2	检测方法 .....	23
9.5.3	验收标准 .....	23
9.6	虚拟探头相对灵敏度 .....	23
9.6.1	通则 .....	23
9.6.2	检测方法 .....	23
9.6.3	验收标准 .....	23
9.7	探头入射点 .....	24
9.7.1	通则 .....	24
9.7.2	检测方法 .....	24
9.7.3	验收标准 .....	24
9.8	折射角 .....	24
9.8.1	通则 .....	24
9.8.2	检测方法 .....	24
9.8.3	验收标准 .....	25
9.9	接触式探头的偏向角 .....	25
9.9.1	通则 .....	25
9.9.2	检测方法 .....	25
9.9.3	报告 .....	25
10	系统记录表 .....	25
附录 A (资料性)	测试项目及验收标准 .....	26
参考文献	参考文献 .....	28

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 42399《无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验》的第3部分。GB/T 42399已经发布了以下部分：

- 第1部分：仪器；
- 第2部分：探头；
- 第3部分：组合系统。

本文件等同采用 ISO 18563-3:2015《无损检测 相控阵超声设备的性能与检验 第3部分：组合系统》。

本文件做了下列最小限度的编辑性修改：

- 为与现有标准系列一致，将标准名称改为《无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验 第3部分：组合系统》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国试验机标准化技术委员会(SAC/TC 122)归口。

本文件起草单位：汕头市超声仪器研究所股份有限公司、广东汕头超声电子股份有限公司超声仪器分公司、爱德森(厦门)电子有限公司、贵州理工学院、辽宁仪表研究所有限责任公司、上海材料研究所、中山职业技术学院、中国特种设备检测研究院。

本文件主要起草人：谢晓宇、詹俊生、林俊明、李波、富阳、王琳、张义凤、李冈宇、吴锦湖、林丹源、胡振龙。

## 引 言

和 A 型常规检测仪一样,相控阵超声均是基于采用脉冲反射法检测,均采用相同的缺陷定量及定位方法。但相控阵超声检测仪是高性能的数字化仪器,能够实现检测全过程信号的记录,通过对信号进行处理,系统能生成和显示不同方向投影的高质量图像,因此需对其独特的测量校准和验证方法进行规定。GB/T 42399 旨在通过分别对相控阵超声检测仪包括仪器、探头和组合系统的检测方法和验收标准进行规定,从而统一产品技术要求,使其更好地应用在实际生产、检测中。

GB/T 42399《无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验》分为以下三部分:

- 第 1 部分:仪器。目的在于规定检测频率为 0.5 MHz~10 MHz 范围内的多通道相控阵超声检测仪的主要技术性能的检测方法和验收标准。
- 第 2 部分:探头。目的在于规定采用接触法或液浸法、中心频率范围为 0.5 MHz~10 MHz 的相控阵探头在制作完成后需进行检验的主要技术性能的检测方法和验收标准。
- 第 3 部分:组合系统。目的在于规定采用线性相控阵探头,接触(带或不带楔形)或水浸,中心频率在 0.5 MHz~10 MHz 范围内相控阵组合设备(即已连接仪器,探头和电缆)性能检测方法和验收标准。

GB/T 42399《无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验》三部分相互独立,但又相互呼应,形成一套完整标准体系。

# 无损检测仪器 相控阵超声设备的 性能与检验 第3部分:组合系统

## 1 范围

本文件描述了检验组合设备(即仪器、探头和连接电缆)的检验方法和验收标准。

本文件适用于中心频率为 0.5 MHz~10 MHz、接触式(有无楔块均可)或液浸式线阵相控阵探头的超声检测系统。该检测方法对现场或车间环境下的用户均适用。其目的是在检测前对系统正确工作、声束特性或对系统是否性能退化进行检验。该检测方法不是为了证明系统适合特定的应用,而是为了证明该组合设备根据设置产生超声波声束的能力。

本文件适用范围不包括特定应用的设备校准,其一般由检测流程所覆盖。

本文件不包含以下内容:

- 环形阵列;
- 有着不同阵元数的孔径序列;
- 发射和接收的设置不同(例如激发孔径、有效阵元数、延迟);
- 采用比简单延迟法则更复杂的单阵元信号后处理技术(例如:全矩阵采集)。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

ISO 5577 无损检测 超声检测 术语(Non-destructive testing—Ultrasonic testing—Vocabulary)

注:GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测(ISO 5577:2017,MOD)

ISO 18563-1 无损检测 相控阵超声设备的性能与检验 第1部分:仪器(Non-destructive testing—Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment—Part 1:Instruments)

注:GB/T 42399.1—2023 无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验 第1部分:仪器(ISO 18563-1:2015,IDT)

EN 1330-4 无损检测 术语 第4部分:超声检测用术语(Non-destructive testing—Terminology—Part 4:Terms used in ultrasonic testing)

EN 16018 无损检测 术语 相控阵超声检测用术语(Non-destructive testing—Terminology—Terms used in ultrasonic testing with phased arrays)

EN 16392-2 无损检测 相控阵超声设备的性能与检验 第2部分:探头(Non-destructive testing—Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment—Part 2:Probes)

## 3 术语和定义

ISO 5577、EN 1330-4、EN 16018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**组合设备 combined equipment**

包含仪器、探头、含转接器的电缆连接而成的装置。

3.2

**系统 system**

包含指定操作模式设置的组合设备。

注：设置指特定值或取值范围。

3.3

**参照系统 reference system**

包括符合 ISO 18563-1 的仪器和符合 EN 16392-2 的探头，并已通过本文件第 8 章规定的第 1 组测试和第 9 章规定的第 2 组测试的系统。

3.4

**相同系统 identical system**

仪器、探头及连接电缆均为同一个制造商，且产品名称相同，使用相同操作模式和设置的系统。

3.5

**操作模式 mode of operation**

第 6 章描述的探头在每个位置的发射和激发孔径规格。

3.6

**自然折射声束 natural refracted beam**

自然折射角方向的声束。

3.7

**系统记录表 system record sheet**

记录系统测试结果并用于与参照系统的数值进行对比的文件。

4 符号

表 1 的符号适用于本文件。

表 1 符号

符号	单位	定义
$\lambda$	mm	波长
$\Delta S_{rel}$	dB	阵元的相对灵敏度
$a_i$	mm	接触式探头：孔轴的垂直投影和探头前沿的距离，参见图 4 液浸式探头：孔轴的垂直投影和探头表面中心的距离
$A_{ai}$	%	单阵元信号的幅度
$A_{mean}$	%	所有阵元信号幅度的平均值
$A_{out}$	%	除了失效阵元之外，所有阵元信号幅度的平均值
$D$	mm	激发孔径对角线
$d_i$	mm	孔深



表 1 符号 (续)

符号	单位	定义
$G_0$	dB	校准的增益
$G_{ref}$	dB	幅度-距离测量的参考增益
$N$	mm	与激发孔径相关的近场长度
$\theta$	°	折射角
$p$	mm	阵元间距
$X$	mm	探头前沿和探头入射点间的距离

## 5 一般要求

除了已进行第 1 组测试的 9.3、9.8 和 9.9 的要求之外,在首次使用该系统进行指定应用(操作模式和设置)前应根据第 8 章(第 1 组测试)和第 9 章(第 2 组测试)进行检测。

所有检测均已通过后,该系统可被视为符合本文件要求,可作为参照系统。如果该系统没有修改或替换元件和/或设置,仍可作为参照系统。如果能保存原始设置,对系统进行其他设置并不会影响其作为参照系统。检测结果应在系统记录表中记录。

对于与参照系统相同的系统,只应进行第 2 组测试。所有测试均已通过后,该系统便符合本文件要求。在首次性能测试时,系统记录表先采用来自参照系统的数值作为初始值,在测试获取数值后,更新完成该测试记录表。

在工作车间或现场的任一套系统均应定期进行第 2 组测试,在每次第 2 组测试后,更新系统记录表。

表 2 列出采用接触式探头或液浸式探头的系统进行的不同测试。

所有测试项目的概述及验收标准,详见附录 A 中表 A.1。

表 2 测试项目

项目	接触式探头	液浸式探头
第 1 组测试		
阵元和通道		
通道分配	8.2.2	8.2.2
阵元相对灵敏度	8.2.3	8.2.3
声束特性		
未饱和性	8.3.2	8.3.2
折射角——探头入射点	8.3.3.2	
折射角——工件上的入射点		8.3.4.2
沿声束轴的灵敏度	8.3.3.3	8.3.4.3

表 2 测试项目 (续)

项目	接触式探头	液浸式探头
声束尺寸	8.3.3.4	8.3.4.4
偏向角	8.3.3.5	
栅瓣(推荐)	8.3.3.6	
成像检查		
反射体定位	8.4.2	8.4.2
-6 dB 斑点尺寸	8.4.3	8.4.3
幅度比较	8.4.4	8.4.4
第 2 组测试		
设备外观检查	9.2	9.2
阵元相对灵敏度*	9.3	9.3
放大系统线性	9.4	9.4
虚拟探头绝对灵敏度	9.5	9.5
虚拟探头相对灵敏度	9.6	9.6
探头入射点*	9.7	
折射角*	9.8	9.8
偏向角*	9.9	
* 参照系统由于已进行第 1 组测试,无需再进行同样测试。		

## 6 操作模式

在相控阵超声检测中,一系列声束由探头各位置发出。

每一声束对应一次发射,这由激发孔径和采用的延迟法则所决定。系统操作模式则由孔径数量(一个或多个)及每个孔径发射数量(一个或多个)决定。

该测试不仅针对发射阵元也负责接收的情况。

在本文件范围内,每次发射只考虑一个接收信号。

根据应用,可采用/组合以下相控阵技术(操作模式):

- 激发孔径数量(一个或多个);
- 每个激发孔径的发射或延迟法则数量(一个或多个);
- 延迟法则类型(声束偏转、声束聚焦,或两者组合)。

如果使用多个激发孔径,全部激发孔径可使用同一组延迟法则,或者每个激发孔径可使用不同组延迟法则。后者可能需对相对工件表面的阵列方向(接触法的楔块角度,液浸法的探头阵列倾斜)进行补偿。

不同模式的检验测试应按以下进行:

**模式 1**

- 只激发一条声束。
- 所有测试均用这一条声束进行。

**模式 2**

- 用相同的激发孔径激发多条声束。
- 测试至少要用三条声束,对应极值和中值延迟法则。

**模式 3**

- 只适用于与测试表面相平行的探头阵列。
- 采用多个激发孔径,均使用同一延迟法则。
- 测试至少采用一个孔径。

**模式 4**

- 采用多个激发孔径,均使用同一组延迟法则。
- 测试至少使用一个孔径,至少有三条声束,对应极值和中值延迟法则。

**模式 5**

- 使用多个激发孔径,每个孔径均用单个延迟法则,但是每个激发孔径的延迟法则均不同。
- 如果探头阵列与测试表面不平行,可使用多个激发孔径,均使用同一延迟法则。
- 测试至少使用 3 个孔径,对应极值和中值位置。

**模式 6**

- 使用多个激发孔径,每个孔径使用不同组延迟法则。
- 测试至少使用 3 个孔径,对应极值和中值位置,每个孔径测试三条声束,对应极值和中值延迟法则。

这些模式的具体说明详见表 3。

表 3 操作模式

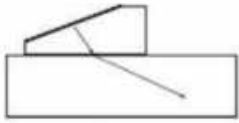

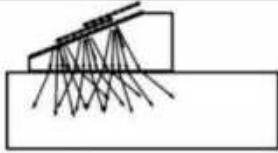
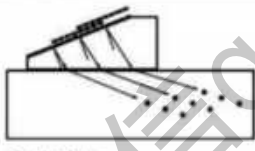
模式	激发孔径数量	每个激发孔径的延迟法则数量	每个孔径的延迟法则是否相同	例子
模式 1	1	1	不适用	 声束偏转
			不适用	 单点聚焦

表 3 操作模式 (续)

模式	激发孔径数量	每个激发孔径的延迟法则数量	每个孔径的延迟法则是否相同	例子
模式 2	1	多个	不适用	 电子扇扫
			不适用	 多点聚焦
模式 3	多个	1	每个孔径的声束均相同	 声束偏转
			每个孔径的声束均相同	 等深度聚焦
模式 4	多个	多个	每个孔径的声束组均相同	 电子扇扫
			每个孔径的声束组均相同	 多点聚焦
模式 5	多个	1	每个孔径的声束不同	 声束偏转
			每个孔径的声束不同	 等深度聚焦

表 3 操作模式 (续)

模式	激发孔径数量	每个激发孔径的延迟法则数量	每个孔径的延迟法则是否相同	例子
模式 6	多个	多个	每个孔径的声束组不同	 电子扇扫
			每个孔径的声束组不同	 多点聚焦
注 1: 为了简洁, 只注明声束中心线, 箭头为声束方向, 圆点为聚焦点。 注 2: 探头阵列和测试工件间的介质可是液体(液浸)或者固体(如楔块)。				

## 7 测试设备

相控阵系统检测所需设备如下:

- 合适的参考试块(例如:大小、曲率、材料等级和/或声速、试块尺寸,以及反射体的类型,大小和位置);
- 测量长度和角度的工具。

## 8 第 1 组测试

### 8.1 通则

初始样机、在维修操作或更换某一系统组件之后,应进行第 1 组测试。

对于实际应用中并没有用到探头所有阵元的情况,测试仅限于所用孔径的阵元。测试结束后,被测试阵元的结果应记录在系统记录表中。

在测试开始前,应按照所使用的探头、楔块等进行系统设置。

### 8.2 阵元和通道

#### 8.2.1 通则

本测试应确保探头与仪器的正确连接以及探头连接后的正确操作方式。

本测试目的:

- 检验发射和接收的通道/阵元分配,检验设备能否依次激励不同孔径所必需的电子开关操作;
- 测量探头阵元的相对灵敏度;和
- 识别故障组件(如:失效阵元)。

必要时,且若仪器具有相应功能,可对阵元幅度进行补偿之后进行这些测试。

## 8.2.2 通道分配

### 8.2.2.1 检测方法

在此测试中,应使用相对自然折射声束轴方向倾斜几度的平反射面,以产生阵元间递增的渡越时间(TOF)值。

使用液浸法时,倾斜探头阵列或者倾斜反射体(比垂直入射偏离几度)。

使用接触法时:

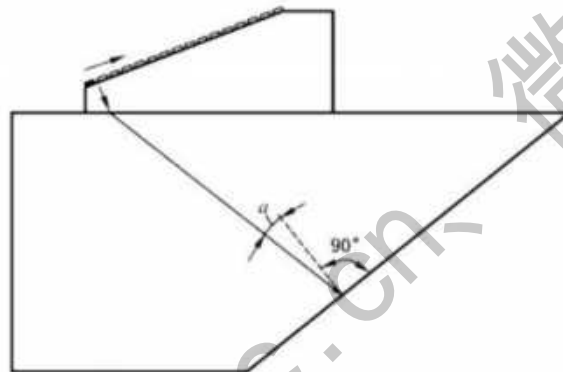
——在没有楔块的情况下,使用斜面参考试块;

——在有楔块的情况下:

1) 如果在楔块内部能接收到每一阵元的回波,则无需参考试块;

2) 如果反射面的入射角至少有几度,那么应采用带有平面的参考试块(参见图1)。

从第一个阵元到最后一个阵元按顺序将阵元逐个激励,并对比每个 TOF(如 A 扫,E 扫,TOF 值)。



标引序号说明:

$a$ ——入射角。

注:图中的射线只显示了发射声束的中心线。

图 1 用带楔块接触式探头的情况下,检验通道分配的操作模式示例

### 8.2.2.2 验收标准

最长 TOF 与离反射体最远的阵元相对应;最短 TOF 与离反射体最近的阵元回波相对应。接收信号的 TOF 随阵元位置单调变化。

## 8.2.3 阵元相对灵敏度

### 8.2.3.1 通则

该测试目标是检验阵元相对灵敏度并找出失效阵元。

依次激励激发孔径的每一个阵元(用同一个阵元发射和接收),然后测量与各阵元保持相同距离的平面反射回波的幅度变化。

如果用的是外形特殊设计的探头楔块,如有可能,宜在没有楔块的情况下检验阵元通道的均匀性。

8.2.3.2 检测方法

8.2.3.2.1 接触式探头

接触式探头的检测步骤如下。

将探头放在参考试块上,以获取所有阵元相同的 TOF,例如:

- 如有可能,不使用楔块;
- 在有楔块的情况下,使用与楔块相同材质且有一面倾斜角度与楔块角度相同的试块;
- 用平面延迟块的情况下,使用试块界面(反射面表面干燥,没有耦合剂)的信号。

逐个激励阵元(同一阵元发射和接收)。

显示来自反射体的每个阵元回波幅度。

测量每一阵元信号的幅度  $A_{ei}$ 。

8.2.3.2.2 液浸式探头

液浸式探头的检测步骤如下:

将探头放置在平面参考试块(如:材质钢)前方,并保持垂直入射。

逐个激励阵元(同一阵元发射和接收)。

显示每个阵元的界面波幅度;如果所有信号 TOF 偏差在探头频率半周期内即为垂直入射。

测量每一阵元信号的幅度  $A_{ei}$ 。

8.2.3.3 识别失效阵元

每个阵元的相对灵敏度(单位 dB)按公式(1)计算:

$$\Delta S_{ei} = 20 \log(A_{ei}/A_{mean}) \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $A_{ei}$  ——单个阵元信号的幅度;
- $A_{mean}$  ——所有信号的幅度平均值(需计算);
- $\Delta S_{ei}$  ——阵元相对灵敏度。

如果出现以下情况,则判断阵元为失效阵元:

- a)  $\Delta S_{ei} < -12$  dB,当仪器能够对阵元增益进行补偿时;
- b)  $\Delta S_{ei} < -9$  dB,当仪器没有补偿电路时。

探头阵元、电缆和/或仪器都能造成幅度  $A_{ei}$  的下降。不管是何原因,出现上述情况即为失效阵元。

8.2.3.4 计算参考灵敏度

参考灵敏度  $A_{ref}$  是指除失效阵元外的阵元信号幅度的平均值。同时要计算出  $A_{ref}$  并记录至系统记录表。 $A_{ref}$  是后续测试中的参考幅度。

8.2.3.5 灵敏度变化补偿(幅度平衡)

补偿的目的在于减少各阵元间灵敏度的变化。如果仪器具有相应功能,应进行阵元幅度补偿。

如果阵元灵敏度相对  $A_{ref}$  偏差大于 3 dB,则应进行补偿。

补偿是指,对任何相对于参考灵敏度  $A_{ref}$  的偏差超过 3 dB(绝对值)的阵元,在  $\pm 12$  dB 范围内调整其阵元增益。

被补偿阵元及其增益补偿值应记录至系统记录表。

### 8.2.3.6 验收标准

失效阵元数量应不超过同一激发孔径总阵元数的  $1/16$ ，且失效阵元不相邻。

## 8.3 声束特性

### 8.3.1 通则

为验证相控阵设备能够发射预期的声束，至少应根据第 6 章选择的操作模式来设置声束。由于相控阵技术设置组合的多样性，通常没有像常规超声探头那样的声束特性手册。所以，首先宜在参照系统上确定声束特性的参考值。声束特性项至少覆盖设备操作使用（应用）相关的项目。

以下情况时，应进行声束特性测试：

- a) 新系统在完成阵元和通道测试之后；
- b) 在第 2 组测试中发现系统特性偏移。

关于 a)，如果声束特性已经在相同系统（详见 3.4）中进行了测试，那么新系统的特性测试可省略。甚至，相同系统获取的数据可作为参考和第 2 组测试结果。参考结果应记录至新系统记录表。

声束特性测试包括如下项目：

- 接触式探头入射点，或液浸式探头入射点；
- 斜探头折射角度；
- 沿声束轴的灵敏度（如：距离波幅曲线）；
- 关注区域的声束尺寸；
- 接触式探头的偏向角；
- 栅瓣（如怀疑，宜进行测量或模拟）。

基于操作模式，对孔径和/或发射的子集，进行声束特性测试（详见第 6 章）。

但是，在操作模式 3~6 中，如果相控阵探头出现失效阵元，就应为受失效阵元影响的所有激发孔径检测声束特性：

- 对有关的发射（模式 3）；
- 对应极值和中值设置的 3 次发射（模式 4、模式 5、模式 6）。

当出现以下情况之一，可免除这些附加特性检测：

- 失效阵元数量应不超过同一激发孔径总阵元数的  $1/16$ ，且失效阵元不相邻；
- 仿真软件已经提供证明，在给定应用中，对比所有阵元均能正常工作时产生的声束，失效阵元对声束没有影响；
- 实验模拟关闭一个或多个阵元以产生失效阵元，已经证明在给定应用中，相比所有阵元均能正常工作时产生的声束，该失效阵元对声束没有影响。

### 8.3.2 未饱和性

#### 8.3.2.1 通则

在各项声束特性测试之前，应验证阵元通道未饱和性。

有以下两种情况：

- a) 如果设备有通道饱和的指示功能，则无需该测试。当设备提示饱和时，应采取适当措施避免饱和。
- b) 如果设备没有通道饱和的指示功能，则应检验合成信号线性（详见 8.3.2.2）。阵元通道饱和会



导致合成信号失真,并改变幅度的定量测量。因此,要通过合成信号线性来检验未饱和性。应在特性验证的所有幅度测量之前,对各有效配置和发射的声束特性进行未饱和性验证。

### 8.3.2.2 检测方法

设置并记录发射电压,将延迟法则应用至激发孔径上,设置并记录增益值。放置探头并观察来自反射体的回波。本检测中使用到的反射体应与 8.3.3.3 或 8.3.4.3 中使用的反射体相似。

调节增益,使合成信号达到全屏高度 80%。

记录校准的增益控制值(单位 dB)。

然后将增益提高 2 dB,若可观察得到,确认信号达到比全屏高度稍高一点的位置(101%)。

恢复增益初始值后,将增益调低 6 dB,之后再调低 6 dB。

确认信号下降到全屏高度的约 40%,之后是约 20%位置。

### 8.3.2.3 验收标准

对于 8.3.2.1 a) 的情况,阵元信号为未饱和状态。

对于 8.3.2.1 b) 的情况,合成信号线性应与表 4 一致。

表 4 合成信号线性的验收标准

增益设置/dB	屏幕幅度占全屏高度/%	可接受幅度占全屏高度/%
+2	101	至少 95
0	80	基准参考线
-6	40	37~43
-12	20	17~23

如果不满足验收标准,可尝试降低发射电压。

## 8.3.3 接触式探头的声束特性

### 8.3.3.1 通则

该测试可采用自动装置移动探头,并应用已验证的参数进行测试。

在一些应用中,应对多条声束进行特性评价,这些声束可用同样的设置参数或每一声束用不同设置。根据设备可能提供的设置,此阶段的特性描述可用一组参数设置产生全部声束,或者逐个设置以产生每一声束。

可在一次测试中完成对所有声束的声束特性测试,也可逐条声束单独测试。

例如,扇扫时,根据极限值和中值延迟法则来确定声束特性是可实现的:

——对应扇扫设定一组参数,且扇扫的三条声束各进行一次测量;

或者,

——设定 3 组参数,然后三条声束各进行一次测量。

如果使用带有平面楔块的探头,应使用平面参考试块。

如果使用曲面楔块,应同时使具有相同曲率的参考试块。

### 8.3.3.2 折射角——探头入射点

#### 8.3.3.2.1 通则

相控阵探头的入射点位置并不是探头的固有特性,非相控阵接触式探头也是如此。探头入射点位置不但随激发孔径变化,还随应用于孔径的延迟法则而变化。应在初次使用前确定探头声束入射点和折射角,之后定期进行稳定性验证。

#### 8.3.3.2.2 检测方法

可用以下两种测量方法:

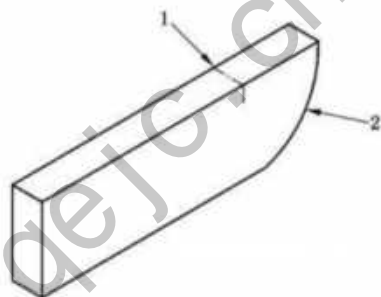
a) 先确定探头入射点,然后测量折射角,该方法采用的参考试块需具有 1/4 圆柱体(参见图 2)和横通孔(参见图 3)。

b) 同时获得探头入射点和折射角,该方法需使用有横通孔的参考试块。根据所选择的方法,可使用符合 ISO 2400 或者 ISO 19675 标准的参考试块。

采用如下两种方法中最适合的一种实施:

a) 先确定探头入射点,再测定折射角

使用 1/4 圆柱体的参考试块来确定探头入射点。对于非聚焦声束,圆柱体半径应比激发孔径的近场长度更大。对于聚焦声束,圆柱体半径应在聚焦范围内。应将圆柱轴线标记在参考试块至少一侧上,如图 2 所示。



标引序号说明:

1——圆柱轴;

2——1/4 圆柱。

图 2 刻有轴线的 1/4 圆柱参考试块

与激发孔径相关的近场长度  $N$  的估算值,可由标准公式(2)获得,单位为毫米(mm):

$$N = D^2 / 4\lambda = \frac{L^2 + W^2}{4\lambda} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$D$  ——激发孔径的对角线长度,单位为毫米(mm);

$L$  ——激发孔径长度,单位为毫米(mm);

$W$  ——激发孔径宽度,单位为毫米(mm);

$\lambda$  ——参考试块材质的波长,单位为毫米(mm)。

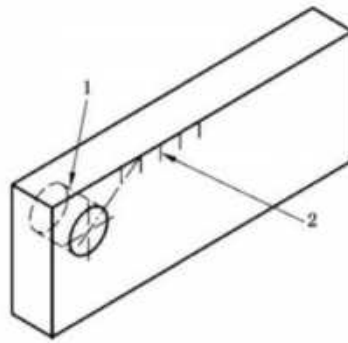
调整探头位置,使圆弧面回波达到最大。

保持探头位置,检查阵元信号的未饱和性(参见 8.3.2),如果是未饱和,那么探头入射点应与 1/4 圆柱轴刻度中心线对齐。

一旦确定探头入射点位置并记录下来(例如在楔块上做标记),就应采用已知横通孔位置的参考试块,以测量折射角。试块侧面要有至横通孔中心的径向角刻度(参见图 3)。测量声束角度时,横通孔应在聚焦声束的聚焦范围内。对于非聚焦声束,横通孔应在近场长度或者超过近场长度的位置。

把探头放置在参考试块上,以产生横通孔信号。

前后移动探头,使信号幅度达到最大。幅度最大时,就可通过计算确定折射角,或者通过读取探头入射点下的试块刻度得到折射角。

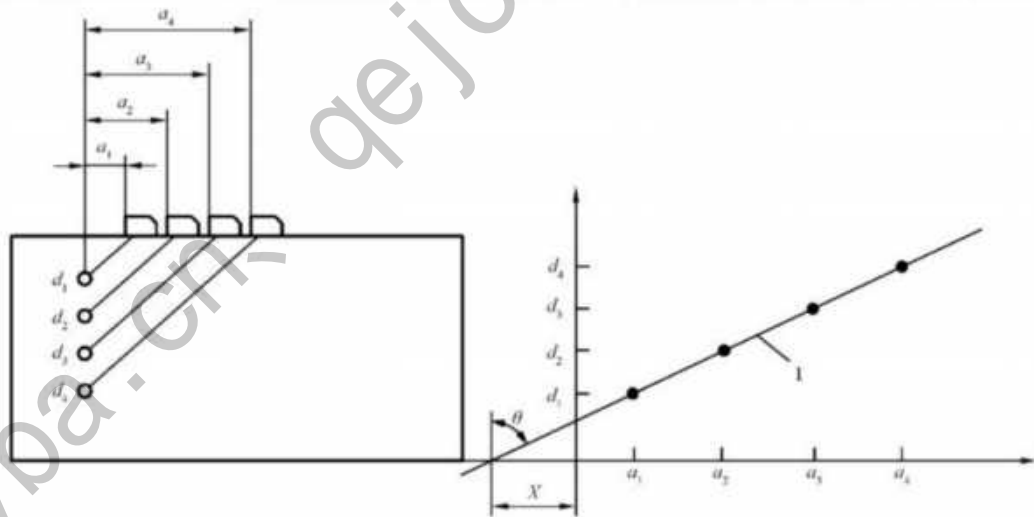


标引序号说明:  
1——横通孔;  
2——径向角刻度。

图 3 带横通孔及侧面有角度刻度的参考试块

b) 同时测定探头入射点和折射角

要求使用拥有至少 4 个不同深度横通孔的参考试块(4 个横通孔是否垂直对准均可),参见图 4。



标引序号说明:  
X——探头前表面与探头入射点间的距离;  
1——斜率=折射角。

图 4 同时测量折射角和探头入射点的原理——探头在带有 4 个横通孔的参考试块上的位置及关联图

逐一获取每个横通孔直接回波的最大幅度。

对于每个最大幅度回波,要检查阵元信号的未饱和性(详见 8.3.2)。

每次都要用尺子测量;横通孔轴正交投影与探头前表面间的距离( $a_i$ )。

在参考试块截面比例图上根据这些孔的距离( $a_i$ )绘制对应的孔深( $d_i$ )位置,然后画出穿过这些点的一条直线。

这样探头入射点和声束角度就可在图形上同时表示出来;探头入射点位置对应图 4 的距离  $X$ , 折射角  $\theta$  按公式(3)进行计算:

$$\theta = \arctan\left(\frac{a_i - a_1}{d_i - d_1}\right) \dots\dots\dots (3)$$

8.3.3.2.3 报告及验收标准

测量结果记录在系统记录表上。

测得的折射角应在延迟法则设置的规定值的 $\pm 2^\circ$ 之内;若折射角大于  $65^\circ$ , 则测得的角度应在规定值 $\pm 5^\circ$ 之内。

8.3.3.3 沿声束轴的灵敏度

8.3.3.3.1 通则

在所关注区域内进行沿声束轴灵敏度的检验。如果本测试只采用一个固定距离,该距离值应用于本章的测量中。

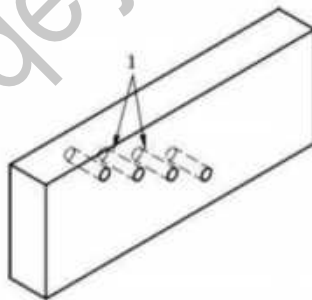
对于接触式探头,采用手动或者采用自动扫描设备,根据不同距离的等反射体,通过记录回波幅度和对应声程来完成测量。

如果仪器支持自动记录沿声束轴灵敏度(如距离幅度曲线或者类似时间校正增益 TCG 的自动校正功能),该仪器特性可用于声束特性的测定。

同样地,也可手动测量和记录沿声束轴灵敏度。

这项测试要求使用的参考试块在所关注区域内带有反射体。反射体为如图 5 所示的横通孔。

注:可使用平面反射体(如平底孔),但是实用性比较差。因其只适合垂直入射到反射体的声束角度。



标引序号说明:  
1—横通孔。

图 5 带有等直径横通孔的参考试块

8.3.3.3.2 检测方法

放置探头在参考试块上,使其入射平面与参考试块横通孔垂直。

移动参考试块上的探头。

调节增益,使任一横通孔的回波最大幅度达到屏幕高度的 80%。并测试阵元信号的未饱和性。

将最大回波信号幅度时的反射体深度和/或声程记录下来,并在系统记录表上记录所用增益值  $G_{ref}$ 。

探头置于参考试块上,获取每个单独反射体的最大幅度。

### 8.3.3.3.3 报告

测量并保存幅度或增益值和对应声程如下:

——距离幅度曲线;

——时间校正增益;

或者,

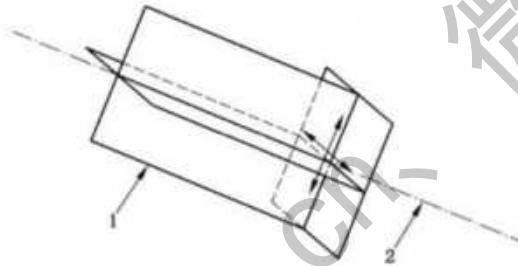
——一个表格。

如果使用声束聚焦,则测定聚焦区的-6 dB长度。

### 8.3.3.4 声束尺寸

#### 8.3.3.4.1 通则

声束以发射轴垂直面的尺寸来表征,该尺寸通过入射面及其垂直面来测量(参见图6)。



标引序号说明:

1——入射平面;

2——声束轴。

图6 焦点尺寸

在该应用中,至少应在所关注区域内对声束尺寸进行一次测量。测量可通过自动或手动的方式,同时记录回波幅度和探头的扫描运动。有2种不同方法可用来确定声束形状:

——使用有横通孔的参考试块;

——使用有半球形底孔的参考试块。

第一种方法只能测量入射平面的声束尺寸,第二种方法可测量入射面及其垂直面的声束尺寸。

#### 8.3.3.4.2 检测方法

##### a) 使用带横通孔的参考试块

用相互平行且在不同深度的横通孔参考试块(参见图5)来测量入射平面的声束尺寸,步骤如下:

- 1) 将探头放在试块上;
- 2) 移动探头使其入射面垂直于参考试块的横通孔孔轴,以此来获得所关注区域内反射体的回波。
- 3) 对于反射体的最高幅度回波,应检查其阵元信号的未饱和性(见8.3.2)。
- 4) 对每个反射体,记录下回波下降6 dB时探头位置。在入射面中且垂直于声束轴的声束尺寸可通过两个位置间的距离乘以折射角的余弦获得。

b) 使用带半球形底孔的参考试块

侧边平行且不同距离位置的半球形底孔参考试块(参见图 7),可用于声束的两垂直平面的尺寸测量。

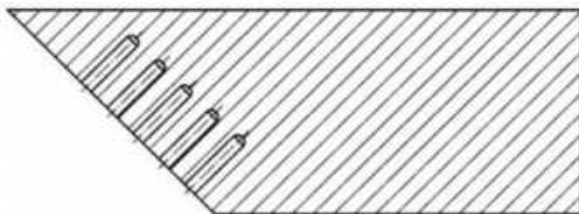


图 7 带半球形底孔的参考试块

探头在两个垂直方向移动(前后和左右),获取在规定反射体深度上的声束尺寸。

操作步骤如下:

- 1) 将探头放在参考试块上。
- 2) 在参考试块上扫查并增量步进移动探头,以获得关注区域内反射体的回波。
- 3) 对于来自反射体的最高幅度回波,检测其阵元信号的未饱和性(详见 8.3.2)。
- 4) 记录反射体幅度下降 6 dB 的探头位置。在入射面中且垂直于声束轴的声束尺寸可通过两个位置间的距离乘以折射角的余弦获得。
- 5) 确定每个反射体垂直于入射平面方向、幅度下降 6 dB 时的探头位置。两个探头位置间的距离决定了垂直于入射平面的声束尺寸(声束宽度)。

#### 8.3.3.4.3 报告

测试结果记录在系统记录表上。

#### 8.3.3.5 偏向角

##### 8.3.3.5.1 通则

可用 3 种不同办法来评价探头偏向角:

- 使用符合 EN 12668-2 的带横通孔的参考试块;
- 使用带边角的参考试块;
- 使用符合 EN 12668-2 的电磁声波接收器。

##### 8.3.3.5.2 检测方法

旋转探头获得选定反射体的最大信号,以测量偏向角。

##### 8.3.3.5.3 报告

测试结果记录在系统记录表上。

#### 8.3.3.6 栅瓣(推荐)

##### 8.3.3.6.1 通则

当  $p > \lambda/2$  时(其中  $\lambda$  为第一传播介质中的波长,  $p$  为阵元间距),可形成光栅波瓣,阻碍主声束检测和定性。

所以当  $p > \lambda/2$ , 并且要求声束偏转时, 需进行该测试。

以下几种办法可用来评价声束栅瓣:

- 使用带横通孔的参考试块;
- 使用符合 EN 12668-2 的电磁声波接收器;
- 使用仿真软件。

该操作步骤考虑了栅瓣的存在, 验收标准取决于具体应用。

#### 8.3.3.6.2 检测方法

所述方法用于确定选定反射体对同一声束不同角度反射的信号。

用探头扫查参考试块表面, 或者扫查参考试块圆柱面, 用电磁声波接收器测量接收到的信号。

根据对应的探头位置或电磁声接收器的扫查角度, 绘制信号波幅图。

记录轨迹的最大幅度及其对应角度。

#### 8.3.3.6.3 报告

测试结果记录在系统记录表上。

### 8.3.4 液浸式探头的声束特性

#### 8.3.4.1 通则

本条针对液浸式探头的检测进行描述。

根据应用设置仪器以进行测量。

在一些应用中, 应对多条声束进行特性评价。这些声束可用同样的设置参数或每一声束用不同设置。根据设备可提供的设置, 此阶段的特性描述可用一组参数设置产生全部声束, 或者逐个设置以产生每一声束。

例如, 扇扫时, 可根据极限值和中值延迟法则来确定声束特性:

- 对应扇扫设定一组参数, 且扇扫的三条声束各进行一次测量;

或者,

- 按顺序设置三组参数, 并对每一组进行声束测试。

在对每个参数进行测量前, 应检查阵元信号的未饱和性(详见 8.3.2)。

#### 8.3.4.2 折射角——工件上的入射点

##### 8.3.4.2.1 通则

本方法可同时获取折射角和探头入射点等同值(即工件表面和声束轴的交叉点), 这一点称作工件声束入射点。要求使用至少有 4 个不同深度横通孔的参考试块(参见图 5)。

##### 8.3.4.2.2 检测方法

将液浸式探头放置在与实际应用相同角度和声程的横通孔参考试块上方。

找到每个横通孔最大的回波值。

对每个横通孔的最大回波幅度, 检测阵元信号的未饱和性(参见 8.3.2)。

每个横孔位置测量孔轴的正交投影与探头面中心的距离( $a_i$ )。

在参考试块的截面比例图上绘制对应这些距离( $a_i$ )的孔深( $d_i$ )位置点, 画一条直线穿过这些点。

这样就能同时确定工件的入射点和折射角。工件的声束入射点对应图 4 的距离  $X$ , 折射角  $\theta$  按公式(4)

进行计算：

$$\theta = \arctan\left(\frac{a_i - a_1}{d_i - d_1}\right) \dots\dots\dots(4)$$

**8.3.4.2.3 报告和验收标准**

测试结果记录在系统记录表上。

测得的折射角应在延迟法则设置的规定值的±2°之内；若折射角大于 65°，则测得的角度应在规定值±5°之内。

**8.3.4.3 沿声束轴的灵敏度**

**8.3.4.3.1 通则**

对于液浸式探头，根据激发孔径的不同，同时记录回波幅度和探头扫描运动来进行测量。该测量要求使用在关注范围内具有不同深度、等直径反射体的参考试块。用反射体生成距离幅度曲线。

如果仪器支持自动记录沿声束轴灵敏度（如距离振幅曲线或者类似 TCG 的自动校正功能），该仪器特性可用于声束特性的测定。

使用如图 5 所示的带横通孔的反射体。

可使用平面反射体（如平底孔），但是实用性比较差。因其只适合垂直入射到反射体的声束角度。

**8.3.4.3.2 检测方法**

将浸液中的探头移至参考试块上方，浸液路径根据实际应用确定。

使探头的人射平面垂直于圆柱横孔轴线，并在参考试块上移动扫描。

验证所有反射体的最大回波幅度达到满屏高度 80% 以上，并检验阵元信号的未饱和性（见 8.3.2）。

记录对应的增益值  $G_{ref}$ （录入系统测试记录表），作为之后进行系统稳定性的距离幅度测量的参考增益。

测量每个回波的幅度最大值。

在坐标上标出对应反射体深度的幅度，绘出距离幅度曲线。

记录曲线上的最高幅度和其对应的曲线深度。

测量从曲线最高点下降 6 dB 对应的两点的坐标（深度）间差值，记录该值，其即为聚焦区长度。

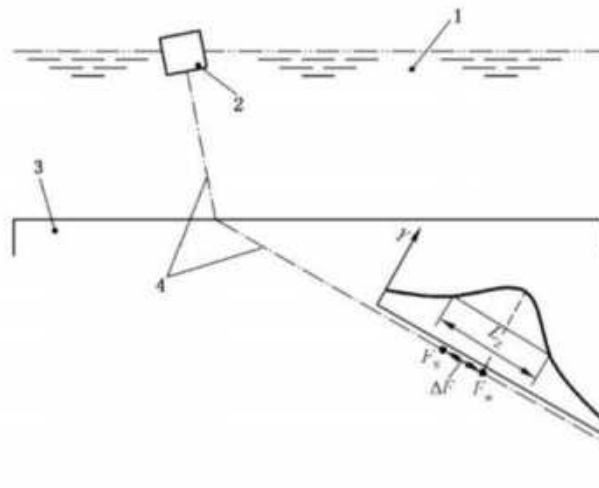
**8.3.4.3.3 报告和验收标准**

距离幅度曲线和增益  $G_{ref}$  应记录至系统记录表。

设定参数以聚焦声束时，曲线最大幅度、聚焦区相关距离和长度应记录到系统记录表。

沿声束轴的规定焦点和实测焦点之间的位置差值应小于或等于聚焦区长度的二分之一（见图 8）。





标引序号说明:

X —— 距离;

Y —— 幅度;

$L_z$  —— 聚焦区长度(-6 dB);

$F_s$  —— 规定焦点位置;

$F_m$  —— 实测焦点位置;

$\Delta F$  —— 沿轴规定焦点和实测焦点间位置差的绝对值;

1 —— 耦合剂;

2 —— 探头;

3 —— 试块;

4 —— 沿轴声程。

图 8 聚焦声束的沿轴灵敏度

#### 8.3.4.4 声束尺寸

##### 8.3.4.4.1 通则

根据实际操作激发孔径,通过同时记录回波幅度和探头扫描运动进行测量。为了给声束形状定性,宜使用横通孔或半球形底孔。只有当直径远小于待测量声束时,才可使用平底孔。

横通孔只能用于测量入射平面声束尺寸。

##### 8.3.4.4.2 检测方法

###### a) 使用带横通孔的参考试块

该操作步骤与 8.3.3.4.2 a) 相似。

1) 将探头放在参考试块上方;

2) 在参考试块上移动探头,使其入射面垂直于参考试块的横通孔孔轴,以获得探头覆盖区域内这些反射体的回波;

3) 对于反射体的最高幅度回波,要检查其阵元信号的未饱和性(见 8.3.2);

4) 记录下每个反射体回波下降 6 dB 时探头的位置。用两个 -6 dB 位置点的间距乘以折射角的余弦,可得出入射面和声束轴垂直面的声束尺寸。

###### b) 使用带半球形底孔或平底孔的参考试块

该操作步骤与 8.3.3.4.2 b) 相似。侧面平行且不同距离位置的半球形底孔参考试块 (参见图 7), 可用于两垂直平面的声束尺寸测量。

- 1) 将探头放在参考试块上。
- 2) 在参考试块上移动探头, 使其入射面垂直于参考试块的横通孔孔轴, 以获得探头覆盖区域内这些反射体的回波。
- 3) 对于来自反射体的最高幅度回波, 检测其阵元信号的未饱和性 (详见 8.3.2)。
- 4) 记录反射体幅度下降 6 dB 的探头位置。用两个 -6 dB 探头位置的间距乘以折射角的余弦, 可得出入射面和声轴垂直面的声束尺寸。
- 5) 确定每个反射体垂直于入射平面方向、幅度下降 6 dB 时的探头位置。两个探头位置间的距离决定了垂直于入射平面的声束尺寸 (声束宽度)。

#### 8.3.4.4.3 报告

声束尺寸测量结果记录至系统记录表。

### 8.4 成像检查

#### 8.4.1 通则

相控阵系统提供了在重建 2D 图像上观察采集到的数据的可能性 (如: E 扫图、S 扫图)。这些图是从系统具体算法产生的, 应对其进行评估。

以下这些测试应使用合适的参考试块:

- 对比参考试块上的位置, 检验图像中反射体的位置;
- 对比实测声束大小, 检验图像中 -6 dB 点位置;
- 对比相应的 A 扫幅度, 检验图像中信号幅度 (颜色编码);
- 对比相应的 A 扫, 检验图像中的 TOF。

#### 8.4.2 反射体定位

##### 8.4.2.1 检测方法

应使用具有覆盖关注区域的反射体的参考试块 (例子参见图 5、图 7), 验证图像中的指示位置 (在完整显示范围内)。

将探头放在试块上, 使在重建 2D 图像上能观察到关注区内不同深度至少两个反射体。

测量图像中反射体的位置和实际的位置, 计算两者间偏差。

##### 8.4.2.2 报告

将偏差记录至系统记录表。这些偏差给出了系统定位性能的量化数值。

#### 8.4.3 -6 dB 斑点尺寸

##### 8.4.3.1 检测方法

移动探头, 使其入射平面垂直于孔中心线 [横通孔或平底孔, 见 8.3.3.4.2 a) 或 b)], 并使中值发射的反射体回波幅度达到最大值。

测量图像中垂直于中值发射轴的 -6 dB 点尺寸。

### 8.4.3.2 报告

将对应中值延迟法则发射测量到的-6 dB声束尺寸和回波大小,记录至系统记录表。

### 8.4.4 幅度比较

#### 8.4.4.1 检测方法

移动探头使其入射平面垂直于孔中心线(横通孔或平底孔,见 8.3.3.4.2 a)或 8.3.3.4.2 b)),使中值发射的反射体回波幅度达到最大值。

确定 A 扫幅度最大值并与图像幅度比较。

#### 8.4.4.2 报告

将 A 扫和图像幅度差值记录至系统记录表。

## 9 第 2 组测试

### 9.1 通则

应测试确认以下特性不随时间出现变化:

- 一般条件和外观;
- 阵元相对灵敏度;
- 放大系统的线性;
- 虚拟探头绝对灵敏度;
- 虚拟探头相对灵敏度;
- 接触式探头的探头入射点;
- 接触式探头折射角;
- 接触式探头偏向角。

如果在第 1 组测试后立即进行第 2 组测试,无需进行表 2 脚注中提到的相同测试。

参数的检验可参考在本系统或相同系统(见 3.4)上之前进行声束定性的最新结果。

当参数不再符合验收标准时,除非最初检测就已考虑并评估这些误差(见 9.3.5),否则要根据第 8 章规定进行完整的性能测试。

### 9.2 设备外观检查

#### 9.2.1 检测方法

从外表面、探头、电缆线和连接器对相控阵设备进行外观检查,查找是否有影响系统当前使用及长期稳定性的破损或磨损现象。

特别是要观察探头楔块。如果探头是由各种组件组成,验证是否正确组装。

#### 9.2.2 验收标准

楔块应没有影响声束特性的任何机械性损伤。

电缆应连接正常。

### 9.3 阵元相对灵敏度

#### 9.3.1 通则

该检测是为了验证阵元相对灵敏度可能存在的变化并不影响系统的正常运行。必要时,应采取校正措施。

要注意不同探头的阵元相对灵敏度会不同,所以会出现测试系统和参照系统间的差异。

测试过程中,如果相控阵超声仪器能够启动,必要时应提升阵元补偿。如果有一个或多个阵元失效时,应重新进行完整的声束定性。

#### 9.3.2 检测方法

对激发孔径中不同阵元灵敏度测量应采用与 8.2.3.2 中第 1 组测试相同的参数。

#### 9.3.3 识别失效阵元

应计算并记录新的  $A_{\min}$  值。

出现以下情况时,判断阵元为失效阵元:

- a)  $\Delta S_{\text{el}} < -12$  dB,当仪器能够对阵元增益进行补偿时;
- b)  $\Delta S_{\text{el}} < -9$  dB,当仪器没有补偿电路时。

#### 9.3.4 灵敏度变化补偿

任一阵元出现灵敏度相对  $A_{\min}$  误差大于 3 dB(绝对值),在相控阵超声仪器有条件的情况下则应按照 8.2.3.5 对其进行补偿。

如果无法实现补偿,而灵敏度误差大于平均值 3 dB 的阵元并非之前性能检验阶段记录的那些阵元的话,宜对受影响激发孔径重新进行声束定性。

#### 9.3.5 验收标准

根据 8.2,如果出现一个或多个失效阵元,应对受影响的激发孔径重新进行声束定性。以下 2 种情况除外:

- a) 仿真实验能够证明失效阵元的存在不会对声束的定性造成可测量的影响;
  - b) 失效阵元数量应不超过同一激发孔径总阵元数的 1/16,且失效阵元不相邻。
- 新  $A_{\min}$  值比  $A_{\text{el}}$  值下降超过 6 dB 时应进行维修操作,除非应用可接受此信噪比。

### 9.4 放大系统的线性

#### 9.4.1 检测方法

将探头放置在校准试块上(如果是液浸式探头,则放在上方),指定一个能够获取较小反射体反射信号的激发孔径。

调整增益使信号达到满屏高度的 80%,记录下校准增益控制值  $G_0$ (单位 dB)。

把增益  $G_0$  降低 6 dB,确认信号下降到满屏高度的 40%。

将增益再降低 6 dB,确认信号下降到满屏高度的 20%。

#### 9.4.2 验收标准

垂直显示线性的验收标准见表 5。

表 5 垂直显示线性的验收标准

增益设置/dB	幅度占满屏高度/%	可接受幅度占满屏高度/%
+2	101	最小 95
0	80	参考线
-6	40	37~43
-12	20	17~23

## 9.5 虚拟探头绝对灵敏度

### 9.5.1 通则

本测试用于检测系统绝对灵敏度,以发现任何漂移。按照 8.3.3.3 或 8.3.3.4 进行测量,并与之前测量结果进行对比。

### 9.5.2 检测方法

分别使用 8.3.3.3.2 或 8.3.4.3.2 中应用的设置或参考试块。  
选择产生最高回波幅度的反射体。  
调整增益,使反射体回波幅度达到满屏高度的 80%,并记录增益值。  
将增益值分别与 8.3.3.3.2 和 8.3.4.3.2 中测量的  $G_{ref}$  相比较。

### 9.5.3 验收标准

使用的增益不应超过  $G_{ref} \pm 4$  dB 的范围。  
所用增益比  $G_{ref}$  下降超过 4 dB 时应进行维修操作,除非应用可接受此信噪比。

## 9.6 虚拟探头相对灵敏度

### 9.6.1 通则

该检测使用同一延迟法则,检查模式 3 和 4 中所有虚拟探头灵敏度的均匀性。只采用一个选定的延迟法则。

### 9.6.2 检测方法

该测试要求参考试块在关注区内有至少两个相同类型和大小,但不同深度的反射体。  
探头应在第一个反射体上方移动,以获取所有虚拟探头接收到的来自该反射体的回波幅度,并录入系统记录表。

若仪器具有相应功能,应执行虚拟探头的标准化。

然后,探头在其他反射体上方移动,来获取所有虚拟探头接收到来自这些反射体的回波幅度,并录入系统记录表。

### 9.6.3 验收标准

将所有虚拟探头标准化后,使用相同延迟法则,每一反射体深度的幅度显示应在平均幅度响应的  $\pm 2$  dB 内。

对于之后的定期检查,采用之前相同的标准化和验收标准。

如果没有采用标准化,那么使用本系统时应考虑由此产生的影响。

## 9.7 探头入射点

### 9.7.1 通则

在检验阵元通道的未饱和性之后进行这些检测。

接触式探头应测定探头入射点。它用于确认之前发现的,可能存在的探头楔块磨损或阵元失效,对声束定性没有影响。

因此:

- 当没有失效阵元时,应使用配置中一个激发孔径的一次发射,测量探头入射点;
- 当存在失效阵元时,应使用配置中每个受影响激发孔径的一次发射,测量探头入射点。

如果出现了失效阵元并存在以下情况之一,则可只进行一次测量:

- a) 仿真测试能证明,失效阵元的存在不影响声束定性;
- b) 失效阵元数量应不超过同一激发孔径总阵元数的 1/16,且失效阵元不相邻。

### 9.7.2 检测方法

根据 8.2.3.2 步骤测量探头入射点。

### 9.7.3 验收标准

探头入射点测量值应在系统记录表初始报告值的 $\pm 1$  mm 范围内。

激发孔径尺寸小于或等于 15 mm,频率小于或等于 2 MHz 的斜探头,探头入射点测量值应在系统记录表初始报告值的 $\pm 2$  mm 范围内。

## 9.8 折射角

### 9.8.1 通则

首先应验证阵元通道为未饱和。

对每一种情况都应验证折射角。

本测试用于验证之前已发现的可能失效阵元带来的影响。

对于接触式探头,本测试也用于验证探头楔块可能存在的磨损对声束定性没有影响。

对于液浸式探头,本测试还用于验证定位系统可能存在的漂移对声束定性没有影响。

因此:

- 当没有失效阵元时,应使用配置中一个激发孔径的一次发射,测量探头入射点;
- 当存在失效阵元时,应使用配置中每个受影响激发孔径的一次发射,测量探头入射点。

如果出现了失效阵元并存在以下情况之一,则可只进行一次测量:

- a) 仿真测试能证明,失效阵元的存在不影响声束定性;
- b) 失效阵元数量应不超过同一激发孔径总阵元数的 1/16,且失效阵元不相邻。

### 9.8.2 检测方法

应根据 8.3.3.2(接触法)或者 8.3.4.2(液浸法)测量折射角。

### 9.8.3 验收标准

测得的折射角应在延迟法则设置的规定值的 $\pm 2^\circ$ 之内；若折射角大于 $65^\circ$ ，则测得的角度应在规定值 $\pm 5^\circ$ 之内。

## 9.9 接触式探头的偏向角

### 9.9.1 通则

可用三个方法对探头偏向角进行评价：

- 使用符合 EN 12668-2 的带横通孔参考试块；
- 使用角试块；
- 使用符合 EN 12668-2 的电磁声波接收器。

### 9.9.2 检测方法

转动探头来获得选定反射体的最大信号，以此测试探头的偏向角。

### 9.9.3 报告

测试结果记录至系统记录表(第 10 章)。

## 10 系统记录表

系统记录表应至少包含以下几种信息：

- a) 测量结果；
- b) 测试日期；
- c) 系统类型和序列号(仪器、探头和电缆)；
- d) 所使用的参考试块；
- e) 软件版本；
- f) 操作模式；
- g) 测试时的声束参数/设置；
- h) 操作者姓名及签名。

附 录 A  
(资料性)  
测试项目及验收标准

测试项目及验收标准见表 A.1。

表 A.1 测试项目及验收标准

项目	接触式 探头	液浸式 探头	报告及验收标准
第 1 组测试			
阵元和通道			
通道分配	8.2.2	8.2.2	最长 TOF 与离反射体最远的阵元相对应； 最短 TOF 与离反射体最近的阵元回波相对应； 接收信号的 TOF 随阵元位置单调变化
阵元相对灵敏度	8.2.3	8.2.3	失效阵元数量应不超过同一激发孔径总阵元数的 1/16，且失效阵元不相邻
声束特性			
未饱和性	8.3.2	8.3.2	合成信号的 +2 dB, -6 dB, -12 dB 线性误差应在 ±3% 范围内。基准参考值为 80%
探头入射点	8.3.3.2		记录至系统记录表中
折射角	8.3.3.2		记录至系统记录表中； 测得的折射角应在延迟法则设置的规定值的 ±2° 之内；若折射角大于 65°，则测得的角度应在规定值 ±5° 之内
折射角——工件上的入射点		8.3.4.2	记录至系统记录表中； 测得的折射角应在延迟法则设置的规定值的 ±2° 之内；若折射角大于 65°，则测得的角度应在规定值 ±5° 之内
沿声束轴灵敏度	8.3.3.3	8.3.4.3	记录至系统记录表中(接触式探头)； 距离幅度曲线和增益 $G_{ref}$ 记录于系统记录表(液浸式探头)
声束尺寸	8.3.3.4	8.3.4.4	记录至系统记录表中
偏向角	8.3.3.5		记录至系统记录表中
栅瓣(推荐)	8.3.3.6		记录至系统记录表中
成像检查			
反射体定位	8.4.2	8.4.2	记录至系统记录表中
-6 dB 斑点尺寸	8.4.3	8.4.3	记录至系统记录表中
幅度比较	8.4.4	8.4.4	记录至系统记录表中



表 A.1 测试项目及验收标准 (续)

项目	接触式 探头	液浸式 探头	报告及验收标准
第 2 组测试			
仪器外观检查	9.2	9.2	楔块没有影响声束定性的机械性损伤。电缆连接状况良好
阵元相对灵敏度	9.3	9.3	根据 8.2, 如果新出现一个或多个失效阵元, 应对受影响的激发孔径重新进行声束定性。以下 2 种情况除外: a) 仿真实验能够证明失效阵元的存在不会对声束的定性造成可测量的影响; b) 失效阵元数量应不超过同一激发孔径总阵元数的 1/16, 且失效阵元不相邻。 $A_{\text{min}}$ 值比 $A_{\text{ref}}$ 值下降超过 6 dB 时应进行维修操作, 除非应用可接受此信噪比
放大系统线性	9.4	9.4	合成信号的 +2 dB, -6 dB, -12 dB 线性误差应在 $\pm 3\%$ 范围内。基准参考值为 80%
虚拟探头绝对灵敏度	9.5	9.5	使用的增益值应在 $G_0 \pm 4$ dB 的范围内; 所用增益比 $G_0$ 下降超过 4 dB 时应进行维修操作, 除非应用可接受此信噪比
虚拟探头相对灵敏度	9.6	9.6	将所有虚拟探头标准化后, 使用相同延迟法则, 每一反射体深度的幅度显示应在平均幅度响应的 $\pm 2$ dB 内; 如果没有采用标准化, 那么使用系统时要考虑由此产生的影响
探头入射点	9.7	9.7	探头入射点测量值应在系统记录表初始报告值的 $\pm 1$ mm 范围内; 激发孔径尺寸小于或等于 15 mm, 频率小于或等于 2 MHz 的斜探头, 探头入射点测量值应在系统记录表初始报告值的 $\pm 2$ mm 范围内
折射角	9.8	9.8	测得的折射角应在延迟法则设置的规定值的 $\pm 2^\circ$ 之内; 若折射角大于 $65^\circ$ , 则测得的角度应在规定值 $\pm 5^\circ$ 之内
偏向角	9.9		记录至系统记录表中

参 考 文 献

- [1] ISO 2400 Non-destructive testing—Ultrasonic testing—Specification for calibration block No. 1
- [2] ISO 7963 Non-destructive testing—Ultrasonic testing—Specification for calibration block No. 2
- [3] ISO 19675 Non-destructive testing—Ultrasonic testing—Specification for a calibration block for phased array testing (PAUT)
- [4] EN 12668-2 Non-destructive testing—Characterization and verification of ultrasonic examination—Part 2: Probes
-