

ICS 19.100
N 78
备案号: 45653—2014

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 11779—2014

无损检测仪器
相控阵超声检测仪技术条件

Non-destructive testing instrument
—Specifications for phased array ultrasonic testing instruments

2014-05-06 发布

2014-10-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 符号和含义.....	3
5 要求.....	4
5.1 一般要求.....	4
5.2 稳定性.....	5
5.3 发射器.....	5
5.4 接收器.....	6
5.5 定位误差.....	7
5.6 安全要求.....	7
6 检验方法.....	8
6.1 检验条件.....	8
6.2 检验器具.....	8
6.3 外观.....	8
6.4 温度的稳定性检测.....	9
6.5 电池工作时间检测.....	9
6.6 发射脉冲参数检测.....	9
6.7 脉冲重复频率检测.....	10
6.8 有效输出阻抗检测.....	10
6.9 发射延时精度检测.....	11
6.10 相邻通道串扰隔离度检测.....	11
6.11 有效增益范围检测.....	11
6.12 放大器频率响应检测.....	12
6.13 输入阻抗检测.....	12
6.14 模拟增益衰减器精度检测.....	12
6.15 时间相关增益(TDG)检测.....	12
6.16 通道一致性检测.....	14
6.17 相控阵检测仪线性检测.....	14
6.18 定位误差检测.....	17
6.19 基本安全要求.....	17
7 检验规则.....	18
7.1 出厂检验和型式检验项目.....	18
7.2 出厂检验.....	19
7.3 型式检验.....	19
7.4 判定规则.....	19
8 标志、包装、运输和贮存.....	19

8.1 标志.....	19
8.2 包装、运输和贮存.....	19
附录 A (资料性附录) 相控阵校准试块.....	21
附录 B (资料性附录) 相控阵线性试块.....	22
图 1 防止发射脉冲损坏检测设备的保护电路.....	8
图 2 电池工作时间曲线.....	9
图 3 测量的发射脉冲参数.....	10
图 4 测试信号波形.....	11
图 5 通用测试设备.....	13
图 6 显示高度线性.....	15
图 7 相控阵检测仪通道 1 上的底波 A 扫描显示.....	15
图 8 水平线性 A 扫描.....	16
图 A.1 相控阵校准试块.....	21
图 B.1 相控阵线性试块.....	22
表 1 符号和含义.....	3
表 2 仪器通道灵敏度: 调节接收器增益使波幅为全屏高度的 80%.....	14
表 3 线性检查报告.....	16
表 4 出厂检验和型式检验.....	18

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国试验机标准化技术委员会（SAC/TC122）归口。

本标准起草单位：广东汕头超声电子股份有限公司超声仪器分公司、武汉中科创新技术股份有限公司、南昌铁路局工务检测所、南通友联数码技术开发有限公司、华南理工大学电子与信息学院、辽宁仪表研究所、云南省特种设备安全检测研究院、常州超声电子有限公司、太原重型机械集团有限公司、黑龙江省电力科学研究院金属所、宝鸡机车检修厂、广州多浦乐电子科技有限公司。

本标准主要起草人：陈伟、詹红庆、詹俊生、王子成、马跃平、郭振祥、姚若河、徐波、陆健、潘振新、常静川、池永斌、王亚象、张瑞。

本标准为首次发布。

3.6

有效增益范围 dynamic range

相控阵检测仪能够显示的最大信号幅度与最小信号幅度之比。最小信号可受系统噪声的限制，最大信号可受放大器饱和的限制，而且在显示屏上能够显示的最大信号还受到最大衰减的限制。

3.7

显示高度线性 display height linearity

相控阵检测仪屏幕上读出信号的垂直刻度值与输入信号幅度成正比的接近程度。

3.8

幅度控制线性 amplitude control linearity

相控阵检测仪屏幕上读出的单个发射-接收通道回波信号的垂直刻度值与输入信号幅度成正比的接近程度。

3.9

外部衰减器 external attenuator

用于检测相控阵检测仪的可溯源的经过校准的标准衰减器。

3.10

增益中间值 mid gain position

相控阵检测仪增益设置到其最大值与最小值之和的一半，用分贝（dB）表示。

例如某台相控阵检测仪的最大增益为 100 dB，最小增益为 0 dB，则增益中间值为 50 dB。

3.11

脉冲上升时间 pulse rise time

脉冲前沿的幅度从其峰值幅度的 10% 上升到 90% 所需的时间。

3.12

脉冲反冲 pulse reverberation

发射脉冲波形中，预期输出后的第二个回波的最大幅度。

3.13

接收器输入阻抗 receiver input impedance

以等效成并联的电阻和电容表征的接收器内部阻抗的特性。

3.14

发射器 pulses in the phased-array instrument

相控阵检测仪中激发阵元组件，其数量通常和相控阵虚拟通道数相同。

3.15

脉冲宽度 pulse duration

在规定峰值幅度的一定水平上所测得的脉冲（回波）前沿和后沿之间的时间间隔。通常是峰值幅度的 10% 的时间间隔。

3.16

窄脉冲 short pulse

脉冲幅度超过其峰值幅度一半的时间间隔内，占宽小于 1.5 个周期的射频脉冲。

3.17

时间相关增益 time-dependent gain (TDG)

某些相控阵检测仪具有的时间与增益相关功能，用于补偿由于传播声程而引起的回波信号的衰减。

3.18

角度增益校准 angle corrected gain (ACG)

用于在 S 扫描校准期间，补偿从固定深度横孔接收的信号幅度变化。补偿一般以电子方式在多个不同深度进行。ACG 有技术限制，也就是说，当超过一定角度范围时不可能补偿。

3.19

电子扫描 electronic scan

也称为 E 扫描。相同的聚焦法则采用一组活性阵元多路传输的方法；电子栅格扫描沿着相控阵探头的长度方向以相同角度进行。这与传统超声探头的栅格扫描等同，也称电子扫描。

3.20

聚焦法则 focal law

影响相控阵探头脉冲反射或一发一收方式声场灵敏度的整套硬件和软件参数。在聚焦法则中，有发射延时法则、接收延时法则、叠加加权（归结）法则和阵元激发法则。

3.21

线阵探头 linear array probes

以沿一直线排列并按一定的组合和顺序工作的换能器阵为主体的超声波探头。

3.22

扇形扫描 sectorial scan

也称 S 扫描或方位角扫描。这是根据声束移动和数据显示的形状命名的。显示的是由给定的阵元组产生的所有在延时和折射角校准后的 A 扫数据组成的二维图像，可看作同一组阵元用聚焦法则在一定的角度范围内声束移动扫描。

3.23

帧频 frame frequency

指成像系统每秒内可成像的帧数，或称帧率。帧频、扫描线、扫描范围三者乘积相对于特定被检材料通常为定值，通常扫描线越多，图像连续性越好，更为清晰，帧频越高，图像越稳定。实时相控阵检测仪通常要求在每秒 30 帧以上。

4 符号和含义

符号和含义见表 1。

表 1 符号和含义

符 号	单 位	含 义
A_o 、 A_n	dB	检测过程中所用的衰减器的设定值
C_{max}	pF	最大增益时接收器的并联电容
C_{min}	pF	最小增益时接收器的并联电容
D_s	dB	发射过程中发射能量泄漏抑制
f_l	Hz	-3 dB 时的下限频率
f_{max}	Hz	频谱中最大幅度的频率
f_u	Hz	-3 dB 时的上限频率
f_0	Hz	中心频率
N	—	测量次数
n_n	V/\sqrt{Hz}	接收器输入端的每平方根带宽噪声
R_l	Ω	端电阻
R_{max}	Ω	最大增益时接收器的输入电阻

表 1 符号和含义 (续)

符 号	单 位	含 义
R_{\min}	Ω	最小增益时接收器的输入电阻
S	dB	衰减器设定值
T_{final}	s	时间相关增益曲线结束时间
T_0	s	时间相关增益曲线开始时间
t_d	s	脉冲宽度
t_r	s	发射脉冲幅度从峰值幅度的 10% 达到 90% 的上升时间
U_E	V	接收器输入电压
U_{cin}	V	接收器等效输入噪声
U_{in}	V	输入电压
U_{max}	V	接收器最大输入电压
U_{min}	V	接收器最小输入电压
U_r	V	发射脉冲反冲幅度
U_{50}	V	带有 50 Ω 负载的发射器, 其发射脉冲的电压幅度
U_{75}	V	带有 75 Ω 负载的发射器, 其发射脉冲的电压幅度
Z_0	Ω	发射器的输出阻抗
Δf	Hz	频带宽度
ΔT	s	时间增量

5 要求

5.1 一般要求

相控阵检测仪应满足的条件及应列出的特性参数如下:

- a) 生产企业通过 GB/T 19001 质量管理体系认证, 或产品获得由有资质的检测机构检测合格并出具检测报告;
- b) 标明制造商名称、型号和系列, 并在底板和外壳上标明唯一编号;
- c) 附有与相控阵检测仪型号和系列相符的出厂合格证;
- d) 附有与相控阵检测仪型号和系列相符的使用说明书;
- e) 附有与出厂配置相符的装箱单;
- f) 结构: 外形尺寸、结构简图;
- g) 质量 (在工作条件下);
- h) 电源类型;
- i) 电池工作时间;
- j) 按照技术要求工作时, 温度和电压 [交流电和 (或) 电池] 的范围, 如需预热, 应规定预热时间;
- k) 外壳防护等级 (IP 代码);
- l) 当电池电压过低使相控阵检测仪性能低于技术要求时的指示方式;
- m) 探头插座型号;
- n) 仪器的外部接口 (包括输入、输出);

- o) 成像的帧频;
- p) 闸门信号输出 (包括闸门数量、闸门测量模式、报警方式等);
- q) 仪器的内部存储器容量 (不含可移动存储介质, 单位统一为 Byte) 及类型;
- r) 外部编码器类型、技术指标 (精度);
- s) A/D 转换器位数及采样;
- t) 显示器尺寸及分辨率;
- u) A 型显示的像素数量;
- v) B 型显示的区域;
- w) 显示器彩色的位数。

5.2 稳定性

5.2.1 温度的稳定性

在相控阵检测仪工作温度范围内, 温度每变化 10°C 时, 参考回波的幅度和位置的变化最大允许值分别为 $\pm 5\%$ 和 $\pm 1\%$ 。

5.2.2 电池工作时间

电池工作时间不少于制造商的提供值。

5.3 发射器

5.3.1 发射器项目

发射器应详细列出下列各项:

- a) 发射脉冲波形 (即方波, 单向或双向), 如需要时, 还应包括极性;
- b) $50\ \Omega$ 无感电阻输出负载条件下脉冲强度设置:
 - 1) 发射脉冲电压 (峰-峰电压);
 - 2) 脉冲上升时间;
 - 3) 脉冲宽度 (对方波, 为脉冲宽度可调范围);
 - 4) 发射脉冲反冲幅度;
 - 5) 有效输出阻抗。
- c) 并行发射通道数 (虚拟通道)、物理通道数;
- d) 发射延时精度。

5.3.2 发射脉冲参数

发射脉冲应具有下列参数:

- a) 发射脉冲电压 (带负载, 例如 U_{50}) 应在制造商给定技术指标的 $\pm 10\%$ 范围内;
- b) 脉冲上升时间 t_r 应小于制造商给定的技术指标的最大值;
- c) 脉冲宽度 t_d 应在制造商给定技术指标的 $\pm 10\%$ 范围内;
- d) 发射脉冲反冲幅度 U_r 应小于峰-峰发射脉冲电压的 4% 。

5.3.3 脉冲重复频率

每种设置条件下, 在相控阵检测仪的技术指标范围内, 脉冲重复频率误差最大允许值为 $\pm 5\%$ 。

5.3.4 有效输出阻抗

有效输出阻抗应在给定的技术指标规定的 $\pm 20\%$ 范围内且不应大于 $50\ \Omega$ 。

同一相控阵检测仪各通道有效输出阻抗误差应在±10%范围内。

5.3.5 发射延时精度

发射延时精度应在给定的技术指标规定的±20%范围内，最大允许误差为±1 ns。

5.4 接收器

接收器应详细列出下列各项：

- a) 模拟增益衰减器的分贝 (dB) 范围、步进、精度等特性；
- b) 相邻通道串扰隔离度、通道一致性；
- c) 显示高度线性、幅度控制线性、水平线性；
- d) 每个频带设置的中心频率及带宽 (−3 dB)；
- e) 在所有规定频率范围内，相控阵检测仪的有效增益范围；
- f) 在规定频率范围内，相控阵检测仪的等效输入阻抗；
- g) 距离幅度校准功能包括可补偿有效增益范围、最大校准斜率 (dB/μs)、校准形式、TDG 控制的影响。

5.4.1 相邻通道串扰度隔离度

相邻通道串扰度隔离度应大于 50 dB。

5.4.2 有效增益范围

可用有效增益范围至少应为 80 dB。

5.4.3 放大器频率响应

中心频率应在给定的技术指标或控制器标明范围的±5%内。

带宽应在制造商规定的技术指标±10%范围内。

5.4.4 输入阻抗

在信号频率为 4 MHz、最大增益时，接收器的输入阻抗的实数部分 R_{\max} 应在 50 Ω~1 kΩ 范围内。并联电容应小于或等于 150 pF。在最大增益和最小增益时，输入阻抗的电阻 R_{\max} 和 R_{\min} 应满足公式(1)。

$$\frac{|R_{\max} - R_{\min}|}{R_{\max}} \leq 0.1 \dots\dots\dots (1)$$

在最大增益和最小增益时，输入阻抗的电容 C_{\max} 和 C_{\min} 应符合公式 (2)。

$$\frac{|C_{\max} - C_{\min}|}{C_{\max}} \leq 0.15 \dots\dots\dots (2)$$

5.4.5 模拟增益衰减器精度

模拟增益衰减器精度如下：

- a) 在任一连续 20 dB 范围内或整个范围 (选取两者中较小者) 内，衰减器在细调增益时的累积误差最大允许值范围为±1 dB；
- b) 在任一连续 60 dB 范围内或整个范围 (选取两者中较小者) 内，衰减器在粗调增益时的累积误差最大允许值范围为±2 dB。

5.4.6 时间相关增益 (TDG)

理论时间相关增益曲线与实际时间相关增益曲线的最大允差值为±1.5 dB。

5.4.7 通道一致性

接收器增益绝对误差最大允许值应在 ± 3 dB 范围内（扣除探头灵敏度不一致的影响，增益绝对误差定义为所有检测通道增益平均值和当前通道测量值之差），不允许出现通道损坏情况（无回波）。

5.4.8 相控阵检测仪线性

相控阵检测仪各线性检测如下：

- a) 显示高度线性：在 10%~100%（如 100%为饱和，则取 99%）全屏幕高度范围内，两个反射体的回波信号应保持 2:1 的关系，回波波动在 $\pm 3\%$ 全屏高度范围内。
- b) 幅度控制线性：回波信号应在表 3 规定的显示屏高 $\pm 3\%$ 范围内。
- c) 水平线性：按数模转换率转换成等值距离的允许误差来确定可接受的线性。例如，在 100 MHz 时，时基的每次采样为 10 ns。对于声速为 5 900 m/s 的钢，在脉冲回波方式时，沿着时基（10 ns）的每次采样为 30 μm 。大多数模数系统可达到 ± 3 个点的计时采样误差。有些允差为速度引起误差（约 1%）。对钢板而言，通常误差不应超过 ± 0.5 mm。

5.5 定位误差

使用软件评价的数据与相控阵校准试块上孔的实际位置进行对比。相控阵检测仪显示的声程所示的横孔位置误差应在 ± 0.5 mm 之内，孔深和偏移位置的误差应在 ± 0.5 mm 之内，孔的所有扫查角度误差应在 $\pm 1.0^\circ$ 之内。

5.6 安全要求

5.6.1 基本绝缘

相控阵检测仪（或其电源适配器）的交流电源输入端与地线之间的绝缘电阻不应小于 2 M Ω 。

5.6.2 加强绝缘

无击穿或重复的飞弧现象。

5.6.3 环境试验

相控阵检测仪的环境试验分组：应符合 GB 6587—2012 中 II 组仪器的要求。

5.6.4 温度试验

温度应符合 GB/T 6587—2012 中 II 组仪器的要求。

5.6.5 湿度试验

湿度应符合 GB/T 6587—2012 中 II 组仪器的要求。

5.6.6 振动试验

振动应符合 GB/T 6587—2012 中 II 组仪器的要求。

5.6.7 冲击试验

冲击应符合 GB/T 6587—2012 中 II 组仪器的要求。

5.6.8 外壳防护等级

外壳防护等级（IP 代码）按照 GB 4208 防护等级要求。

6 检验方法

6.1 检验条件

按 GB/T 6587—2012 中表 2 的规定。

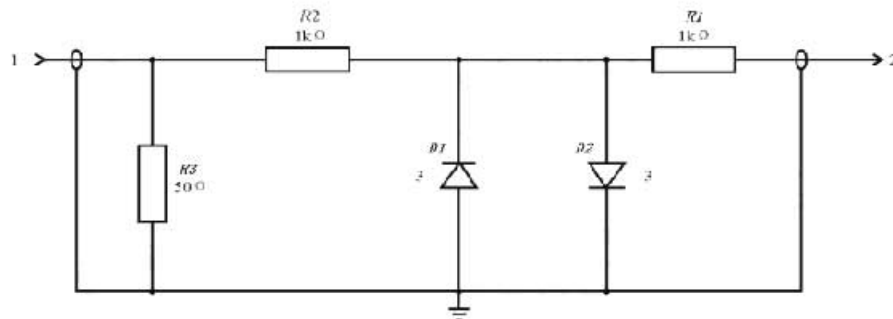
6.2 检验器具

检验所用器具条件如下：

- a) 带宽不小于 1 GHz 的双通道数字示波器。
- b) 阻值为 50 Ω 和 75 Ω，最大允许相对误差为 ±1% 的无感电阻。
- c) 步进 1 dB、总衰减量 100 dB、输出阻抗 50 Ω 的标准衰减器，当信号频率在 15 MHz 以内时，任意 10 dB 范围的累积误差应在 ±0.3 dB 以内。
- d) 任选一种：
 - 1) 一台任意波形发生器；
 - 2) 两台脉冲信号发生器。该发生器要带有外部触发或选通闸门，能输出两个门控的正弦射频信号串，这两个信号的幅度应能单独调整，调整范围应达到 20 dB。

注：如果使用两台脉冲信号发生器，要采用合适的匹配电路，使这两台信号发生器的输出合并为一路检测信号。

- e) 保护电路，其示例如图 1 所示。



说明：

- | | |
|------------|-------------|
| 1——信号发生器； | D1——硅开关二极管； |
| 2——相控阵检测仪； | D2——硅开关二极管。 |

图 1 防止发射脉冲损坏检测设备的保护电路

- f) 数字计时器，能够在 1 000 个（可调）触发脉冲后产生一个溢出脉冲，同时，能够测量两个相邻溢出脉冲的间隔时间，准确到 ±0.01%。
- g) 阻抗分析仪。
- h) 相控阵探头（垂直入射线性阵列探头，探头晶片数不少于相控阵检测仪的发射器数量，标称频率 5 MHz，阵元间距 0.55 mm，相控阵探头应保证阵元的完好性，灵敏度一致性在 ±2 dB 内）。
- i) 相控阵校准试块（参见附录 A）、相控阵线性试块（参见附录 B）。
- j) 环境试验箱。

注：在将示波器和（或）信号发生器连接到相控阵检测仪的发射器之前，应考虑是否接入保护电路（见图 1），以防止测试仪器被高发射电压击坏。

6.3 外观

目测相控阵检测仪的外观，检查是否存在影响正常工作及未来可靠性的外部损伤。

6.4 温度的稳定性检测

将相控阵探头连接到相控阵检测仪，移除任何探头延迟线和折射楔块。用一层均匀的耦合层将探头耦合到相控阵校准试块 25 mm 厚平面上，调整聚焦法则，设置一次激发一个阵元组成的电子扫描，调节相控阵检测仪，使屏幕产生同一个阵元两次 A 型回波信号。第一个回波信号的幅度调至全屏幕高度的 80%。调节水平范围，使这两个回波信号分别在屏幕宽度的 20% 和 80%。在测试过程中，探头和试块的温度变化不能大于 2℃，并且应采取防护措施，以免耦合条件发生变化。

把相控阵检测仪放入环境试验箱，调节试验箱的环境温度。在给定的技术指标规定的温度范围内，最多每间隔 10℃ 时读取回波高度及其位置。

6.5 电池工作时间检测

在电池充满电的情况下，将相控阵探头连接到相控阵检测仪，移除任何探头延迟线和折射楔块。用一层均匀的耦合层将探头耦合到相控阵校准试块 25 mm 厚平面上，调整聚焦法则，设置一次激发一个阵元组成的电子扫描，调节相控阵检测仪，使屏幕产生一个阵元全屏幕高度 50% 的 A 型显示回波，可采用接触法或液浸法进行评测。主要技术要求是参考反射体的反射信号在电池放电期间，应排除因耦合条件或位置的改变而发生幅度改变的情况。在脉冲重复频率、显示屏亮度调至最大值的前提下，尽可能将检测范围调节到最大，相控阵检测仪虚拟探头通道应全部打开，如果是幅度可调的发射脉冲，应在探头耐压允许情况下，将电压调至最高。

以不大于 15 min 的时间间隔，记下从参考试块反射的回波信号幅度，并用图表表示这些数值与时间的对应关系（图 2），直至显示回波幅度变化 10%，或相控阵检测仪自动关机为止。放电时间就是稳定状态发生变化所需的时间或至显示关断所需的时间，观察先出现的情况，即取该时间为放电时间，把数值记录下来。

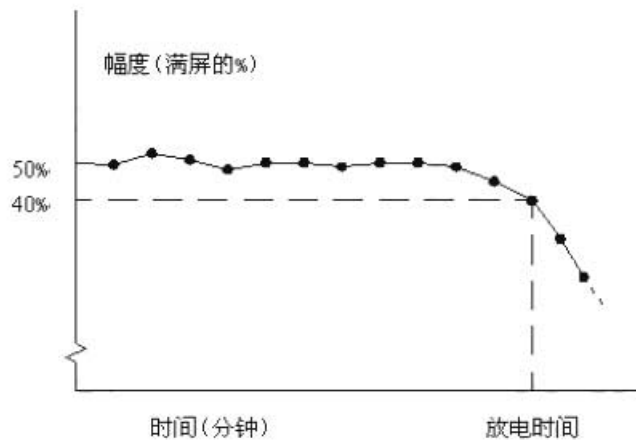


图 2 电池工作时间曲线

6.6 发射脉冲参数检测

发射脉冲波形和幅度的检测方法如下：

设置相控阵检测仪为 A 型显示，同时设置成一发一收（调整聚焦法则，设置一次激发一个阵元组成的电子扫描，通道 n 发射，通道 $n+1$ 接收， n 开始定义为 1），连接示波器至相控阵检测仪的发射端。

注：连接示波器前，要检查示波器的输入情况，以免被高发射电压损坏。

脉冲重复频率调至最大，发射输出端并联一个 50 Ω 的无感电阻。用示波器测量发射脉冲电压 U_{50} 、脉冲上升时间、脉冲反冲的幅度，如图 3 所示。

设置脉冲不同发射强度和（或）发射脉冲频率、在最大及最小阻尼电阻时重复进行测试。

在最小脉冲重复频率下，在示波器屏幕上清晰显示波形时重复进行测试。

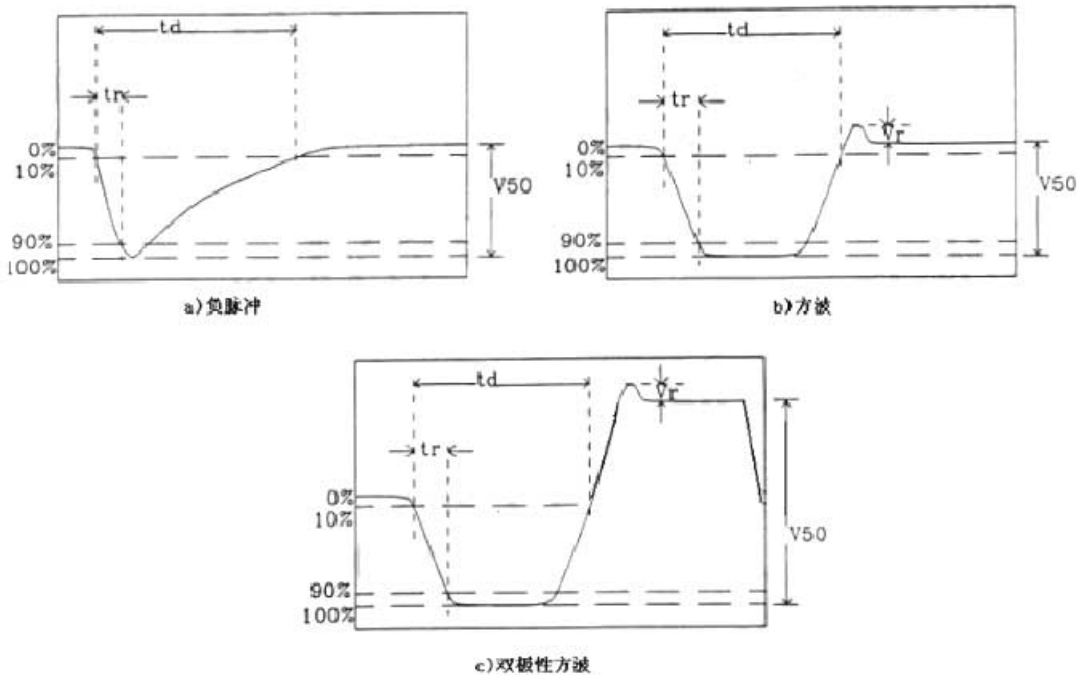


图3 测量的发射脉冲参数

将示波器接上另外一个通道发射端，重复上面测量过程，检测应按 $n=1, 2, 3, 4, \dots$ (n 最大值为相控阵检测仪发射器数) 顺序进行。

每个发射器应在最大和最小脉冲重复频率、各种脉冲强度条件下测量。

6.7 脉冲重复频率检测

相控阵检测仪发射脉冲重复频率定义为相控阵检测仪执行两个相邻聚焦法则时间的倒数。通常一帧频图像由多个聚焦法则组成。

设置相控阵检测仪为 A 型显示，相控阵检测仪设置成一发一收（调整聚焦法则，设置一次激发一个阵元组成的电子扫描，通道 n 发射，通道 $n+1$ 接收， n 开始定义为 1），连接示波器至相控阵检测仪的发射端。

注：检查示波器的输入，以防被高发射电压损坏。

用示波器测量脉冲重复频率，应在每一种会产生不同的脉冲重复频率的设置条件下进行测试。在多个组合控制（如调整聚焦法则时，仪器脉冲重复频率通常会发生改变，我们称为组合控制），仅需采用其中一个组合来测量脉冲重复频率（上面相控阵检测仪设置为测量最高脉冲重复频率的聚焦法则）。对于脉冲重复频率连续可调的检测，应从制造商给出的技术指标中选择设定条件进行测试。

6.8 有效输出阻抗检测

采用与 6.6 相同的测试方法，在相控阵检测仪的发射输出端并联一个 $50\ \Omega$ 的无感电阻，用示波器测量发射脉冲电压 U_{50} 。用 $75\ \Omega$ 的电阻替换 $50\ \Omega$ 的电阻，测量发射脉冲电压 U_{75} 。在每种发射脉冲强度和发射脉冲频率、最大和最小阻尼电阻条件下测量上述电压。每种发射脉冲条件设置下，用公式 (3) 求出有效输出阻抗 Z_0 ：

注：电压 U_{50} 和 U_{75} 分别为对应脉冲偏离基线的最大值。

$$Z_0 = 50 \times 75 \frac{(U_{75} - U_{50})}{(75U_{50} - 50U_{75})} \dots\dots\dots (3)$$

将示波器接上另外一个通道发射端，重复上面测量过程，检测应按 $n=1、2、3、4、\dots$ (n 最大值为检测仪发射器数) 顺序进行。

6.9 发射延时精度检测

设置相控阵检测仪为 E 扫描，相控阵检测仪设置成多发多收 (调整聚焦法则，按一定延时间隔顺序激发所有相控阵检测仪发射器，相邻通道之间发射延时间隔设置为系统能设定最小值)，连接示波器通道 1 至相控阵检测仪的发射端 n ，通道 2 至发射端 $n+1$ 。

注：检查示波器的输入，以防被高发射电压损坏。

以示波器通道 1 采集到相控阵检测仪发射端 n 脉冲波形为同步触发信号，示波器通道 2 同时采集发射端 $n+1$ 脉冲波形信号，测量两个通道波形的时间间隔 t_1 (n 开始定义为 1， n 最大值为相控阵检测仪发射器数)，依次测量，测量 $t_1、t_2、t_3、\dots、t_{n-1}$ 。

取 $t_1、t_2、t_3、\dots、t_{n-1}$ 中最大值为发射延时精度。

6.10 相邻通道串扰隔离度检测

发射器和接收器端 (调整聚焦法则，设置一次激发一个阵元组成的电子扫描，通道 n 为发射端，则通道 $n+1$ 为接收端， n 开始定义为 1) 并联一个 $50\ \Omega$ 的无感电阻，相控阵检测仪设置一次激发一个阵元的聚焦法则，用示波器测量第 n 通道发射脉冲输出端 U_{50} (按 6.6 测出) 和相邻第 $n+1$ 接收通道的峰-峰电压 U_E 。这两个电压之比的对数即为发射信号串扰隔离度 [单位为分贝 (dB)]。按公式 (4) 计算：

$$D_s = 20 \log_{10} \left(\frac{U_{50}}{U_E} \right) \dots\dots\dots (4)$$

6.11 有效增益范围检测

采用图 5 所示的测试设备，按 6.12 所述方法在每个频带的中心频率处测定有效增益范围。由该测试设备产生的 10 个周期测试信号波形，如图 4 所示。将相控阵检测仪的衰减器调至最小增益。增加输入信号的幅度直至其出现饱和或显示为全屏幕高度的 100% 为止。测量输入电压幅度 U_{max} (注意标准衰减器的设置)。

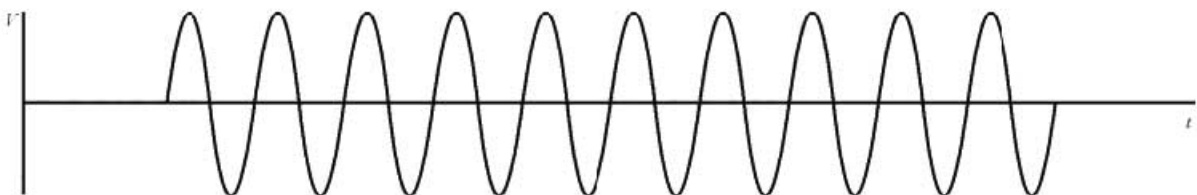


图 4 测试信号波形

将相控阵检测仪的衰减器调至最大增益。如果设置增益时的噪声电平高于屏幕高度的 5%，应降低增益，直至噪声电平为屏幕高度的 5% 为止。调节输入信号的幅度，使其显示在屏幕高度的 100%，测量输入电压幅度 U_{min} (注意标准衰减器的设置)。

注：如果脉冲发生器不能提供足够低的电压，应重新调节相控阵检测仪的增益至高于最小增益 20 dB，并对测结果进行修正。

有效增益范围见公式 (5)，单位为分贝 (dB)：

$$20 \log_{10} \left(\frac{U_{max}}{U_{min}} \right) \dots\dots\dots (5)$$

若式中 U_{min} 低于输入等效噪声 U_{ein} 时，有效增益范围见公式 (6)，单位为分贝 (dB)：

$$20 \log_{10} \left(\frac{U_{\max}}{U_{\text{cin}}} \right) \dots\dots\dots (6)$$

6.12 放大器频率响应检测

使用图 5 所示的设备连接方式，连接输入信号到相控阵检测仪通道 n （调整聚焦法则，设置一次激发一个阵元组成的电子扫描，通道 n 发射，通道 $n+1$ 接收， n 通常定义为 1）。调节相控阵检测仪的输入信号至 $\pm 1V_{\text{峰-峰电压}}$ ，调整衰减器（增益控制器），使产生一个仪器屏幕高度 80% 的信号，记录接收器的增益设置。

依次选取频带设置值，在 0.1 MHz~25 MHz 范围内，改变输入信号的频率，记录在相控阵检测仪屏幕上所显示的最大信号幅度和频率 (f_{\max}) 时的波高。在此过程中，应保证放大器不过载，而且显示在示波器屏幕上的输入信号幅度保持恒定。为了增加显示信号的高度，可将外部衰减器少衰减 3 dB。以小于标称带宽 5% 的小增量，依次从 f_{\max} 降低和提高输入信号频率。观察相控阵检测仪屏幕上信号返回至初始值的高度，测出上限频率 (f_u) 和下限频率 (f_l) (3 dB 点)。标准外部衰减器的输入信号应保持恒定。

中心频率 (f_0)（在可选值情况下的每种带宽设置）由公式 (7) 求得：

$$f_0 = \sqrt{f_u f_l} \dots\dots\dots (7)$$

带宽 (-3 dB) 由公式 (8) 求得：

$$\Delta f = f_u - f_l \dots\dots\dots (8)$$

6.13 输入阻抗检测

设置相控阵检测仪为 A 型显示，相控阵检测仪置一发一收（调整聚焦法则，设置一次激发一个阵元组成的电子扫描，通道 n 发射，通道 $n+1$ 接收， n 通常定义为 1），用阻抗分析仪测量通道 n 输入阻抗的实数和虚数部分。

在信号频率为 4 MHz、最小 (R_{\min}, C_{\min}) 和最大 (R_{\max}, C_{\max}) 增益设置时进行测量。如果装有阻尼控制器，在测试过程中应调为最小值。通常情况下，可用一个输入电阻和一个并联电容模型来表示输入阻抗。

6.14 模拟增益衰减器精度检测

采用下述的一个参考信号，对相控阵检测仪的衰减器与匹配的外部标准衰减器进行比较。

使用图 5 所示的测试设备，在按 6.12 测出的中心频率 (f_0) 上进行比较。本测量方法不适合测量数字增益及采用对数放大器的相控阵检测仪。

将相控阵检测仪的衰减器调至中间值，并使外部衰减器设定值与相控阵检测仪衰减器的设定值一致，调整信号发生器使相控阵检测仪屏幕显示幅度为全屏幅度 80% 的信号。

以适当的步进提高或降低相控阵检测仪的衰减量，并调整外部衰减器，使其信号保持一个恒定幅度，以此来检查相控阵检测仪衰减器的误差。检查分两个步骤：第一步，在整个范围内以最小步进（但不小于 1 dB）检查衰减器的误差；第二步，在整个范围内以每一种步进（但不小于 2 dB）检查衰减器的误差。每一步均记录衰减器任意连续 20 dB 和任意连续 60 dB 的累积误差。

6.15 时间相关增益 (TDG) 检测

将操作者所要求的理论 TDG 与相控阵检测仪实际生成的 TDG 进行比较，来检验 TDG 的校正性能。

$$\Delta T = \frac{T_{\text{final}} - T_0}{N} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

T_{final} ——TDG 曲线结束的时间；

T_0 ——TDG 曲线开始的时间；

N ——测量次数， $N \geq 11$ 。

调节外部标准衰减器，使测试信号幅度回到屏幕高度的 80%，记下衰减器设置值 A_n ；延迟时间再增加 ΔT ，使测试信号范围加大，再次记下使测试信号回到屏幕高度 80%时的衰减器设置值。继续增加延迟时间和调节外部标准衰减器，直至测量 N 次为止。

最后一次测量结束后，通过增加外部标准衰减量 6 dB，并确认测试信号幅度是否在屏幕高度的 38%~42%范围内，来评定 TDG 的饱和情况。如果信号幅度不在该范围内时，应减少 ΔT ，重复测试 TDG 的饱和状态。应在饱和不再出现的位置上测试 TDG 的补偿增益范围。绘制实际上的和理论上的 TDG 曲线图。

对应每个频带的中心频率和 TDG 增益的最大、中间及最小设定值均应进行测试并进行比较。

6.16 通道一致性检测

连接相控阵探头到相控阵检测仪，移除任何探头延迟线和折射楔块。用一层均匀的耦合层将探头耦合到相控阵校准试块 25 mm 厚平面上。

设置一次激发一个阵元组成的电子扫描，沿着阵列中所有阵元一次一个阵元步进（需确保每个聚焦法则中使用发射器-接收器数字为 1。或者，如果通道可选的话，每个阵元使用的通道应一致）设置发射器参数，优化探头阵列标称频率的响应，对探头中每个阵元来说，需要调节试块底面的一个脉冲回波或水程回波达到 80%显示幅度。

观察阵列中每个阵元的 A 型扫描显示，并记录每个阵元达到 80%信号振幅要求的接收器增益。将记录结果填写在表 2 中。

表 2 仪器通道灵敏度：调节接收器增益使波幅为全屏高度的 80%

通道	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...
增益 dB													
合格评定													

如果连续两个通道接收器增益相对误差超出 ± 3 dB 范围，应重新检查耦合的稳定性，并再次进行测试。出现测试通道无回波时，应检查测试探头及线缆的有效性。

6.17 相控阵检测仪线性检测

6.17.1 设置

设置相控阵检测仪为 A 型显示，调节 A 扫描的时基至适当范围，获得验证线性所需的脉冲回波信号，选择脉冲发生器的频率和带通滤波器参数，使用于线性验证的脉冲回波信号为最佳状态。设置接收器的增益，获得有效的非饱和显示信号，对显示高度和幅度控制线性进行评价。

6.17.2 显示高度线性

把相控阵探头连接到相控阵检测仪上，与相控阵线性试块耦合，产生图 6 所示的两个信号。调节探头，使两个信号幅度分别为全屏高度的 80%和 40%。如果相控阵检测仪提供在脉冲回波模式连接单晶探头的能力，使用附录 B 规定的试块，可在该试块中加入两个声阻抗可调的平底孔来提供这样的信号。

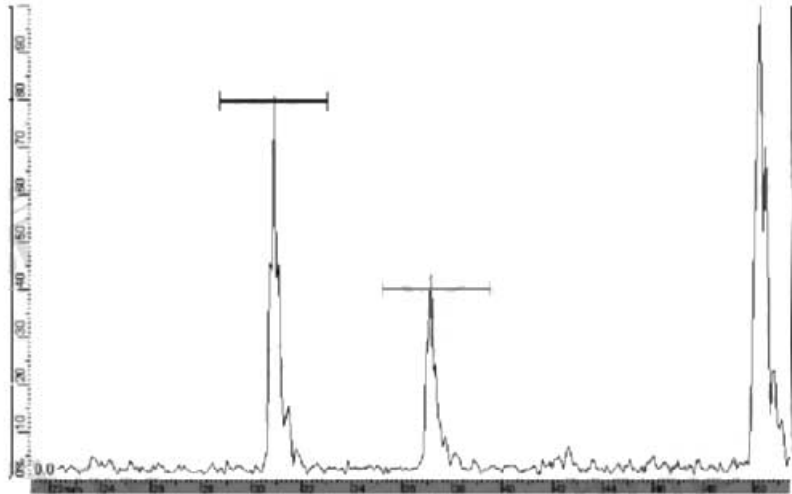


图6 显示高度线性

调节接收器增益以提高增益值，使较大回波信号为全屏高度的 100%。在这个增益值时，记录较小回波信号的高度（全屏高度的百分比）。

注：对于 8 bit 的 A/D 采样系统，这个值应为 99%，到 100% 时会产生饱和信号。

以 10% 的步进，使较大回波信号的高度降至全屏高度的 10%，记录每一个步进第二个回波幅度的高度。将较大回波信号幅度调回到 80% 的全屏高度，保证较小回波信号不会因为耦合变化而偏离原先 40% 的全屏高度。如果第二个回波信号幅度的变化大于 41% 或小于 39% 全屏高度时，应重复测试。

测试结果记录在相控阵检测仪线性检查表（表 3）中。

6.17.3 幅度控制线性

对相控阵检测仪每个发射器-接收器组件进行检测，以确定相控阵检测仪放大能力的线性。

把相控阵探头连接到相控阵检测仪上，使用这种探头，配置相控阵检测仪为电子光栅扫描。每个聚焦法则由一个晶片组成，扫描从晶片 1 号开始，直到相控阵检测仪发射器数量对应的晶片号结束。将探头耦合到厚度为 25 mm 相控阵校准试块上，获得每个聚焦法则的脉冲底面回波响应，也可使用液浸法进行测试。

选择相控阵检测仪的发射-接收通道 1，采用 A 扫描显示，监测所选定靶体的回波响应。调节增益，使该回波信号为全屏高度的 40%，如图 7 所示。



图7 相控阵检测仪通道 1 上的底波 A 扫描显示

以步进 1 dB、2 dB、4 dB 和 6 dB 提高接收器的增益。在每个步进增加后再取消所增加的增益值，确保信号返回 40% 的显示高度。以显示高度的百分比记录实际信号高度。

调节回波信号为 100% 显示高度，降低 6 dB 增益，记录信号实际高度（显示高度的百分比）。其他发射器-接收器通道重复上述的步骤。

对于具有 10 bit 或 12 bit 幅度数字化和配置成在闸门内读取幅度比屏幕显示幅度更大的仪器，可采用较大的检测范围。对于这些仪器，可用闸门读数代替 A 扫显示进行线性评价。

注：图 8 所示为回波幅度大于 100% 显示高度的例子，其中闸门 A% 表示 200%，闸门 B% 表示 176% 的信号。

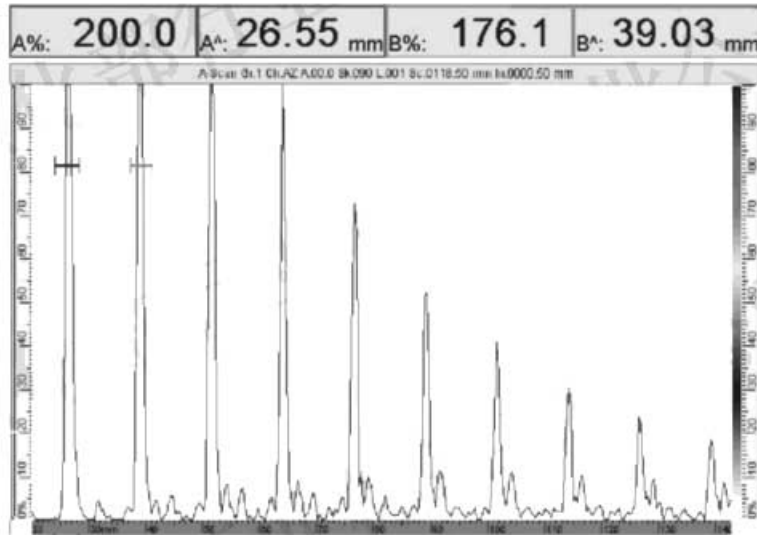


图 8 水平线性 A 扫描

6.17.4 时基线性（水平线性）

设置相控阵检测仪为 A 扫描显示。

选择纵波探头，设置相控阵检测仪，以从已知厚度试块获取至少 10 个底面反射回波。相控阵校准试块 25 mm 厚度适用于本测试。设置相控阵检测仪的数模转换率至少为 80 MHz。

将探头耦合至试块上，如图 8 所示，A 扫描显示最少 10 个清晰回波，利用显示软件评价相邻底波信号的间隔。测试试块声速并输入相控阵检测仪，显示为读出距离（厚度）。

使用参考和测量闸门测定前 10 个回波的间隔并记录在表 3 线性检查报告表中。

表 3 线性检查报告

相控阵检测仪:		耦合剂:			
发射器电压 V	脉冲宽度 ns	接收器 (频带)	接收器平滑		
数字化频率 MHz		平均:			
显示高度线性:		幅度控制线性:			
大信号 %	小信号允许范围	小信号实际值 %	显示高度	dB	允许范围
100	47~53		40	+1	42~47
90	42~48		40	+2	48~52
80	40	40	40	+4	60~66
70	32~38		40	+6	77~83
60	27~33		40	-6	47~53
50	22~28				

表3 线性检查报告(续)

大信号 %	小信号允许范围		小信号实际值 %		显示高度		dB		允许范围						
40	17~23														
30	12~18														
20	7~13														
10	2~8														
回波幅度控制线性通道测试结果(注:不超出规定范围的任何通道):															
通道(对具有16脉冲接收器的相控阵检测仪,如需要,可再增加)															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
时基线性(用于厚度为25 mm的相控阵校准试块)															
回波次数					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
厚度					25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	
测出间隔															
允许偏差±0.5 mm															

6.18 定位误差检测

使用相控阵探头,将相控阵检测仪分别设置为两个独立的S扫描,一个偏角为 $\pm 30^\circ$,焦距为钢中25 mm(即在钢中25 mm的声程聚焦),另一个为偏角 $\pm 30^\circ$,焦距为钢中50 mm(即在钢中50 mm的声程聚焦)。对于这两套聚焦法则方案,角度步进间距为 0.5° ,并且聚焦法则应使用 m (m 为虚拟通道数)个相邻阵元。确保数据采集的数字化频率最少为80 MHz,并将仪器的TDG和ACG功能打开。准备相控阵校准试块,输入该试块声速。该声速值将用于聚焦法则中。探头置于附录A规定试块的B2区并做好声耦合,确保阵元阵列中心对准孔的中心线。扫描并保存25 mm焦距的S扫描。探头置于附录A规定试块的B1区并做好声耦合扫描,保存50 mm焦距的S扫描。使用相控阵检测仪显示的光标评价并且以表格形式记录各横孔的深度、中心线的偏移量和角度。对于半径为50 mm的横孔,配置50 mm聚焦的聚焦法则;对于半径为25 mm的横孔,配置25 mm聚焦的聚焦法则。

6.19 基本安全要求

6.19.1 基本绝缘

相控阵检测仪基本绝缘性能按照GB/T 4793.1—2007中6.8规定的方法进行。

6.19.2 加强绝缘

相控阵检测仪加强绝缘性能应按照GB/T 4793.1—2007中6.8规定的方法进行。

6.19.3 环境试验

相控阵检测仪的环境试验分组应按照GB/T 6587—2012中4.7的规定进行。

6.19.4 温度试验

温度试验应按照GB/T 6587—2012中5.9.1的规定进行。

6.19.5 湿度试验

湿度试验应按照GB/T 6587—2012中5.9.2的规定进行。

6.19.6 振动试验

振动试验应按照 GB/T 6587—2012 中 5.9.3 的规定进行。

6.19.7 冲击试验

冲击试验应按照 GB/T 6587—2012 中 5.9.4 的规定进行。其中，冲击试验只在仪器作水平放置、水平倒置和垂直放置三种位置时进行。

6.19.8 外壳防护等级

外壳防护等级（IP 代码）按照 GB 4208 中的防护等级试验。

7 检验规则

7.1 出厂检验和型式检验项目

相控阵检测仪出厂检验和型式检验项目见表 4。

表 4 出厂检验和型式检验

序号	项 目	技术要求	检测方法	出厂检验	型式检验
1	温度的稳定性	5.2.1	6.4	√	√
2	电池工作时间	5.2.2	6.5	√	√
3	脉冲重复频率	5.3.3	6.7	—	√
4	有效输出阻抗	5.3.4	6.8	—	√
5	发射脉冲电压	5.3.2	6.6	√	√
6	脉冲上升时间	5.3.2	6.6	√	√
7	脉冲宽度	5.3.2	6.6	√	√
8	脉冲反冲幅度	5.3.2	6.6	√	√
9	相邻通道串扰隔离度	5.4.1	6.10	—	√
10	发射延时精度	5.3.5	6.9	—	√
11	放大器频率响应	5.4.3	6.12	√	√
12	有效增益范围	5.4.2	6.11	—	—
13	模拟增益衰减器精度	5.4.5	6.14	√	√
14	接收器输入阻抗	5.4.4	6.13	—	√
15	时间相关增益（TDG）	5.4.6	6.15	—	√
16	相控阵检测仪线性	5.4.8	6.17	√	√
17	通道一致性	5.4.7	6.16	—	√
18	定位误差	5.5	6.18	√	√
19	基本绝缘	5.6.1	6.19.1	—	√
20	加强绝缘	5.6.2	6.19.2	—	√
21	环境试验	5.6.3	6.19.3	—	√
22	温度试验	5.6.4	6.19.4	—	√
23	湿度试验	5.6.5	6.19.5	—	√
24	振动试验	5.6.6	6.19.6	—	√

表4 出厂检验和型式检验(续)

序号	项 目	技术要求	检测方法	出厂检验	型式检验
25	冲击试验	5.6.7	6.19.7	—	—
26	外壳防护等级	5.6.8	6.19.8	—	√

注：表中“√”表示必检项目；表中“—”表示抽检项目。

7.2 出厂检验

相控阵检测仪出厂前须经生产厂家检验合格并附合格证，方准出厂。

7.3 型式检验

凡属下列情况之一者应进行型式试验：

- a) 试制的新产品（包括老产品转厂）；
- b) 当产品设计、工艺和所使用的材料的改变引起产品的主要性能改变；
- c) 不经常生产的产品再次生产；
- d) 对成批的大量生产的产品进行定期抽查；
- e) 出厂检验结果与上次型式试验结果有较大差异。

7.4 判定规则

判定规则按 GB/T 6587—2012 中 5.13.5、6.3.3、6.4 的规定执行。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 标志

相控阵检测仪应有如下标志：

- 制造商名称、地址；
- 产品名称、型号；
- 使用电源电压及频率；
- 出厂编号；
- 制造日期。

8.1.2 包装箱标志

包装箱应有下列标志：

- 制造商名称、地址、电话；
- 相控阵检测仪名称及型号；
- 毛重，单位为千克（kg），净重，单位为千克（kg）；
- 体积（长×宽×高）；
- “精密仪器”“向上”“怕雨”等符号。

8.2 包装、运输和贮存

8.2.1 包装

相控阵检测仪的内包装采用塑料薄膜罩将主机、充电器分别包装，并装于泡沫防震箱内。再将泡沫

防震箱装入附件箱内。外包装采用纸箱包装，包装应牢固，应符合 GB/T 191 的规定。

8.2.2 运输

相控阵检测仪在运输过程应避免雨雪淋溅和机械碰撞。

8.2.3 贮存

产品存放期超过 6 个月时，应从包装箱取出放在仓库中，此时相控阵检测仪不允许叠放及紧靠地面、四壁和屋顶。

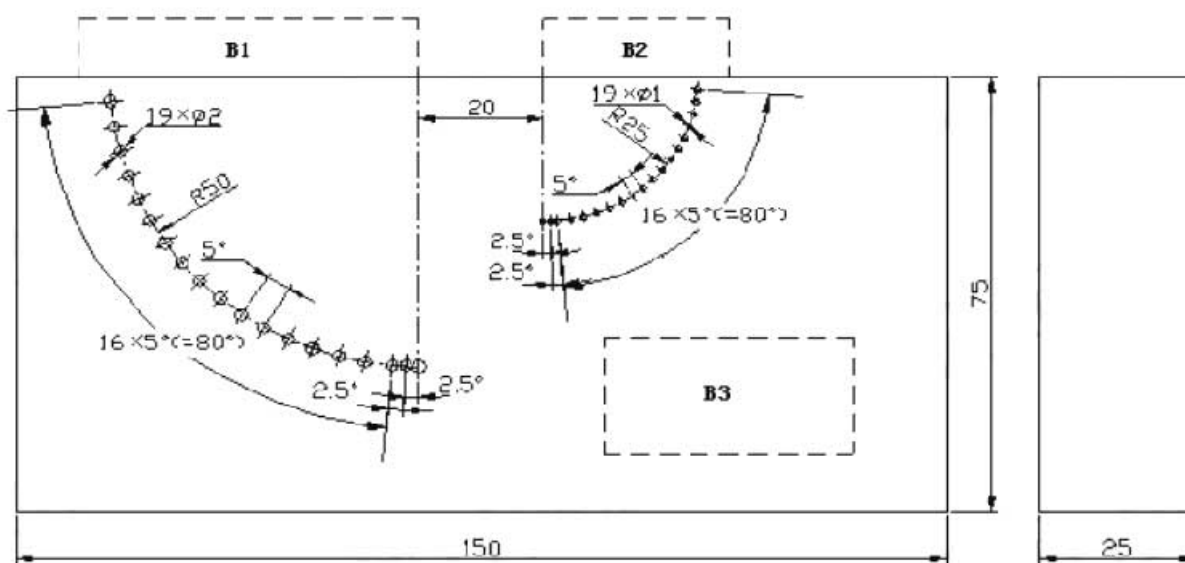
存放相控阵检测仪的仓库应干燥并有保暖通风设备，其环境条件为：

- a) 温度：10℃～35℃；
- b) 相对湿度：≤80%（20℃时）。

室内无过多的灰尘、酸、碱、强烈日光及其他会引起腐蚀的气体，且无强烈的机械振动、冲击及强烈电磁场。

附录 A
(资料性附录)
相控阵校准试块

相控阵校准试块如图 A.1 所示。

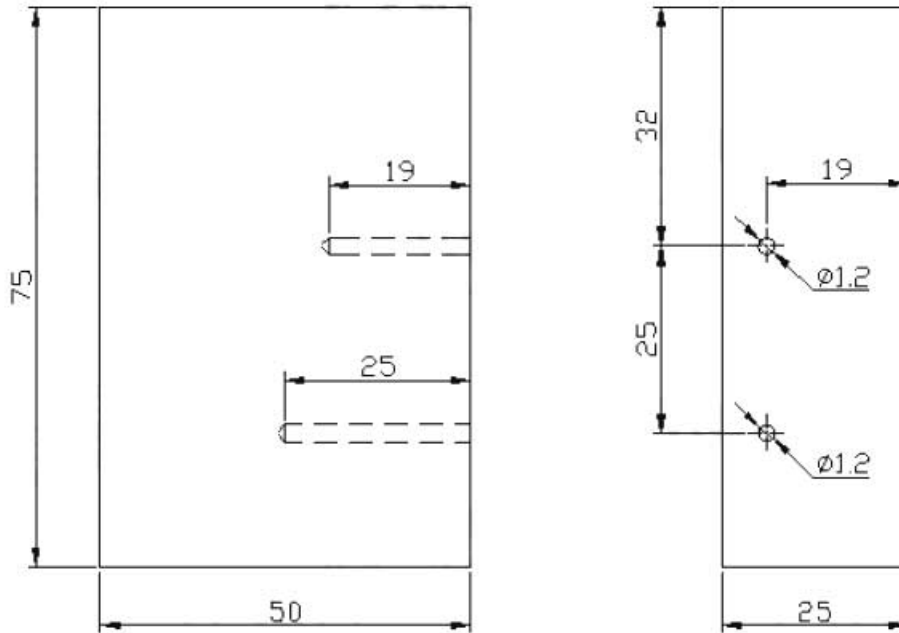


注：材质为 45 钢；所有未注尺寸单位为毫米（mm），公差均为 ± 0.1 mm；表面粗糙度 Ra 不应大于 $3.2 \mu\text{m}$ 。

图 A.1 相控阵校准试块

附录 B
(资料性附录)
相控阵线性试块

相控阵线性试块如图 B.1 所示。



注：材质为铝，钻孔内塞入不溶于水的塑料件，用来调节声阻抗；所有尺寸单位为毫米（mm），公差均为 ± 0.1 mm；表面粗糙度 Ra 不应大于 $3.2 \mu\text{m}$ 。

图 B.1 相控阵线性试块

版权专有 侵权必究

*

书号：15111 · 11970

定价： 27.00 元