

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T XXXXX—XXXX

无损检测仪器 超声涡流集成检测仪

Nondestructive testing instrument—Ultrasonic and eddy current integrated testing
instrument

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2023.02.24)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

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

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 技术要求 1

 4.1 正常工作条件 1

 4.2 基本参数 1

 4.3 性能要求 2

5 试验条件和设备 5

 5.1 试验条件 5

 5.2 试验设备 5

6 试验方法 6

 6.1 超声性能试验 6

 6.2 涡流性能试验 15

 6.3 绝缘电阻试验 16

 6.4 介电强度试验 16

 6.5 耐温试验 16

 6.6 耐湿试验 17

 6.7 振动试验 17

 6.8 冲击试验 17

 6.9 运输试验 17

7 检验规则 17

 7.1 出厂检验 17

 7.2 型式检验 18

8 标志, 包装, 运输, 贮存 18

 8.1 标志 18

 8.2 包装 18

 8.3 运输和贮存 19

附 录 A （资料性） 涡流检测标准试块 20

附 录 B （资料性） 涡标检测标准试管 21

附 录 C （资料性） 超声检测标准试块 22

附 录 D （资料性） CSK-1A 试块 23

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。

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/TC122）提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

无损检测仪器 超声涡流集成检测仪

1 范围

本文件规定了超声涡流集成检测仪（以下简称超声涡流仪）的术语和定义、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于超声涡流集成检测仪的性能检验。

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。

GB/T 2611-2022 试验机 通用技术要求

GB/T 6587-2012 电子测量仪器通用规范

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测

GB/T 12604.6 无损检测 术语 涡流检测

GB/T 25480-2010 仪器仪表运输、贮存基本环境条件及试验方法

JB/T 6147-2007 试验机包装、包装标志、储运技术要求

JB/T 10061-1999 A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件

3 术语和定义

GB/T 12604.1、GB/T 12604.6界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超声涡流仪 ultrasonic and eddy current integrated testing instrument

具有超声与涡流检测能力，具备一体化软硬件结构，对获取的测试数据实现资源共享和综合处理的无损检测仪器。

4 技术要求

4.1 正常工作条件

超声涡流仪的正常工作条件为：

- a) 温度：-20℃～50℃；
- b) 相对湿度：不大于 80%；
- c) 大气压：86kPa～106kPa；
- d) 电源电压：220（1±10%）V；
- e) 电源频率：（50±1）Hz。

4.2 基本参数

超声涡流仪应给出下列基本参数：

- a) 超声检测基本参数：
 - 1) 接收系统频带宽度；
 - 2) 探伤灵敏度余量；
 - 3) 扫描范围；
 - 4) 垂直线性误差；
 - 5) 水平线性误差；

- 6) 远场分辨力;
- 7) 显示方式。
- b) 涡流检测基本参数:
 - 1) 频率;
 - 2) 通道数;
 - 3) 增益;
 - 4) 相位;
 - 5) 显示方式。

4.3 性能要求

4.3.1 超声检测

4.3.1.1 稳定性

预热后的稳定性和/或电压变化的稳定性应满足以下要求:

- a) 信号幅度变化不大于全屏幅度的 $\pm 2\%$;
- b) 信号水平位置变化不大于全屏宽度的 $\pm 1\%$ 。

4.3.1.2 工作频率范围

应具有0.5MHz~16MHz间的不同典型频率。

4.3.1.3 探伤灵敏度余量

应不小于60dB。

4.3.1.4 扫描范围

应不小于10000mm。

4.3.1.5 通道间灵敏度余量偏差

应不大于2dB。

4.3.1.6 发射脉冲重复频率

重复频率值偏差应在标称重复频率值的 $\pm 0.5\%$ 以内,并且每个通道最高脉冲重复频率不应低于1kHz。

4.3.1.7 有效输出阻抗

应不大于标称有效输出阻抗值的 $\pm 20\%$,并且至少有一档不大于50 Ω 。

4.3.1.8 发射脉冲电压(峰-峰值)

应至少不低于200V。

4.3.1.9 发射脉冲上升时间

应不大于20ns。

4.3.1.10 发射器到接收器的串扰抑制

在发射强度最强的条件下,发射器到同一通道接收器的串扰抑制应大于60dB;发射器到相邻通道接收器的串扰抑制应大于80dB。

4.3.1.11 发射脉冲盲区

应至少有一档小于5 μs 。

4.3.1.12 放大器的频率响应

每个频带的中心频率不应大于标称值 $\pm 10\%$;每个频带的带宽应不大于标称值的 $\pm 10\%$,并且最大带宽应不小于10MHz。

4.3.1.13 等效输入噪声

每平方根带宽噪声应小于 $80 \times 10^{-9} \text{ V}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

4.3.1.14 衰减器衰减误差

在任意连续20dB量程内，衰减器的累积误差不应大于 $\pm 1\text{dB}$ ；在任意连续60dB量程内，衰减器累积的误差不应大于 $\pm 2\text{dB}$ 。

4.3.1.15 垂直线性误差

应不大于3%。

4.3.1.16 水平线性误差

应不大于2%。

4.3.1.17 有效增益范围

应不小于100dB。

4.3.1.18 远场分辨力

应不大于28dB。

4.3.1.19 数字采样误差

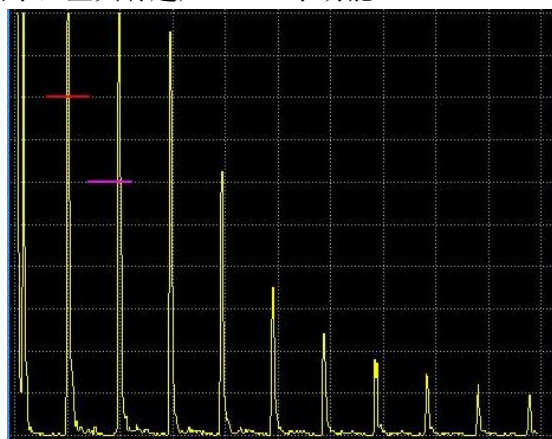
对输入信号采样所测得的信号幅度与输入信号幅度的误差不应大于 $\pm 5\%$ 。

4.3.1.20 最小响应时间

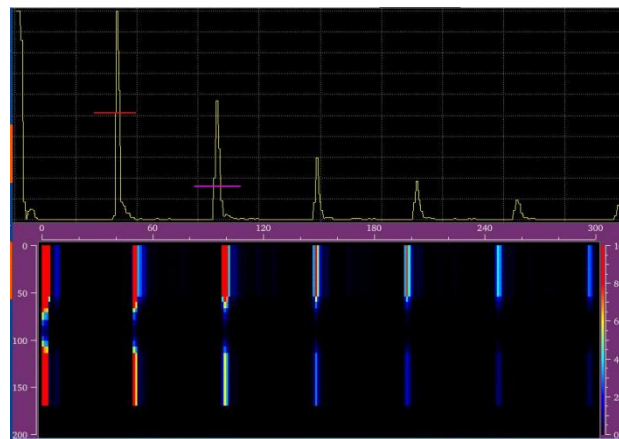
不应大于2ms。

4.3.1.21 显示方式

如图1a)、图1b)、图1c)所示，应具有A扫、B扫和C扫图三种超声检测信号的显示方式。如图1d)所示，宜具有超声TOFD显示功能。



a) A扫显示图



b) B扫显示图

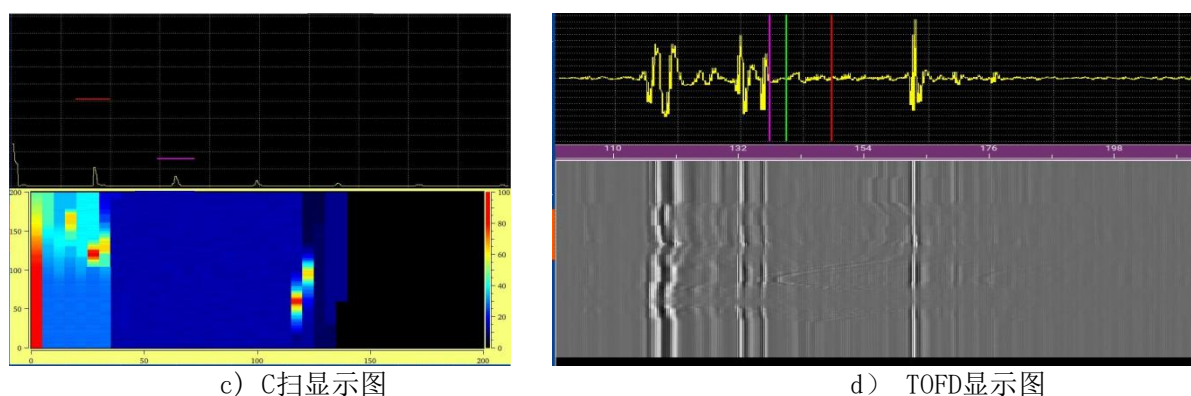


图 1 超声检测显示方式示意图

4.3.2 涡流检测

4.3.2.1 频率

应具有64Hz~5 MHz间的不同典型频率，频率宜连续可调，频率偏差应不大于 $\pm 5\%$ 。
宜具有两个或两个以上的独立可选、同时激励的频率，且频率连续可调。

4.3.2.2 通道数

应至少具有一个检测信号处理的物理通道，宜具有两个或两个以上的物理通道。

4.3.2.3 增益

增益范围应不小于50dB，最小步长应不大于0.5dB，宜具有X-Y增益比调节功能。增益最大偏差应不大于1dB。

4.3.2.4 相位

应具有 360° 相位旋转功能，连续可调，步长应不大于 1° 。相位线性偏差应不大于 0.5° 。应具有手动或自动相位、幅度测量功能。

4.3.2.5 显示方式

如图2a)、图2b)所示，应具有时基扫描曲线和阻抗平面图两种涡流检测信号的显示方式。如图2c)所示，宜具有带刻度标识的检波前基频信号波形显示功能。

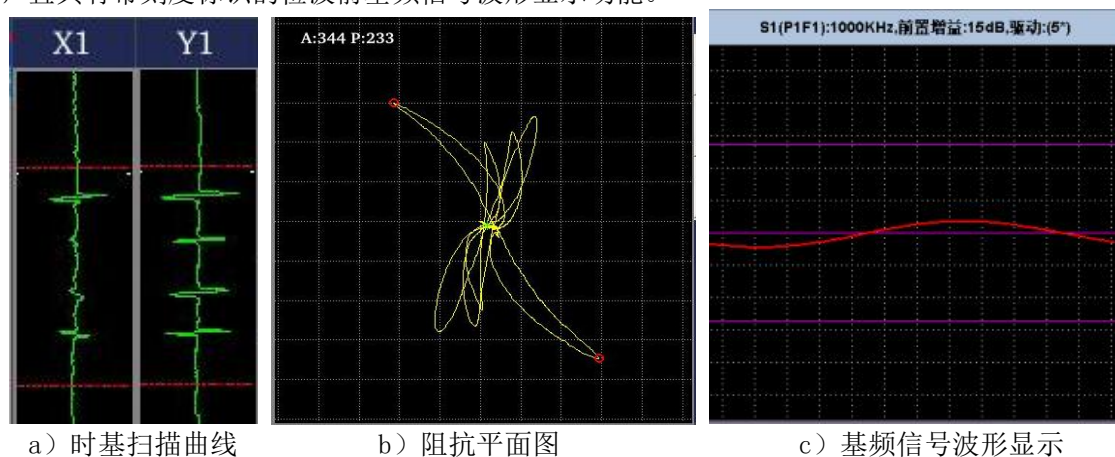


图 2 涡流检测显示方式示意图

4.3.2.6 混频

应至少具有2个混频单元。混频单元应能将2个不同频率的检测信号进行抑制干扰的混频处理，信噪比应不小于10dB。

4.3.2.7 灵敏度

用选定的涡流检测探头应能使附录A中的标准试块上人工缺陷的信号幅度达到全屏。

4.3.2.8 最大激励电压

应不小于5V。

4.3.3 通用要求

4.3.3.1 绝缘电阻

超声涡流仪(或其电源适配器)的交流电源输入端与地线之间，在试验电压为500V时的绝缘电阻应不小于1MΩ。

4.3.3.2 介电强度

超声涡流仪(或其电源适配器)的交流电源输入端与地线之间，应能承受1500V、历时1min的介电强度，而不出现飞弧或击穿现象。

4.3.3.3 外观质量

超声涡流仪的外观质量要求应符合GB/T 2611-2022中第10章的规定。

4.3.3.4 耐温、耐湿性能

超声涡流仪应按表1规定的参数进行耐温耐湿试验，试验后各项性能指标应满足要求。

表 1 耐温耐湿试验参数

温度试验						湿度试验	
高温试验			低温试验				
试验温度 ℃	保持时间 h	升温速度 ℃/min	试验温度 ℃	保持时间 h	降温速度 ℃/min	相对湿度 %	保持时间 h
50±3	8	≤1	-20±3	8	≤1	80	24

4.3.3.5 抗振动

超声涡流仪的抗振动性能应符合GB/T 6587-2012中4.7的规定。

4.3.3.6 抗冲击

超声涡流仪的抗冲击性能应符合GB/T 6587-2012中4.7的规定。

4.3.3.7 运输性能

超声涡流仪的运输性能应符合GB/T 6587-2012中4.8的规定。

5 试验条件和设备

5.1 试验条件

试验条件应满足4.1的规定。

5.2 试验设备

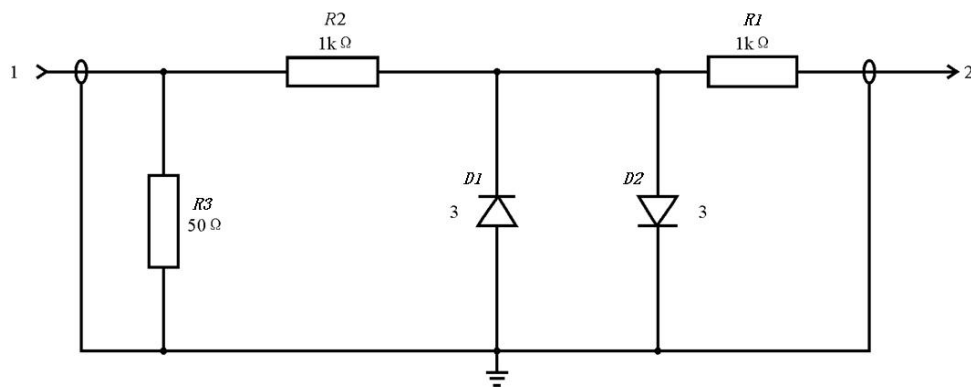
试验所需设备如下：

- a) 带宽不小于 100MHz 的示波器；
- 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 1dB、总衰减量 100dB、输出阻抗 $50\ \Omega$ 的标准衰减器，当信号频率在 15MHz 以内时，任意 10dB 范围的累积误差应在 $\pm 0.3\text{dB}$ 以内；
- d) 任选一种：
- 1) 一台任意波形发生器（以下简称信号发生器）；
 - 2) 两台脉冲信号发生器（以下简称信号发生器）。该信号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 20dB。

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检测信号。

- e) 保护电路，其示例如图 3 所示；
- f) 数字计时器，能够在 1000 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 $\pm 0.01\%$ ；
- g) 环境试验箱；
- h) 振动台；
- i) 接触电流测试仪；
- j) 介电强度电压测试仪；
- k) 标准试件（附录 A~D）、探头压块（重量 3kg）；
- l) 超声涡流仪、2.5M 超声探头。



标引序号说明：

1——信号发生器；

2——超声检测仪；

D_1 、 D_2 ——硅开关二极管。

注：在将示波器和信号发生器连接到仪器的发射器之前，应考虑是否接入保护电路以防止测试仪器被高发射电压击坏。

图 3 防止发射脉冲损坏检测设备的保护电路

6 试验方法

6.1 超声性能试验

6.1.1 稳定性

6.1.1.1 预热后的稳定性试验

将超声检测通道设置为单发收（即单探头）工作模式，选用合适的超声检测探头（如中心频率为 2MHz~6MHz 的超声探头）对附录 C 中的标准试块进行检测，使仪器显示多次回波信号，应采用探头压块固定探头，以确保探头和试块的耦合稳定不变。然后调节增益，使第一次回波的幅度刚好为全屏幅度的 80%，调整时基线范围，使该回波在大于或等于 50mm（钢纵波）范围时位于全屏宽度的 80%。如果仪器配有延时控制器，则延时应设定为零。

在 30min 内，每隔 10min 观察回波的幅度和其在时基线上位置的变化。

6.1.1.2 电压变化的稳定性试验

分别使用直流稳压电源和交流电源（如果仪器能够用交流电源供电）给仪器供电，将电源电压调到仪器的额定工作电压，按6.1.1.1的方法产生一个回波信号。

在仪器工作电压范围内，对应下列各项，观察回波信号的幅度和其在时基线上位置的变化：

- a) 改变交流电源输出电压（通过电源变压器调节）；
- b) 改变直流稳压电源输出电压。

对于带有低电压自动关机系统或报警指示的仪器，应降低交流电源和直流稳压电源的电压，并记录自动关机系统或报警指示起作用时回波信号的幅度和其在时基线上的位置。

6.1.2 工作频率范围试验

工作频率范围的测试方法应按照JB/T 10061-1999中4.7执行

6.1.3 探伤灵敏度余量试验

探伤灵敏度余量的测试方法应按照JB/T 10061-1999中4.15执行。

6.1.4 扫描范围

扫描范围的测试方法应按照JB/T 10061-1999中4.13执行。

6.1.5 通道间灵敏度余量偏差试验

将超声检测通道设置为单发收（即单探头）工作模式，且所有检测通道的参数设置均应相同，时基线范围调到250mm（钢纵波），把各通道增益调到最大，检查各通道噪声电平是否在全屏幅度的10%以内，若噪声电平超过全屏幅度的10%，则应调节该通道的增益，使该通道的噪声电平刚好等于全屏幅度的10%，记下此时各通道的增益读数 S'_1 、 S'_2 、…… S'_n 。将超声探头连接到超声涡流仪超声检测的第1通道，并将探头置于附录C中的标准试块上，移动探头使孔波达到最高，应采用探头压块固定探头，以确保探头与试块耦合稳定不变，调节第1通道的增益，使孔波的幅度刚好为全屏幅度的50%，记下此时第1通道的增益读数 S_1 ，则第1通道的灵敏度余量 ΔS_1 按公式（1）计算，单位为dB。

$$\Delta S_1 = |S'_1 - S_1| \quad \dots\dots\dots (1)$$

保持探头耦合状态不变，以同样的测试方法，分别测试第2至第n通道的探伤灵敏度余量，分别为 ΔS_2 、……、 ΔS_n 。

各通道灵敏度余量的最大值和最小值之差即为通道间灵敏度余量偏差。

6.1.6 发射脉冲重复频率试验

发射脉冲重复频率的测试方法应按照JB/T 10061-1999中4.12执行。

当仪器的控制器有多种组合档位，且组合档位的脉冲重复频率相同时，可只测试其中一个组合档位。当仪器具有脉冲重复频率连续可调的控制器，应从制造商技术要求中选择一个设定值进行试验。

6.1.7 有效输出阻抗试验

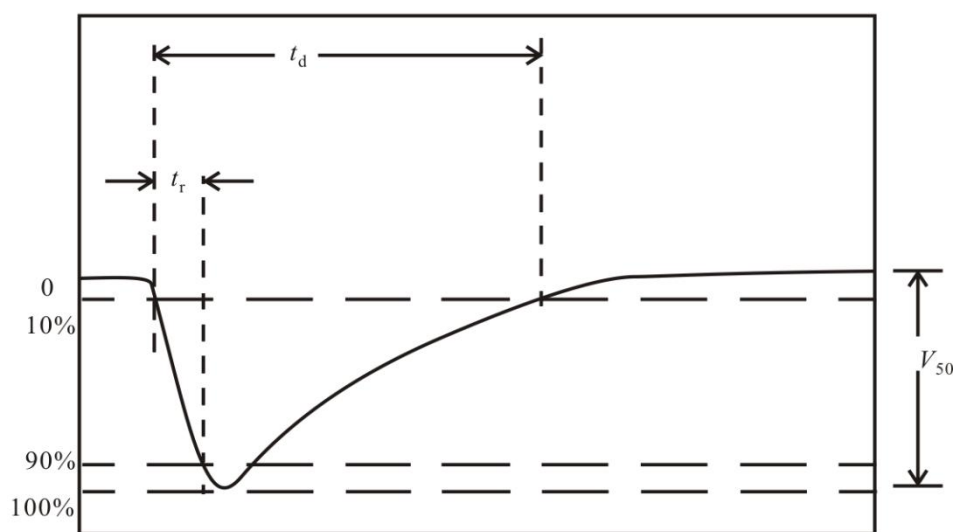
发射电路的有效输出阻抗的测试方法应按照JB/T 10061-1999中4.11执行。

6.1.8 发射脉冲电压、发射脉冲上升时间的试验

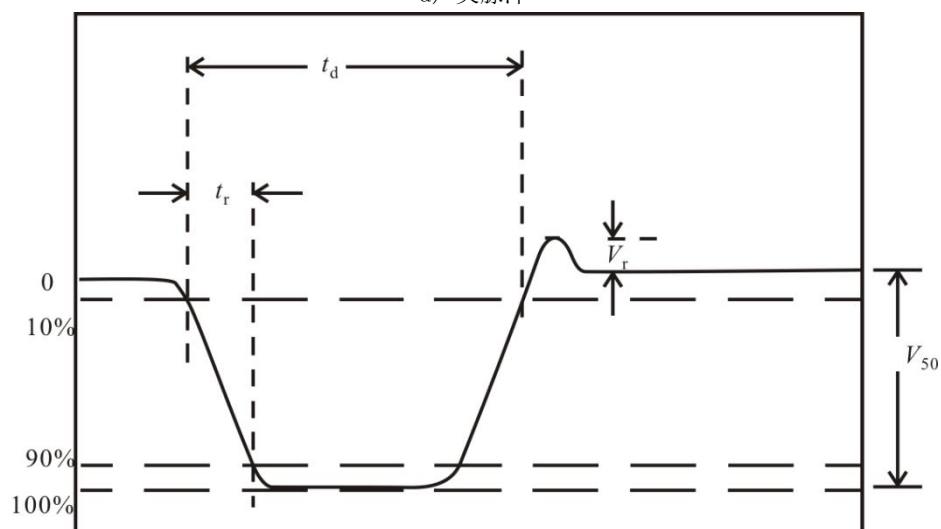
将超声涡流仪设置为一发一收超声检测工作模式，把示波器连接到超声检测仪被测通道的发射端。

将脉冲重复频率设置到最大，在超声检测通道发射端接上一只50 Ω 无感电阻，用示波器测量发射脉冲电压 V_{50} 。

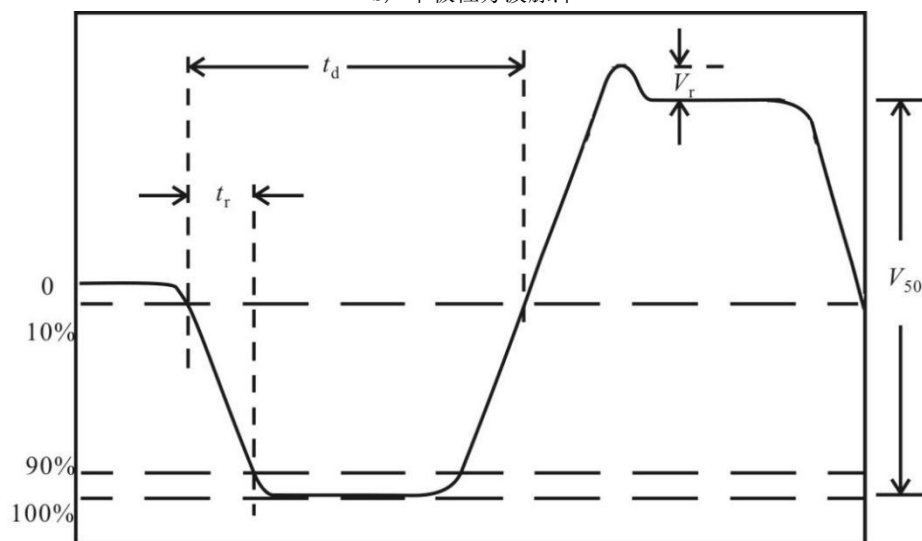
针对不同波形情况，测量发射脉冲上升时间的方法如图4所示。用示波器在发射输出端发射脉冲幅度从10%上升至90%的时间 t_r ，即为发射脉冲上升时间。



a) 尖脉冲



b) 单极性方波脉冲



c) 双极性方波脉冲

标引序号说明：

t_r ——发射脉冲上升时间；

t_d ——发射脉冲持续时间；

V_r ——发射脉冲回响幅度。

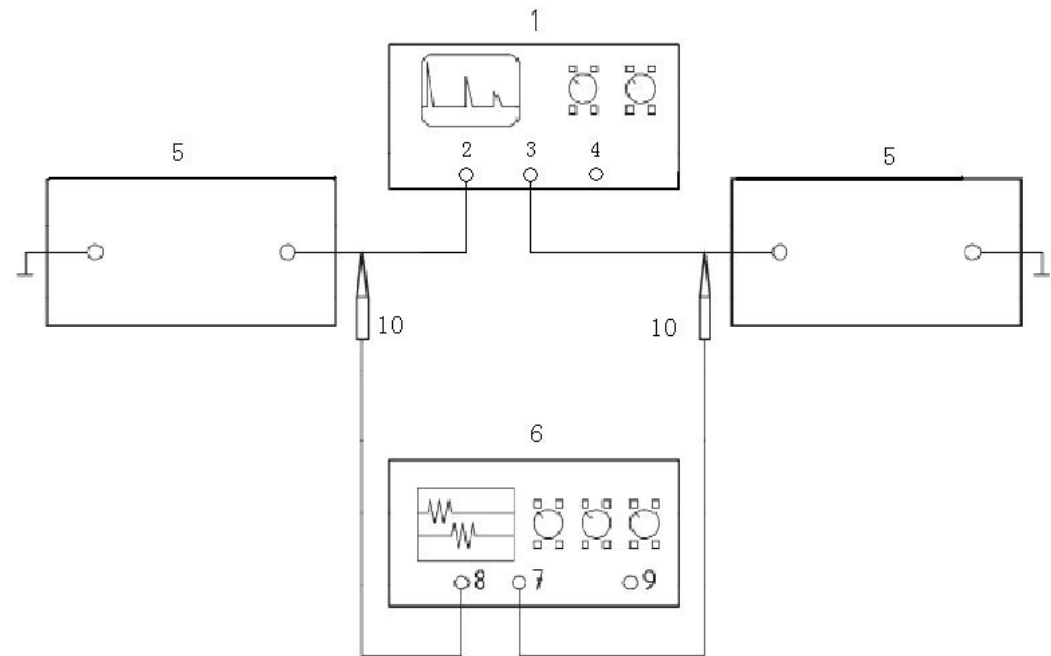
图 4 测量发射脉冲参数

在每个发射强度、发射脉冲宽度、脉冲重复频率设定值以及最大及最小阻尼档位应重复进行测试。

6.1.9 发射器到接收器串扰抑制试验

6.1.9.1 发射器到同一通道接收器串扰抑制

将超声涡流仪设置为一发一收超声检测工作模式，发射强度设置为最强，如图5所示，在超声检测通道的发射器输出端和同一通道接收器输入端都接上50Ω的无感电阻，用示波器测量发射器输出端的峰值电压 V_{50} 和同一通道接收器的输入电压 V_E 。



说明：

- 1——超声涡流仪（超声检测模式）；
- 2——发射输出端；
- 3——接收输入端；
- 4——相邻通道接收输入端；
- 5——终端匹配器（50Ω 无感电阻）；
- 6——100MHz示波器；
- 7——输入通道A；
- 8——输入通道B；
- 9——外触发输入端；
- 10——示波器探头。

图 5 测量发射能量串扰抑制的连接方式

在发射期间发射器到同一通道接收器的串扰抑制 D_s 按公式（2）计算，单位为dB。

$$D_s = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{50}}{V_E} \right) \dots\dots\dots (2)$$

6.1.9.2 发射器到其它通道接收器的串扰抑制

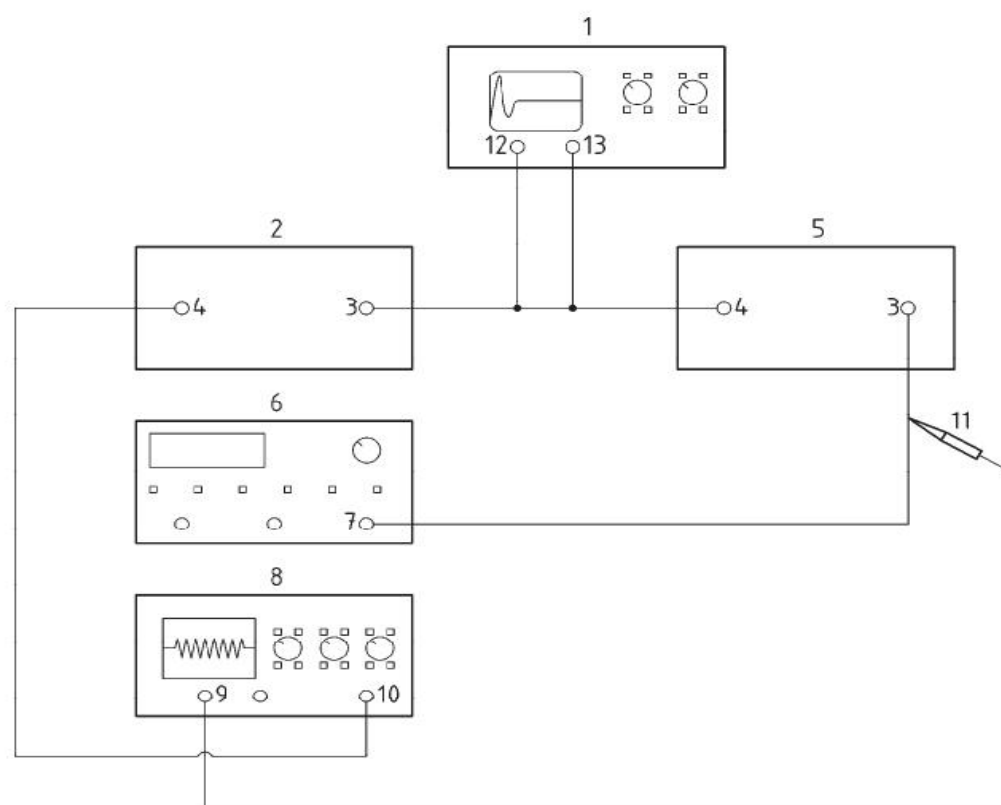
完成6.1.9.1测试后，从接收器输入端取下 50Ω 无感电阻，并把 50Ω 无感电阻连接到相邻通道的接收器输入端，用示波器测量相邻通道接收器输入电压 V_F 。

在发射期间发射器到相邻通道接收器的发射能量串扰抑制 D_i 按公式（3）计算，单位为dB。

$$D_i = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{50}}{V_F} \right) \dots\dots\dots (3)$$

6.1.10 发射脉冲后盲区试验

将超声涡流仪和测试设备按照图6进行连接，超声涡流仪设置为一发一收超声检测工作模式。



说明：

- 1——超声涡流仪（超声检测模式）；
- 2——固定衰减器；
- 3——输入端；
- 4——输出端；
- 5——保护电路（见图1）；
- 6——射频信号发生器；
- 7——射频输出端；
- 8——100MHz示波器；
- 9——输入通道A；
- 10——外触发输入端；
- 11——10倍的示波器探头(100MHz)；

- 12——发射输出端；
- 13——接收输入端。

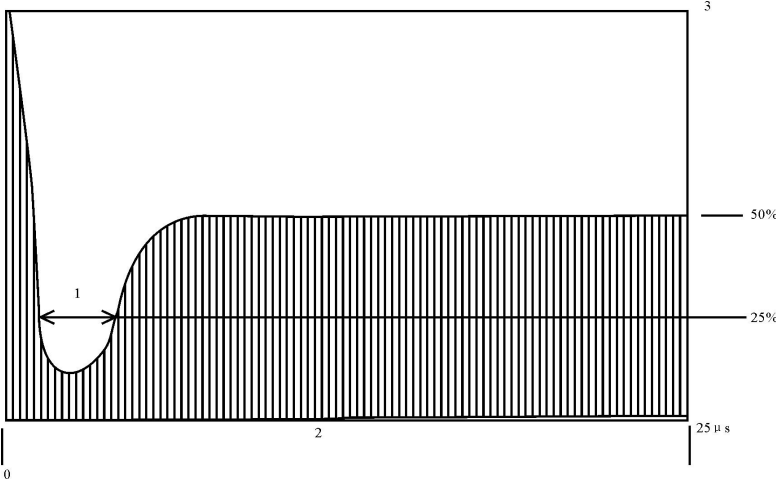
图 6 测量发射脉冲后盲区的设备连接方式

校准超声检测通道时基线的全屏刻度为0μs~25μs，然后调整零点偏置，使发射脉冲前沿对准零刻度线。

注：适合于大多数超声检测仪的射频选通脉冲的持续时间为5μs，间隔为24μs。

依次选择超声检测通道每个频带的设定值，调整输入信号的频率以便在仪器显示屏上得到如图7所示的近似最大电平的信号。调整输入信号幅度，使显示屏末端的信号幅度为全屏幅度的50%。在此过程中，改变输入信号电平，并检查仪器放大器是否处于未饱和状态。

自发射脉冲前沿到基线上信号幅度为全屏幅度25%所对应的时间即为发射脉冲后盲区，单位为μs。



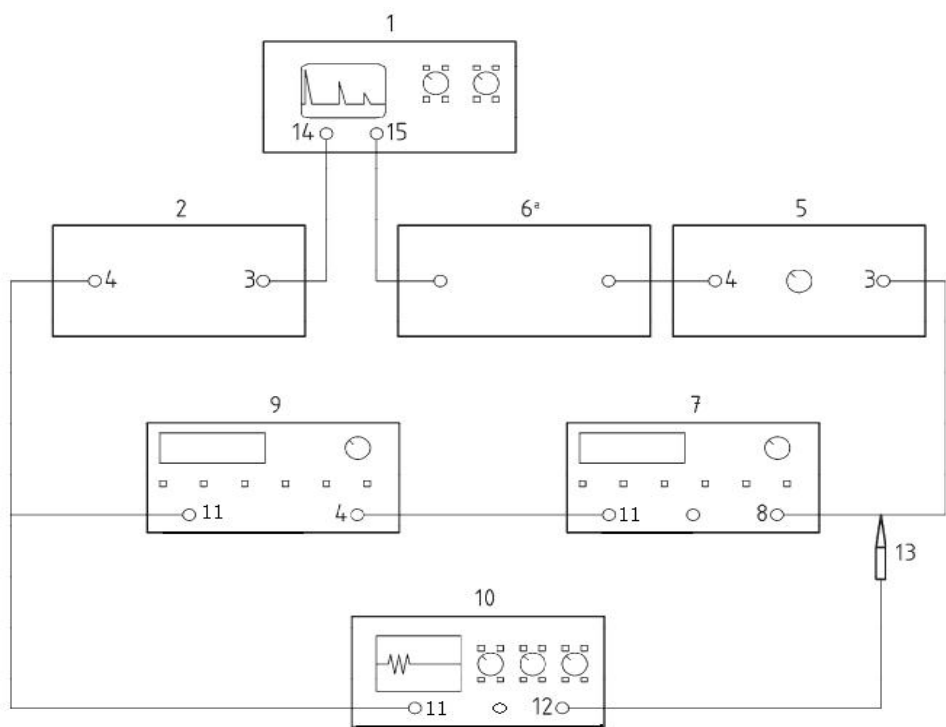
标引序号说明：

- 1——盲区的时间；
- 2——异步正弦检波信号；
- 3——全屏幅度。

图 7 测量发射脉冲后盲区时在超声检测仪显示屏上的波形图

6.1.11 放大器频率响应试验

将超声涡流仪和测试设备按照图8进行连接，超声涡流仪设置为一发一收超声检测工作模式。



- 说明：
- 1——超声涡流仪（超声检测模式）；
 - 2——固定衰减器；
 - 3——输入端；
 - 4——输出端；
 - 5——可调射频信号衰减器；
 - 6——终端匹配器（注2）；
 - 7——门控射频信号发生器；
 - 8——射频信号输出端；
 - 9——脉冲发生器/计数器（注1）；
 - 10——100MHz示波器；
 - 11——外触发输入端；
 - 12——输入通道A；
 - 13——10倍探头(100MHz)；
 - 14——发射输出端；
 - 15——接收输入端。
- 注1：仅在数字采样误差和超声检测仪的响应时间时才需要计时器。
- 注2：仅在超声检测仪和测试设备阻抗要求相匹配时才需要终端匹配器。

图 8 设备的通用连接方式

调节信号发生器，使仪器的输入信号幅度为±1V峰—峰电压，调节仪器增益，使仪器屏幕显示一个幅度为全屏幅度80%的信号，记录增益设定值。依次选取每个频带，改变输入信号的频率，记录每个频带在显示最大信号幅度时所对应的输入信号的频率 $f_{\max}$ 和电平，再调节经校准的外部衰减器，使仪器显示的信号幅度刚好为全屏幅度的80%，与此同时，确保放大器不饱和，并且在示波器屏幕上显示的输入信号幅度保持恒定。将经校准的外部衰减器的衰减量降低3dB，以提高仪器屏幕显示的信号幅度。

以小于标称频带带宽5%的增量，依次从 $f_{\max}$ 提高和降低输入信号频率，并记录仪器屏幕显示的信号幅度恢复到全屏幅度80%时所对应的上限频率值 f_0 和下限频率值 f_1 （-3dB点）。返回到初始值，再次确认经校准的外部衰减器的输入信号是恒定的。

仪器的中心频率 f_0 （在可选情况下，对应每种带宽的设定值）按公式（4）计算：

$$f_o = \sqrt{f_u \times f_l} \quad \dots\dots\dots (4)$$

仪器的频带带宽 Δf （-3dB点之间）按公式（5）计算：

$$\Delta f = f_u - f_l \quad \dots\dots\dots (5)$$

6.1.12 等效输入噪声试验

将超声涡流仪和测试设备按照图8进行连接，超声涡流仪设置为一发一收超声检测工作模式。对应每个频率范围，采用每个频带中心频率 f_o 的输入信号，测量下述的等效输入噪声。

将超声检测通道的增益调到最大，时基线范围调到250mm（钢纵波），断开输入信号，记录仪器屏幕上显示的噪声电平。

把仪器的增益降低40dB，重新接上输入信号。调整经校准的外部衰减器和（或）输入信号电平直至仪器屏幕显示的信号幅度与上述噪声电平幅度相同。用示波器测量输入信号的峰-峰电压 V_{in} ，记录这时经校准的外部衰减器的衰减量 S （dB）。按公式（6）计算等效输入噪声 V_{ein} ，单位为V：

$$V_{ein} = \frac{V_{in}}{10^{\left(\frac{S+40}{20}\right)}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

按公式（7）计算每平方根带宽噪声：

$$n_{in} = \frac{V_{ein}}{\sqrt{f_u - f_l}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

f_u —— 上限频率；

f_l —— 下限频率。

6.1.13 衰减器衰减误差试验

衰减器衰减误差的测试方法应按照JB/T 10061-1999中4.1执行。

6.1.14 垂直线性误差

垂直线性误差的测试方法应按照JB/T 10061-1999中4.2执行。

6.1.15 有效增益范围试验

将超声涡流仪和测试设备按照图8进行连接，信号发生器产生一组十个周期的信号，如图9所示。测试点为每一个频带的中心频率 f_o ，将超声检测通道的增益设置为最小值，提高输入信号幅度直至超仪器屏幕显示的信号出现饱和或幅度达到全屏幅度的100%。测量输入信号的电压 V_{max} （测量时要考虑外部标准衰减器的设置）。

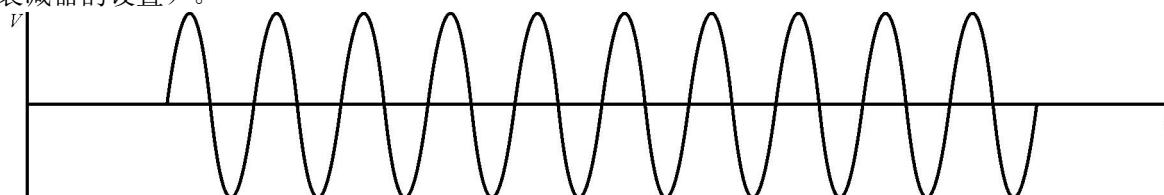


图9 采用通用的设备连接方式产生的检测波形

将超声检测通道的增益调到最大值，如果这时仪器的噪声电平大于全屏幅度的5%，则应降低增益，直至噪声电平幅度刚好为全屏幅度的5%。调整输入信号幅度使仪器屏幕显示的信号幅度达到全屏幅度的10%，测量输入信号的电压 V_{min} （测量时要考虑经校准的外部标准衰减器的设置）。

注：如果信号发生器不能提供足够低的电压，应将仪器重新设置到大于最小增益20dB的电平并对测量结果作必要的修正。

有效增益范围按公式（8）计算，单位为dB：

$$S_d = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{max}}{V_{min}} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

如果 $V_{\min}$ 低于等效输入噪声 V_{ein} ，则有效增益范围按公式 (9) 计算，单位为 dB：

$$S_d = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{\max}}{V_{\text{ein}}} \right) \dots\dots\dots (9)$$

6.1.16 远场分辨力试验

将超声涡流仪和测试设备按照图8进行连接，超声涡流仪设置为一发一收超声检测工作模式，其被测通道的频带置最宽，对应所选择频带的中心频率产生两个单周期的测试脉冲。将2.5M超声探头置于附录D中的CSK-1A试块上，使用耦合剂保持适当耦合，使来自A面、B面两个面的回波幅度相等并约为垂直刻度的80% (h_1)。读数波峰 (h_1) 对应衰减器的读数 D_1 如图10所示。

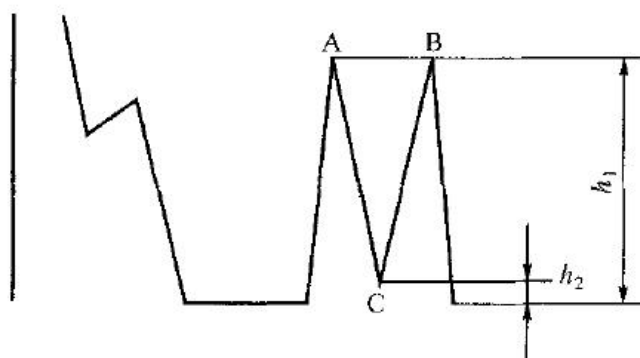


图 10 波峰、波谷示意图

调节衰减器，使波谷C的回波幅度上升为垂直刻度的80%，读取波谷 (h_2) 对应衰减器的读数 D_2 ，则远场分辨力R按公式 (10) 计算。

$$R = D_1 - D_2 \dots\dots\dots (10)$$

6.1.17 水平线性误差试验

水平线性误差的测试方法应按照 JB/T 10061-1999 中 4.4 执行

6.1.18 数字采样误差试验

将超声涡流仪和测试设备按照图8进行连接，超声涡流仪设置为一发一收超声检测工作模式，以产生一个与发射脉冲同步的测试信号。将输入信号的延迟 T 调至 T_0 ，让 T_0 大于发射脉冲后盲区。将信号发生器的频率调到对应频带的上限频率 f_u ，调整信号发生器，使其输出一个单周期的正弦波信号，其幅度为全屏幅度的80%。

利用可变延迟，以很小的增量 ΔT 增加延迟 T ，增量 ΔT 按公式 (11) 计算。

$$\Delta T = \frac{1}{10f_u} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

f_u ——上限频率。

每次增加 ΔT 时，测量超声检测仪屏幕显示的信号幅度。继续增加延迟时间，并测量超声检测仪屏幕显示的信号幅度，直至完成30次（即3个波长）测量为止。

注：测试应在每个频带的检波和射频方式下进行，禁止使用时间相关增益曲线。对影响数字的每个设定值（例如时基线范围和脉冲重复频率）应重复进行本项测试。

6.1.19 最小响应时间试验

将超声涡流仪和测试设备按照图8进行连接，信号发生器输出一个对应频带上限截止频率 f_u 的单周期正弦测试信号。将超声检测通道的增益调至其增益范围的中间值，发射脉冲重复频率调至最大，水平基线范围置于中间值，调节信号发生器输出电平和经校准的外部衰减器，使仪器屏幕显示一个幅度为全

屏幅度的80%的测试信号。在下一个脉冲产生之前，信号发生器需要重新准备之后，调整信号发生器，使其输出一个单发窄脉冲。测试信号消失后，仪器屏幕上应显示一个波幅为全屏幅度80%的信号。

如果仪器屏幕上没有显示出信号，或者信号幅度不在全屏幅度的75%～85%之间，则通过调整信号发生器增加选通闸门宽度，设置信号发生器为多触发模式，增加发射次数，直至仪器屏幕显示信号幅度达到全屏幅度的75%～85%为止。

测量从发射脉冲开始触发产生选通测试信号闸门至选通测试信号闸门结束后仪器再次开始发射脉冲的时间，即为最小响应时间，如图11所示。

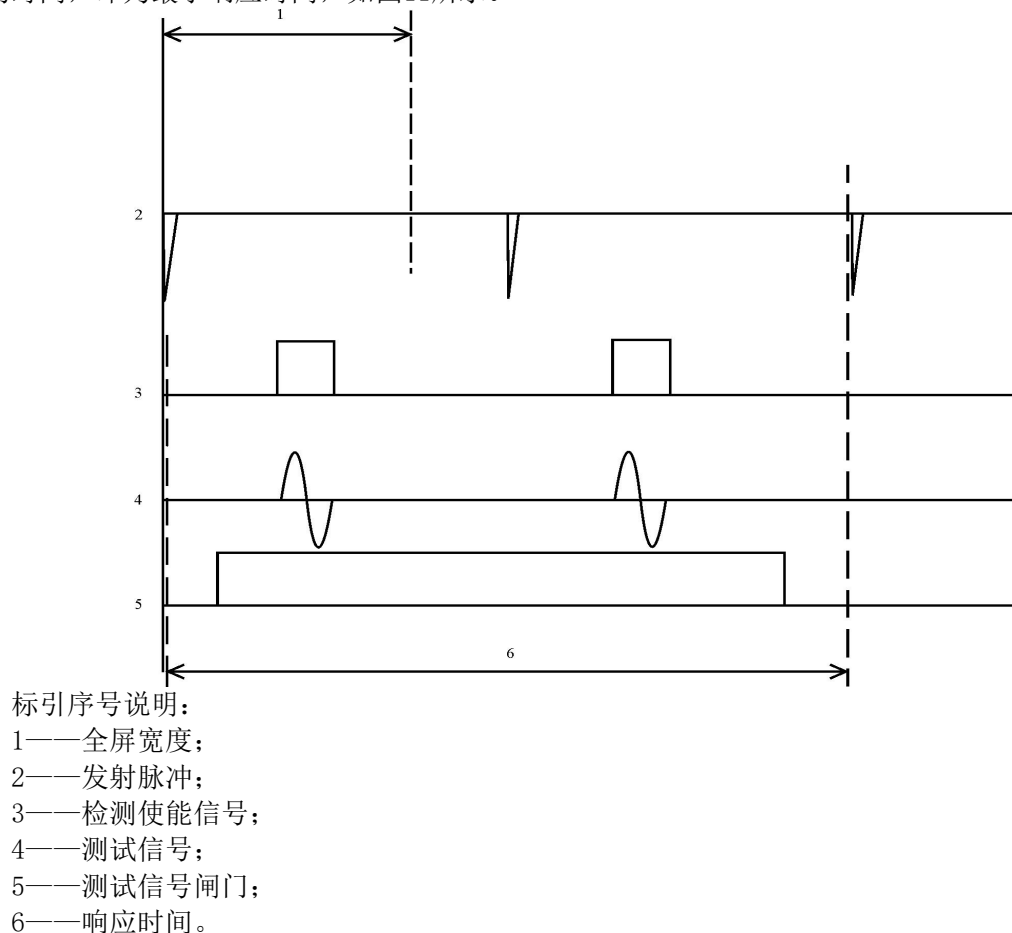


图 11 测量最小响应时间的时序图

6.2 涡流性能试验

6.2.1 激励频率试验

在涡流检测的频率范围内，平均设置十个检测频率，对带载时的发生器输出频率进行测量。频率标称值的误差由公式（12）计算确定：

$$\Delta f = \frac{f_d - f_m}{f_d} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

f_d ——频率标称值，单位为赫兹（Hz）；

f_m ——频率测量值，单位为赫兹（Hz）。

使用示波器、频率计或频谱分析仪测量频率。试验后应给出被测量范围内的最大频率偏差。

6.2.2 增益最大偏差试验

使用附录A中的标准试块，在给定的工作频率（如500kHz）下使用涡流检测探头对标准试块上的人工缺陷进行扫查，以最小增益时测得的输出电压作为参考值 V_0 ，增益范围至少5档可调，每档相差6dB，依次变换增益档，记录同一人工缺陷在不同增益下屏幕显示的信号幅值 V_i ，增益偏差 E_i 由公式（13）计算求出：

$$E_i = 20 \lg (V_i/V_0) \quad \dots\dots\dots (13)$$

增益最大偏差为增益偏差的最大值。

6.2.3 相位线性试验

相位线性表示调节相位偏转角时响应信号相位的线性度，调节 $0^\circ \sim 360^\circ$ 变化范围的偏转角时，观测仪器屏幕显示信号相位与预期相位的偏差。

测量方法为：使用附录A中的标准试块，在给定的工作频率下使用涡流检测探头对同一人工缺陷进行重复扫查，比较N次扫查后的实际输出值与理论值（即输入值）的偏差，得出相位最大线性偏差。

6.2.4 混频试验

试验步骤如下：

- 设 f_1 为某一检测通道的工作主检频率（10kHz～500kHz）， f_2 为另一检测通道的工作辅检频率，且 $f_2 = f_1/2$ ；
- 两个频率的激励信号同时作用于同一探头，然后从这一探头同时拾取两个频率的响应信号，分别注入各自的检测信号通道；
- 在附录B中的标准试管的通孔缺陷位置外面套一个内径不小于标准样管外径、宽度不小于15mm、壁厚不小于5mm的45#钢圆环（支撑板），使内穿式探头扫过标准试管上人工通孔和外面的支撑板，在两个检测通道分别获得响应信号；
- 以经过混频处理后得到的 $\Phi 1.2\text{mm}$ 通孔响应信号的幅值与经混频后的支撑板信号幅值之差（dB数），即为混频后信噪比。

6.2.5 灵敏度试验

仪器在进行平衡和提离效应补偿后，使用涡流检测探头在附录A中的标准试块上，以均匀的速度垂直于人工缺陷进行扫查，应能使附录A中的标准试块上人工缺陷的信号幅度达到全屏。

6.2.6 最大激励电压试验

利用示波器或电压表测量最大激励电压。测量仪器应具有高的输入阻抗（ $>1\text{M}\Omega$ ）并且带宽与涡流检测工作频率范围相一致。

6.3 绝缘电阻试验

使超声涡流仪处于非工作状态，开关置于接通状态，用绝缘电阻测试仪测量电源进线端与保护接地电路之间的绝缘电阻，结果应满足4.3.3.1的要求。

6.4 介电强度试验

使超声涡流仪处于非工作状态，开关置于接通状态，用耐电压测试仪在电源进线端与保护接地电路之间施加1.5kV试验电压。试验时，电压应逐步上升到规定值，并在规定值的电压上保持1min，结果应满足4.3.3.2的要求。

6.5 耐温试验

6.5.1 概述

在进行耐温试验时，高、低温箱内的温度应保持相对恒定均匀，温差不超过 $\pm 3^\circ\text{C}$ ，箱内空间至少应为超声涡流仪体积的3倍。为防止湿度的影响，在不影响耐温试验条件下，必要时，宜采取对高、低温箱密封或注入干燥空气等措施。

6.5.2 高温试验

将超声涡流仪放入高温箱内，试验参数见表1。

高温试验后，是温度降至室温，取出超声涡流仪并在正常工作条件下放置24h以上，再对超声涡流仪进行性能试验，其性能应满足第4章的要求。

6.5.3 低温试验

将超声涡流仪放入低温箱内，试验参数见表1。

低温试验后，是温度升至室温，取出超声涡流仪并在正常工作条件下放置24h以上，再对超声涡流仪进行性能试验，其性能应满足第4章的要求（低温试验后，若超声涡流仪有凝水现象，应适当延长预热时间或采用风扇通风等其他方法迅速去潮）。

6.6 耐湿试验

耐湿性能的试验方法应按GB/T 25480-2010中4.4执行，试验后再对超声涡流仪进行检验，其各项性能指标应满足第4章的要求。

6.7 振动试验

抗振动性能的试验项目和方法应按GB/T 6587-2012第5.9.3执行，试验后再对超声涡流仪进行检验，其各项性能指标应满足要求本文件第4章的要求。

6.8 冲击试验

抗冲击性能的试验项目和方法应按GB/T 6587-2012第5.9.4执行，试验后再对超声涡流仪进行检验，其各项性能指标应满足要求本文件第4章的要求。

6.9 运输试验

运输性能的试验项目和方法应按GB/T 6587-2012第5.10执行，试验后再对超声涡流仪进行检验，其各项性能指标应满足要求本文件第4章的要求。

7 检验规则

7.1 出厂检验

7.1.1 凡出厂产品应经过制造厂质量检验部门按出厂检验项目检验合格，并签发产品合格证后方可出厂。

7.1.2 出厂检验项目按表2的规定。

表2 出厂检验及型式检验项目

序号	项目	技术要求	检验方法	出厂检验	型式检验
超声检测	稳定性	4.3.1.1	6.1.1	√	√
	接收系统频带宽度	4.3.1.2	6.1.2	√	√
	探伤灵敏度余量	4.3.1.3	6.1.3	√	√
	扫描范围	4.3.1.4	6.1.4	√	√
	通道间灵敏度余量 偏差	4.3.1.5	6.1.5	√	√
	发射脉冲重复频率	4.3.1.6	6.1.6	√	√
	有效输出阻抗	4.3.1.7	6.1.7	√	√
	发射脉冲电压	4.3.1.8	6.1.8	√	√
	发射脉冲上升时间	4.3.1.9	6.1.8	√	√
	发射器到接收器的 串扰抑制	4.3.1.10	6.1.9	—	√
	发射脉冲后盲区	4.3.1.11	6.1.10	—	√
	放大器频率响应	4.3.1.12	6.1.11	—	√
	等效输入噪声	4.3.1.13	6.1.12	—	√
	衰减器衰减误差	4.3.1.14	6.1.13	—	√

序号	项目	技术要求	检验方法	出厂检验	型式检验
	垂直线性误差	4.3.1.15	6.1.14	√	√
	水平线性误差	4.3.1.16	6.1.15	√	√
	有效增益范围	4.3.1.17	6.1.16	√	√
	远场分辨力	4.3.1.18	6.1.17	√	√
	数字采样误差	4.3.1.19	6.1.18	—	√
	最小响应时间	4.3.1.20	6.1.19	—	√
	显示方式	4.3.1.21	目测方法	—	√
涡流检测	频率	4.3.2.1	6.2.1	√	√
	通道数	4.3.2.2	目测方法	√	√
	增益	4.3.2.3	6.2.2	√	√
	相位	4.3.2.4	6.2.3	√	√
	显示方式	4.3.2.5	目测方法	—	√
	混频	4.3.2.6	6.2.4	—	√
	灵敏度	4.3.2.7	6.2.5	√	√
	最大激励电压	4.3.2.8	6.2.6	√	√
其他	绝缘电阻	4.3.3.1	6.3	—	√
	介电强度	4.3.3.2	6.4	—	√
	外观质量	4.3.3.3	目测方法	√	√
	耐温、耐湿性能	4.3.3.4	6.5、6.6	—	√
	抗振动	4.3.3.5	6.7	—	√
	抗冲击	4.3.3.6	6.8	—	√
	运输	4.3.3.7	6.9	—	√
注：“√”为必检项目，“—”为不检项目。					

7.2 型式检验

7.2.1 型式检验项目按表 2 的规定。

7.2.2 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 新产品或老产品转厂生产的型式鉴定；
- 产品正式生产后，结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能；
- 产品正式生产时，每三年进行一次型式检验；
- 产品长期停产后，恢复生产；
- 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异；
- 国家质量监督检验检疫机构提出进行型式检验的要求。

8 标志, 包装, 运输, 贮存

8.1 标志

每台超声涡流仪应在机壳上明显位置固定铭牌，其内容包括：

- 规格、型号、编号；
- 制造厂名称及商标。

8.2 包装

8.2.1 超声涡流仪的包装应符合 JB/T 6147-2007 中第 5 章的规定。

8.2.2 包装箱外壁上文字和标志应清楚，且不应因搬运摩擦而模糊不清，其内容包括：

- 产品名称；
- 收货单位名称、地址及电话；
- 发货单位名称、地址及电话；

- d) 包装箱应有“易碎物品”、“向上”、“怕雨”、“禁止翻滚”等标志，并符合 GB/T 191-2008 中表 1 的规定。

8.2.3 包装箱内应附有下列随行文件：

- a) 产品装箱单；
- b) 产品合格证；
- c) 产品说明书。

8.3 运输和贮存

8.3.1 超声涡流仪的运输、贮存环境条件应符合 GB/T 25480-2010 中第 3 章的规定。

8.3.2 超声涡流仪在运输过程中应防止振动和碰撞，并符合包装箱外壁上文字和标志的规定。

8.3.3 超声涡流仪贮存地点及周围环境不应有腐蚀性气体，环境温度、空气相对湿度应符合 4.1 的规定。库内保持空气流通，地面保持清洁。

附录 A
(资料性)
涡流检测标准试块

A.1 材料与规格

A.1.1 材料

采用钢材料制作而成。

A.1.2 规格

规格尺寸如图A.1所示。

单位为毫米

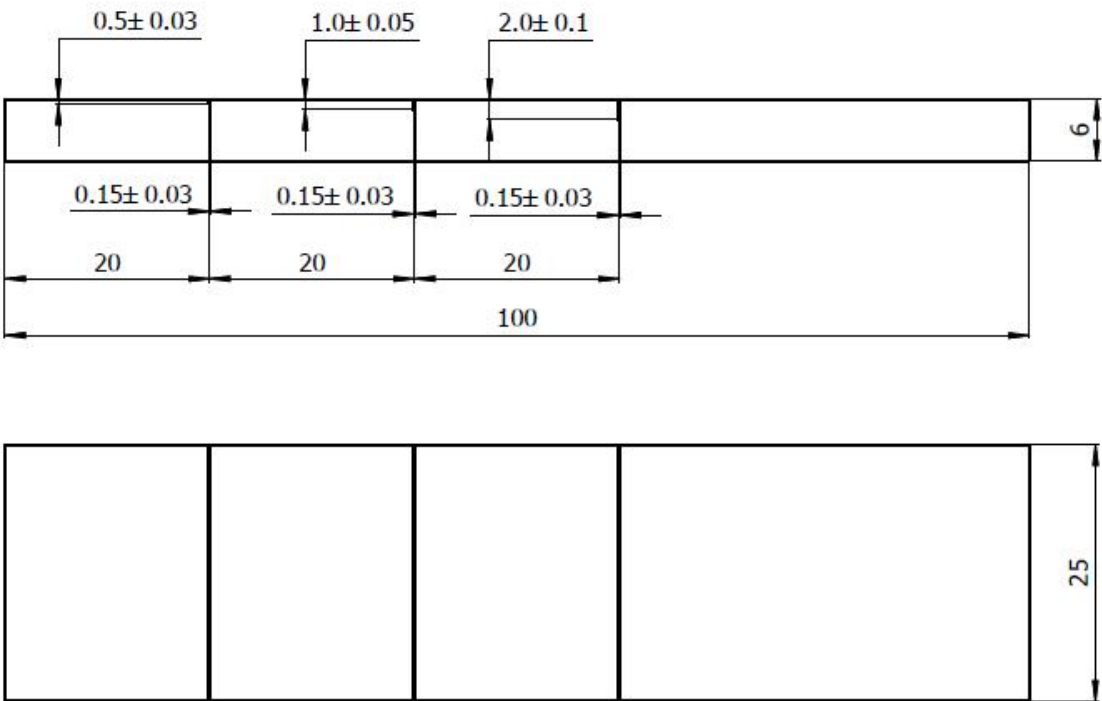


图 A.1 涡流检测用标准试块

A.2 人工缺陷

人工缺陷为线切割切槽，其尺寸（长、宽、深）位置如图A.1所示。

附录 B
(资料性)
涡标检测标准试管

B.1 材料与规格

材料牌号：H系铜合金。
规格：Φ20mm×1mm 至 Φ30mm×1mm。

B.2 人工缺陷

人工缺陷类型包括通孔、环形槽、平底孔。
人工缺陷的尺寸、位置见图B.1。

单位为毫米

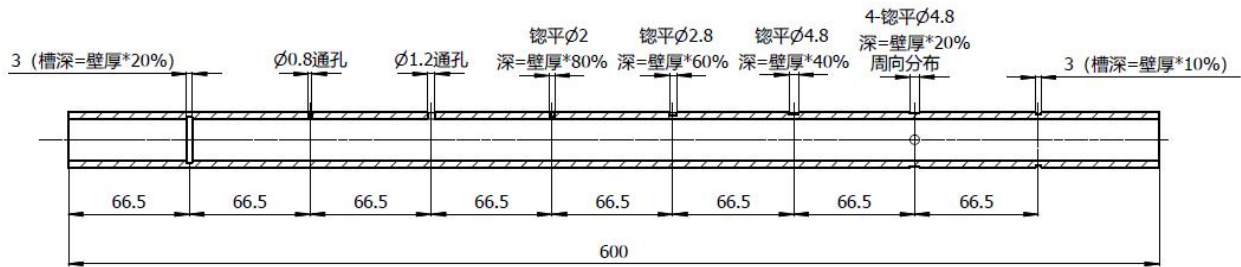


图 B.1 涡流检测用标准试管

附录 C
(资料性)
超声检测标准试块

C.1 超声检测标准试块的规格尺寸如图 C.1 所示。

单位为毫米

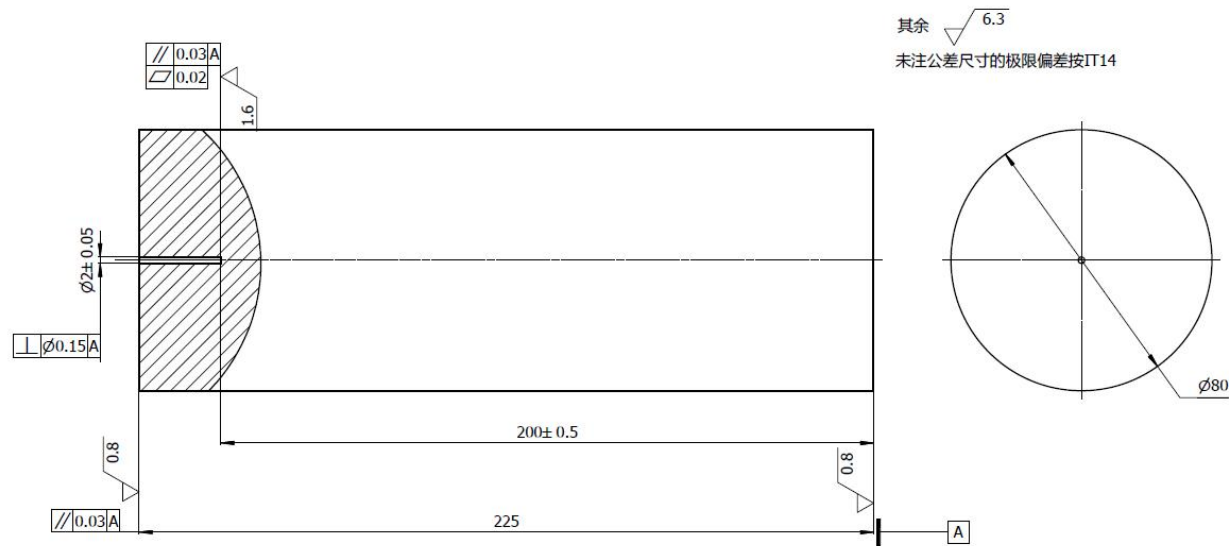


图 C.1 超声检测用标准试块

附 录 D
(资料性)
CSK-1A 试块

D.1 CSK-1A 试块的规格尺寸如图 D.1 所示。

单位为毫米

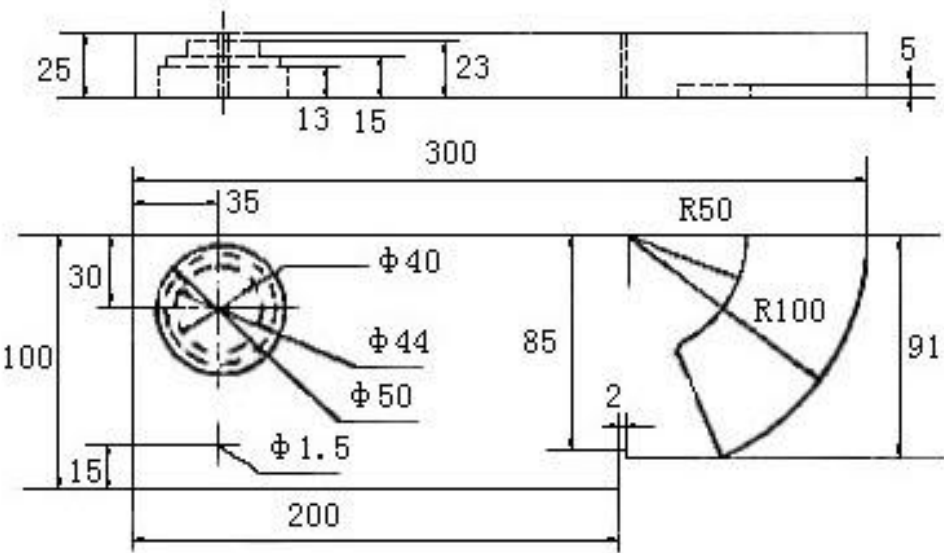


图 D.1 CSK-1A 试块