

ICS 19.100
N 77

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 13935—2020

无损检测仪器 超声检测
超声衍射声时检测仪

**Nondestructive testing instrument — Ultrasonic examination—
Ultrasonic time-of-flight diffraction testing instrument**

2020-04-16 发布

2021-01-01 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 符号和说明	1
5 要求	3
6 试验方法	6
7 检验规则	17
8 标志、包装、运输和贮存	18
表 1 符号和说明	2
表 2 垂直线性的理论和允差值	12
表 3 出厂检验和型式检验项目	17
图 1 防止发射脉冲损坏检测设备的保护电路	7
图 2 测量的发射脉冲参数	8
图 3 测量发射能量泄漏抑制的连接方式	9
图 4 测量发射脉冲后盲区的设备连接方式	10
图 5 测量发射脉冲后盲区时在超声 TOFD 检测仪显示屏上的波形图	10
图 6 设备的通用连接方式	11
图 7 采用通用的设备连接方式产生的检测波形	13
图 8 用于检测时基线性的信号时序图	15
图 9 测量超声 TOFD 检测仪响应时间的时序图	16

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/TC 122）归口。

本标准起草单位：汕头市超声仪器研究所有限公司、中国特种设备检测研究院、辽宁仪表研究所、中信戴卡股份有限公司、中国船级社实业公司。

本标准主要起草人：陈智发、谢晓宇、曹燕亮、郑阳、王琳、刘军、邓丹。

本标准为首次发布。

无损检测仪器 超声检测 超声衍射声时检测仪

1 范围

本标准规定了超声衍射声时检测仪（以下简称超声 TOFD 检测仪）的术语和定义、符号和说明、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本标准适用于带宽为 0.5 MHz~30 MHz 的单通道和多通道超声 TOFD 检测仪。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 191 包装储运图示标志

GB 4793.1—2007 测量、控制和试验室用电气设备的安全要求 第1部分：通用要求

GB/T 6587—2012 电子测量仪器通用规范

GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测

GB/T 19001 质量管理体系 要求

GB/T 27664.1—2011 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第1部分：仪器

3 术语和定义

GB/T 12604.1、GB/T 27664.1—2011 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

衍射声时 **time of flight diffraction, TOFD**

采用一发一收双探头模式、利用缺陷端点的衍射波信号，探测缺陷位置及尺寸的一种超声检测方法。

3.2

TOFD 图像 **TOFD image**

将扫描过程中采集的A扫描信号连续拼接而成的TOFD数据二维显示。

注：一个轴代表探头移动距离，另一个轴代表深度，一般用灰度表示 A 扫描信号的幅度。

3.3

探头中心间距 **probe center spacing, PCS**

两 TOFD 探头入射点之间的距离。对曲面，是指两 TOFD 探头入射点之间的最短距离。

3.4

净增益 **net gain**

接收通道的可用最大放大倍数。

4 符号和说明

符号和说明见表 1。

表1 符号和说明

符号	单位	说明
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_a	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
G_n	dB	接收放大通道的净增益
G_{max}	dB	可调最大增益读数
G_0	dB	A/D (模/数) 转换芯片输入端信号等于该芯片最大不失真输入峰-峰信号时的仪器增益读数
N	—	测量次数
n_{in}	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
R_{min}	Ω	最小增益时接收器的输入电阻
S	dB	外部衰减器的衰减量
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_{A1} 、 t_{A2}	s	瞬时分辨力
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
V_E	V	接收器输入电压
V_{ein}	V	接收器等效输入噪声
V_{in}	V	输入电压
V_{max}	V	接收器最大输入电压
V_{min}	V	接收器最小输入电压
V_r	V	发射脉冲反冲幅度
V_{50}	V	带有 50 Ω 负载的发射器, 其发射脉冲的电压幅度
V_{75}	V	带有 75 Ω 负载的发射器, 其发射脉冲的电压幅度
V_{pp}	V	A/D 转换芯片最大输入信号的峰-峰电压值
Z_o	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

超声 TOFD 检测仪应满足下列条件：

- a) 制造厂通过 GB/T 19001 质量管理体系认证，或产品经有资质的检测机构检测合格并获得其出具的检测报告。
- b) 标明制造厂名称、型号和系列，并在铭牌或外壳上标明唯一编号。
- c) 附有与超声 TOFD 检测仪型号和系列相符的出厂合格证、使用说明书。
- d) 附有与出厂配置相符的装箱单。
- e) 附有外形尺寸、结构简图，标明质量（在工作条件下）。
- f) 标明电源类型。
- g) 标明探头插座规格。
- h) 标明电池工作时间（新电池在最大功耗情况下）。
- i) 按照技术要求工作时，温度和电压[交流电和（或）电池]的范围，若需预热，应规定预热时间；标明当电池电压过低使超声 TOFD 检测仪性能低于技术要求时的指示方式。
- j) 标明数据输出及存储部件。
- k) 部分一般功能性要求：
 - 仪器的每个通道检测显示应至少包括 A 扫描信号和 TOFD 图像，且 A 扫描信号使用射频波（RF）形式。
 - 对于常规 TOFD 应用，超声设备和扫查机构组合后的信号获取和数字化速度，应满足 1 mm 至少能实现一次 A 型扫描。数据获取和扫查机构运动应同步，有体现数据丢失的相关指示或标志。
 - 选择时基线的合适部分对其中的 A 型扫描进行数字化，并提供一个位置和长度可调的时间窗。窗口的起点应在距发射脉冲 0 μs ~200 μs 间可调，长度应在距发射脉冲 5 μs ~100 μs 间可调，以选择合适的信号数字化和显示。
 - 数字化的 A 型扫描线应以与幅度相对应的灰度或单色阶显示，邻近相连就形成一个 B 型显示。灰度或单色的色阶级数应至少为 256 级。
 - 为了存档，设备应能将所有 A 型扫描或 B 型扫描（视情况而定）存储在可离线使用的存储媒介（例如 U 盘、光盘等）中。为输出报告，设备应对 A 型扫描或 B 型扫描（视情况而定）进行硬拷贝。
 - 应包括 TOFD 显示的深度或时基线性化算法，以测量衍射体的深度和高度。
 - 应具有移除直通波、局部位置信号放大等必要的分析功能。
 - 设备应可连接扫查装置，用于保持两探头入射点间距离 PCS 值不变并平行排列。为超声设备提供探头位置信息，以生成与位置有关的 B 型显示。探头位置信息可通过例如增量型磁或光学编码器、电位计获得。TOFD 应用中的扫查装置可用马达或手动驱动，扫查装置应具有一个合适的导向装置（钢鼓、钢带、自动跟踪系统、导向轮等）。扫查过程应保证探头的耦合稳定性。

5.2 显示器

应列出下列各项：

- a) 显示屏的尺寸、像素数量、色阶级数；
- b) 垂直和水平方向长、短刻度线的数目。

5.3 稳定性

5.3.1 预热后的稳定性:

- a) 信号幅度变化的允许值为全屏幅度的 $\pm 3\%$;
- b) 沿时基线漂移的允许值为全屏宽度的 $\pm 1\%$ 。

5.3.2 显示抖动:

- a) 信号幅度变化的允许值为全屏幅度的 $\pm 3\%$;
- b) 信号位置变化的允许值为全屏宽度的 $\pm 1\%$ 。

5.3.3 相对电压变化的稳定性:

- a) 信号幅度变化的允许值为全屏幅度的 $\pm 3\%$;
 - b) 信号位置变化的允许值为全屏宽度的 $\pm 1\%$ 。
- 具有低电压自动关机系统或报警指示功能。

5.4 发射器

5.4.1 脉冲重复频率

在每个设定值下测得的脉冲重复频率值应在制造厂技术规格书中规定值的 $1 \pm 10\%$ 以内。发射脉冲重复频率最大值应不小于 500 Hz。

5.4.2 有效输出阻抗

有效输出阻抗应在制造厂技术规格书中规定值的 $1 \pm 10\%$ 以内，并且最少有一档不大于 50Ω 。

5.4.3 发射脉冲电压（峰-峰值）

发射脉冲电压（带负载，即 V_{50} ）应在制造厂技术规格书中规定值的 $1 \pm 10\%$ 以内，且应至少有一档大于 200 V。

5.4.4 脉冲上升时间

脉冲上升时间应小于制造厂技术规格书中规定的最大值且应至少有一档小于 15 ns。
发射脉冲可以是单极性或双极性方波，脉冲上升时间应不大于探头标称频率对应周期的 25%。

5.4.5 脉冲宽度

脉冲宽度应在制造厂技术规格书中规定值的 $1 \pm 10\%$ 以内。

5.4.6 脉冲反冲幅度

脉冲反冲幅度应小于峰-峰发射脉冲电压的 4%。

5.5 接收器

5.5.1 发射能量泄漏抑制

在发射强度最强时，发射期间的发射器到接收器的发射能量泄漏抑制 D_s 应大于 60 dB。

5.5.2 发射脉冲后盲区

发射脉冲后盲区应至少有一档小于 $2 \mu\text{s}$ 。

5.5.3 放大器的频率响应

带宽应在制造厂技术规格书中规定值的 $1 \pm 10\%$ 以内。

接收器带宽应至少在探头标称频率 -6 dB 带宽的 $50\% \sim 200\%$ 范围内，除非特殊材料和产品等级要求更大带宽。可使用相适应的带通滤波器。接收放大电路频带范围按 -3 dB 测量应至少包括 0.5 MHz \sim 15 MHz。

5.5.4 等效输入噪声

等效输入噪声 $n_{in} < 80 \times 10^{-9} \text{ V} / \sqrt{\text{Hz}}$ 。

5.5.5 衰减器误差

在任意连续 20 dB 量程内，衰减器累积的允许误差为 ± 1 dB。

5.5.6 垂直线性误差

垂直线性误差不超出 $\pm 2\%$ 。

5.5.7 有效增益范围

有效增益范围 ≥ 100 dB。

5.5.8 净增益

应至少有一档带宽范围的接收放大通道的净增益大于或等于 80 dB。

5.5.9 接收器输入阻抗

输入阻抗的实数部 R_{max} 应满足： $50 \Omega \leq R_{max} \leq 1 \text{ k}\Omega$ ，并联电容 $C_{max} \leq 150 \text{ pF}$ 的条件。

5.5.10 瞬时分辨力

瞬时分辨力应小于或等于 1.5 倍 $1/f_0$ ，界面波后的瞬时分辨力应小于或等于 3 倍 $1/f_0$ 。

5.6 模数转换部分

5.6.1 时基线性误差

时基线性误差不超出 $\pm 0.5\%$ 。

5.6.2 数字采样误差

信号幅度的变化量不超出 $\pm 5\%$ 。

应以探头标称频率至少 6 倍的采样频率对未检波信号（RF 信号）进行数字化。

5.6.3 响应时间

响应时间应在制造厂技术规格书中的规定值以内。

5.7 安全要求

5.7.1 基本绝缘、加强绝缘

基本绝缘、加强绝缘的安全要求应符合 GB 4793.1—2007 中 I 类规定，且其无击穿或重复的飞弧现象。

5.7.2 环境

环境试验分组应符合 GB/T 6587—2012 中 II 组仪器的要求。

5.7.3 温度

温度试验应符合 GB/T 6587—2012 中 II 组仪器的要求。

5.7.4 湿度

湿度试验应符合 GB/T 6587—2012 中 II 组仪器的要求。

5.7.5 振动

振动试验应符合 GB/T 6587—2012 中 II 组仪器的要求。

5.7.6 冲击

冲击试验应符合 GB/T 6587—2012 中 II 组仪器的要求。

6 试验方法

6.1 试验基准条件

试验基准条件应按 GB/T 6587—2012 中表 2 的规定。

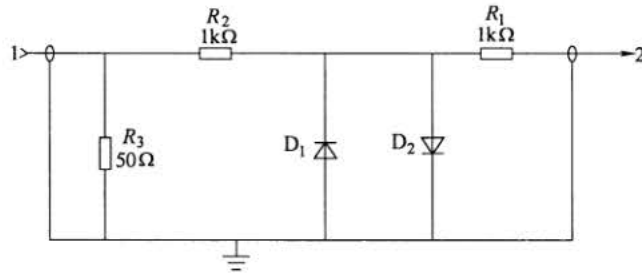
6.2 试验用主要仪器仪表

试验用主要仪器仪表如下：

- a) 带宽不小于 100 MHz 的示波器。
- b) 阻值为 50 Ω 和 75 Ω ，允许相对误差为 $\pm 1\%$ 的无感电阻。
- c) 步进为 1 dB、总衰减量为 100 dB、输出阻抗为 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测试信号闸门，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。
- e) 保护电路，其示例如图 1 所示。
- 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，精度为 0.01%。
- g) 阻抗分析仪。
- h) 环境试验箱。

除 6.3、6.4、6.8 以外，其他检测项目均使用能产生所要求测试信号的电子仪器检测。所用电子仪器的性能及其稳定性应满足检测要求。

注 2：在将示波器和（或）信号发生器连接到超声 TOFD 检测仪的发射器之前，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。



说明:

1——信号发生器； 2——超声 TOFD 检测仪； D₁、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

6.3 外观

目测超声 TOFD 检测仪的外观，检查其是否存在影响正常工作及未来可靠性的外部损伤。

6.4 稳定性

6.4.1 概述

6.4.2~6.4.4 规定了针对时间、交流电源和电池电压变化测量超声 TOFD 检测仪稳定性的检测方法。

6.4.2 预热后的稳定性

使用一个中心频率在 2 MHz~6 MHz 范围内的探头，例如零度纵波探头和合适的试块，使超声 TOFD 检测仪显示一个回波信号。第一个回波的幅度应调整为全屏幅度的 80%，并调整时基线，使该回波在大于或等于 50 mm 钢纵波声程时，位于全屏宽度的 80%。在检测过程中，应采取必要的措施以保证探头和试块的耦合稳定不变。如果配有延时控制器，则延时应设定为零。

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

在检测过程中，环境温度应保持在超声 TOFD 检测仪制造厂技术规格书中的规定值±5℃范围以内。确保电源或电池的电压在制造厂技术规格书中规定值的范围以内。

6.4.3 显示抖动

按 6.4.2 规定的方法产生一个回波参考信号，观察抖动频率大于或等于 1 Hz 时的回波幅度和位置。应避免高增益设置，以防止放大器的噪声影响测量。

6.4.4 相对电压变化的稳定性

使用稳压电源给超声 TOFD 检测仪供电，将电压调到超声 TOFD 检测仪规定的工作范围的中间值，按 6.4.2 规定的方法产生一个回波参考信号。

在制造厂技术规格书中规定值的电压范围内，对应下列各项，观察回波参考信号的幅度和其在时基线上位置的稳定性：

- a) 改变交流电源电压（通过电源变压器调节）；
- b) 和（或）改变电池电压（采用电压可变的直流电源代替标准电池组）。

对于带有低电压自动关机系统或报警指示的超声 TOFD 检测仪，应降低交流电源和（或）直流电源的电压，并记录自动关机系统或报警指示起作用时的回波幅度和位置。

6.5 发射器

6.5.1 概述

6.5.2~6.5.4 规定了脉冲重复频率、有效输出阻抗、发射脉冲电压、脉冲上升时间、脉冲宽度和脉

冲反冲幅度的检测方法。

6.5.2 脉冲重复频率

把超声 TOFD 检测仪置于双晶（一发一收，下同）探头工作方式，将示波器连接到超声 TOFD 检测仪的发射端。

在不同脉冲重复频率的每个设定值下，用示波器测量发射脉冲的重复频率。当超声 TOFD 检测仪的控制器有多种组合档位（通常指范围和脉冲重复频率的组合），且组合档位的脉冲重复频率相同时，仅需要检测其中一个组合档位。对于带有脉冲重复频率连续可调控制器的超声 TOFD 检测仪，应从制造厂的技术要求中选择一个设定值进行检测。

6.5.3 有效输出阻抗

将超声 TOFD 检测仪置于双晶探头工作方式，在超声 TOFD 检测仪的发射端连接一个 50 Ω 的无感电阻，用示波器测量超声 TOFD 检测仪发射端的脉冲电压 V_{50} 。然后用 75 Ω 的电阻替换 50 Ω 的电阻，测量发射脉冲电压 V_{75} 。应针对每个发射强度设定值，在最大和最小脉冲重复频率、最大和最小阻尼下进行检验。

对于每个脉冲设定值，按公式（1）计算有效输出阻抗 Z_0 ，单位为欧（Ω）。

$$Z_0 = 50 \times 75 \frac{V_{75} - V_{50}}{75V_{50} - 50V_{75}} \dots\dots\dots (1)$$

6.5.4 发射脉冲电压、脉冲上升时间、脉冲宽度和脉冲反冲幅度

将超声 TOFD 检测仪置于双晶探头工作方式，把示波器连接到超声 TOFD 检测仪的发射端。

将脉冲重复频率设置到最大，给发射输出插座连接一个 50 Ω 无感电阻。用示波器测量发射脉冲电压 V_{50} 。按图 2 所示测量脉冲上升时间、脉冲宽度和脉冲反冲幅度。

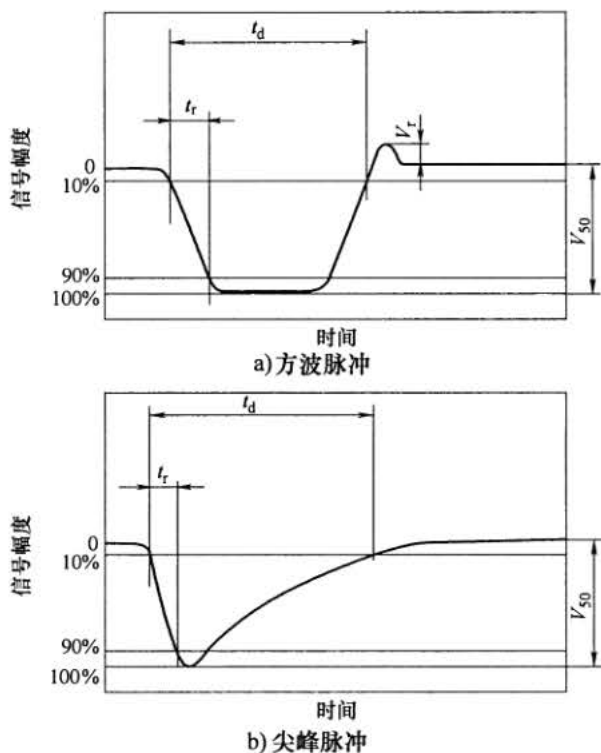


图2 测量的发射脉冲参数

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/266234243025010101>