

JB

中华人民共和国行业标准

JB/T 4730.10-XXXXX

承压设备无损检测

第10部分：衍射时差法超声检测

Nondestructive testing of pressure equipments—

Part 10: Ultrasonic time of flight diffraction technique

(征求意见稿)

XXXXX-XX-XX发布

XXXXX-XX-XX实施

XXXXXXXXXXXX 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 检测人员	3
5 检测设备	3
6 对比试块	3
7 方法概要和一般要求	4
8 检测准备	5
9 检测设置和校准	6
10 检测	9
11 检测数据的分析和解释	10
12 其他补充检测	12
13 缺陷评定与质量分级	12
14 检测报告	13
附录 A (规范性附录) TOFD 检测设备的具体性能指标要求	15
附录 B (资料性附录) 对比试块	17
附录 C (资料性附录) 衍射时差法超声检测报告	19

前 言

本部分为 JB/T 4730.1~6-2005 之外新增加的第 10 部分：衍射时差法超声检测。

本部分主要根据国内近年来的研究成果和应用经验，在方法部分主要参考了 CEN/TS 14751-2004《焊接—衍射时差法超声检测在焊接检验中的使用》、ASTM E2373-2004《采用衍射时差法超声检测的标准实施规程》、ENV583-6-2000《无损检测之超声检测第 6 部分：缺陷探测和定量的衍射时差法超声检测》、BS 7706-1993《用于缺陷探测、定位和定量的衍射时差法超声检测的校准和设置指南》以及 ASME code case 2235-9 中的有关内容；在缺陷评定部分主要参考了 NEN 1822-2005《衍射时差法超声检测的检验验收准则》和 ASME code case 2235-9 中的相关内容。

本部分附录 A 为规范性附录，附录 B、附录 C 为资料性附录。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）归口。

参加本部分制订工作的主要单位和人员如下：

中国特种设备检测研究院	林树青、寿比南、郑晖、马殿忠、胡斌
国家质检总局特种设备安全监察局	王晓雷、张建荣
江苏省特种设备安全监督检验研究院	强天鹏
湖北省特种设备安全检验检测研究院	李新成
合肥通用机械研究院	关卫和
中国第一重型机械集团公司	周凤革
武汉中科创新技术有限公司	田建新
北京欧宁检测科技有限公司	李智军
华北电力科学研究院有限责任公司	胡先龙
辽宁省葫芦岛市锅炉压力容器检验研究所	田国良

承压设备无损检测

第 10 部分：衍射时差法超声检测

1 范围

JB/T 4730的本部分规定了承压设备采用衍射时差法超声检测（以下简称“TOFD”）方法和质量分级要求。

本部分适用于同时具备下列条件的焊接接头：

- a) 材料为低碳钢或低合金钢；
- b) 截面全焊透的对接接头；
- c) 工件厚度 t ：12mm $\leq t \leq$ 400mm（不包括焊缝余高，焊缝两侧母材厚度不同时，取薄侧厚度值）。

与承压设备有关的支撑件和结构件的衍射时差法超声检测，可参照本部分使用；对于其他细晶各向同性和低声衰减金属材料，也可参照本部分使用，但应考虑声速的变化。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款，通过JB/T 4730本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

JB/T 4730.1	承压设备无损检测	第 1 部分：通用要求
JB/T 4730.2	承压设备无损检测	第 2 部分：射线检测
JB/T 4730.3	承压设备无损检测	第 3 部分：超声检测
JB/T 4730.4	承压设备无损检测	第 4 部分：磁粉检测
JB/T 4730.5	承压设备无损检测	第 5 部分：渗透检测
JB/T 4730.6	承压设备无损检测	第 6 部分：涡流检测
JB/T 10061-1999	A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件	
JB/T 10062-1999	超声探伤用探头性能测试方法	
GB/T 12604.1	无损检测	术语 超声检测

3 术语和定义

GB/T 12604.1 规定的，以及下列术语和定义适用于 JB/T 4730 的本部分。

3.1

坐标定义 coordinate definition

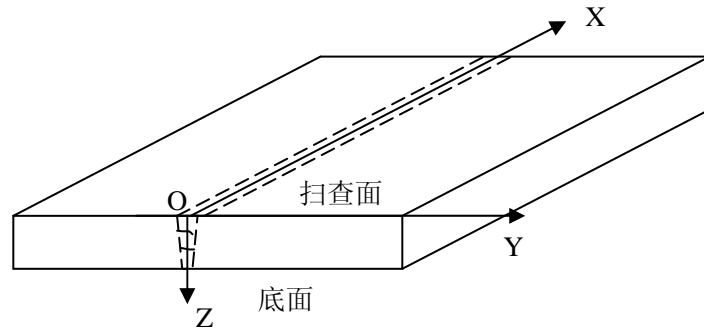


图1 坐标定义

O: 设定的检测起始参考点
 X: 沿焊缝长度方向的坐标
 Y: 沿焊缝宽度方向的坐标
 Z: 沿焊缝厚度方向的坐标

3.2

TOFD Time of Flight Diffraction

衍射时差法超声检测，是采用一发一收探头工作模式、利用缺陷端点的衍射波信号探测和测定缺陷尺寸的一种自动超声检测方法。

3.3

扫查面 scanned surface

放置探头的工件表面，超声波声束从该面进入工件内部。

3.4

底面 back wall

与扫查面相对的工件另一侧表面。

3.5

直通波 lateral wave

从发射探头沿工件以最短路径到达接收探头的超声波。

3.6

底面反射波 back wall echo

经底面反射到接收探头的超声波。

3.7

探头中心间距 probe centre separation (PCS)

发射探头和接收探头入射点之间的直线距离。

3.8

缺陷深度 flaw depth

缺陷上端点与扫查面间的最短距离，见图2中 d_1 。

3.9

缺陷高度 flaw height

缺陷沿X轴方向上、下端点在Z轴投影间的最大距离，见图2中 h 。

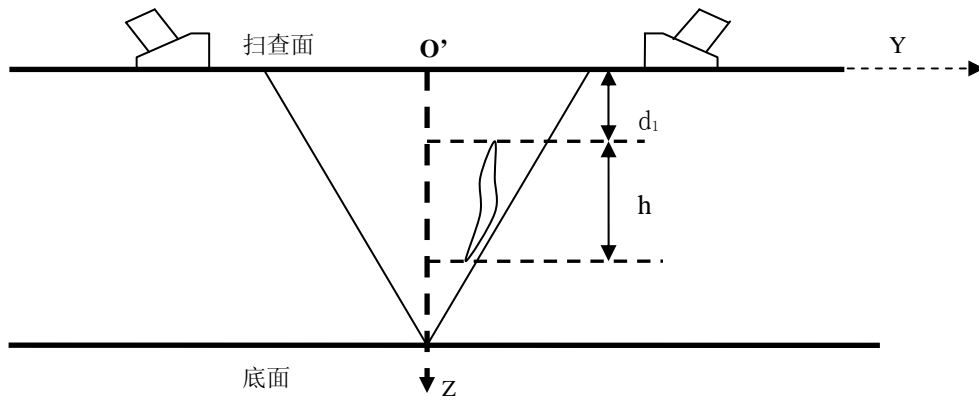


图 2 缺陷深度和缺陷高度

3.10

平行扫查 parallel scan

探头运动方向与声束方向平行的扫查方式。

3.11

非平行扫查 non-parallel scan

探头运动方向与声束方向垂直的扫查方式，一般指探头对称布置于焊缝中心线两侧沿焊缝长度方向（X 轴）的扫查方式。

3.12

偏置非平行扫查 offset-scan

偏移焊缝中心线一定距离的非平行扫查。

3.13

A 扫描信号 A-scan signal

超声波信号的波形显示图，水平轴表示超声波的传播时间，垂直轴表示波幅。

3.14

TOFD 图像 TOFD image

TOFD 数据的二维显示，是将扫查过程中采集的 A 扫描信号连续拼接而成，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。

4 检测人员

4.1 TOFD 检测人员的一般要求应符合 JB/T 4730.1 的有关规定。

4.2 TOFD 检测人员应熟悉所使用的 TOFD 检测设备和检测工艺作业指导书。

5 检测设备

5.1 检测设备应具有产品质量合格证或合格的证明文件。

5.2 按超声波发射和接收的通道数可分为单通道和多通道检测设备。

5.3 检测设备至少应具有超声波发射、接收、放大、数据自动采集、记录、显示和分析功能。

5.4 检测设备包括仪器、探头、扫查装置和附件。

5.5 检测设备具体性能指标应满足附录 A（规范性附录）的要求。

6 对比试块

6.1 对比试块是指用于检测校准的试块。

6.2 对比试块应采用与工件声学性能相同或近似的材料制成，该材料用直探头检测时，不得有大

于或等于 $\Phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径的缺陷。

6.3 对比试块的外形尺寸应能代表工件的特征和满足扫查装置的扫查要求，对比试块厚度应与工件的厚度相对应，至少大于工件壁厚的80%。

6.4 对比试块中反射体的形状、尺寸和数量参照附录B（资料性附录）的规定。在满足检测需要时，反射体也可采取其他布置形式或添加。

6.5 检测曲面工件的纵缝时，如检测面曲率半径小于150mm时，对比试块半径应为其0.9~1.5倍；当曲率半径等于或大于150mm时，可以采用平面对比试块。

7 方法概要和一般要求

7.1 检测原理

7.1.1 TOFD 是一种利用超声波衍射现象、非基于波幅的自动超声检测方法，其基本特点是采用一发一收探头对工作模式。

7.1.2 TOFD 通常使用纵波斜探头，在工件无缺陷部位，发射超声脉冲后，首先到达接收探头的是直通波，然后是底面反射波。有缺陷存在时，在直通波和底面反射波之间，接收探头还会接收到缺陷处产生的衍射波或反射波。除上述波外，还有缺陷部位和底面因波型转换产生的横波，一般会迟于底面反射波到达接收探头。工件中超声波传播路径见图3，缺陷处A扫描信号见图4：

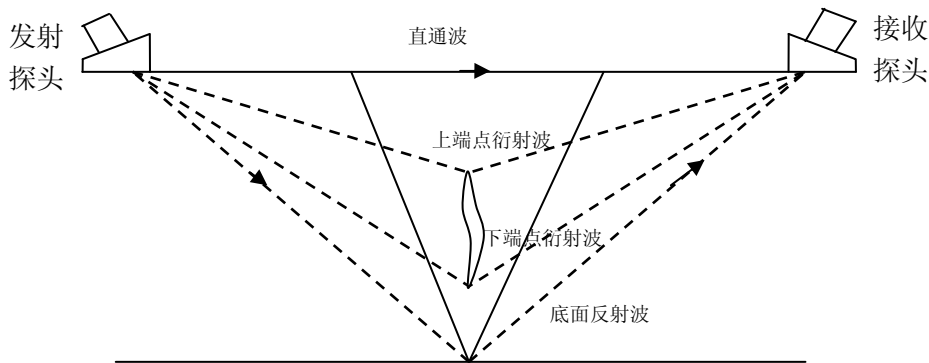


图3 工件中超声波传播路径

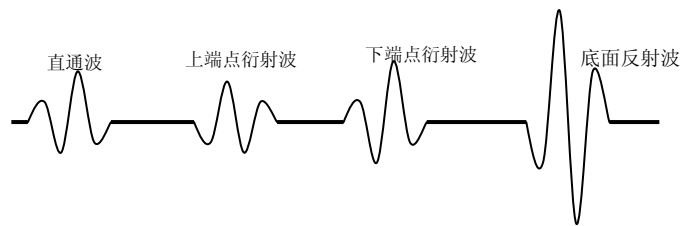


图4 缺陷处A扫描信号

7.1.3 TOFD 检测显示

7.1.3.1 TOFD 检测显示应至少包括A扫描信号和TOFD图像。

7.1.3.2 TOFD 应使用射频波形式的A扫描信号。

7.1.4 表面盲区

7.1.4.1 由于直通波和底面反射波均有一定的宽度，处于此范围内的缺陷波难以被发现，因此TOFD检测在扫查面和底面均存在表面盲区。

7.1.4.2 可以通过采用宽频带窄脉冲探头、减少探头中心间距或增加扫查方式等方法降低表面盲区高度。

7.1.4.3 对于表面盲区应采取其他有效的检测方法进行补充。

7.2 扫查方式

7.2.1 扫查方式一般分为非平行扫查、平行扫查和偏置非平行扫查等三种基本扫查方式，其扫查方式示意图分别见图5、图6和图7。

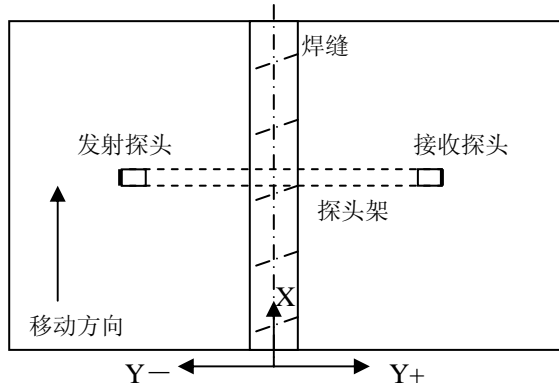


图5 非平行扫查

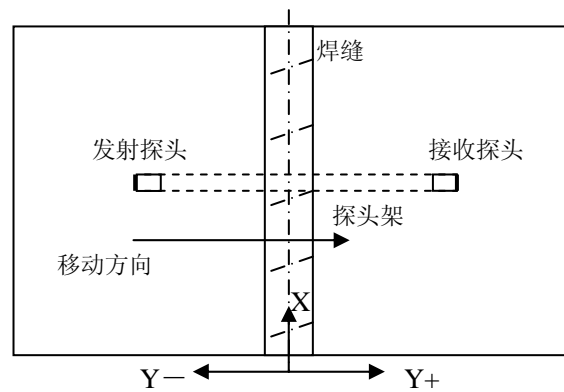


图6 平行扫查

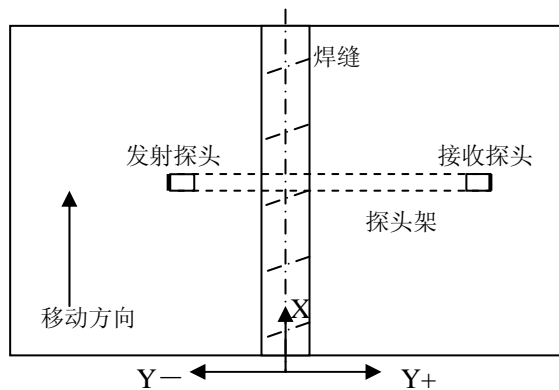


图7 偏置非平行扫查

7.2.1.1 非平行扫查一般作为初始的扫查方式，用于缺陷的快速探测和缺陷长度测定，可大致测定缺陷高度，但无法确定缺陷距焊缝中心线的偏移量，同时难以检测横向缺陷。

7.2.1.2 采用偏置非平行扫查可增大检测范围，提高缺陷高度测量的精度，改进缺陷定位并有助于降低表面盲区高度，但难以检测横向缺陷。

7.2.1.3 对已发现的缺陷进行平行扫查，可改进缺陷定位和缺陷高度测定的准确性，并为缺陷定性提供更多信息。采用平行扫查时，一般应将焊缝余高磨平。

7.2.2 在满足检测目的的前提下，根据需要的不同，也可采用其他合适形式的扫查方式。

7.3 检测程序

TOFD检测的一般程序为：

- a) 原始资料查阅；
- b) 编制检测工艺作业指导书；
- c) 人员、设备、试块准备；
- d) 检测准备；
- e) 检测设置和校准；
- f) 检测；
- g) 数据分析和解释；
- h) 缺陷评定与验收。

8 检测准备

8.1 检测区域

8.1.1 检测区域应在检测前予以确定。

8.1.2 若焊缝实际热影响区经过测量并记录，并且探头的位置可按预先标记得控制时，检测区域宽度为两侧实际热影响区各加上 6mm 的范围。

8.1.3 若未知焊缝实际热影响区，则按下述原则确定检测区域宽度：

- a) 工件厚度 $t \leq 200\text{mm}$ 时，检测区域宽度应是焊缝本身，再加上焊缝熔合线两侧各 25mm 或 t (取较小值) 的范围。
- b) 工件厚度 $t > 200\text{mm}$ 时，检测区域宽度应是焊缝本身，再加上焊缝熔合线两侧各 50mm 的范围。

8.1.4 对已发现缺陷部位进行复检或已确定的重点部位，检测区域可减小至相应部位。

8.1.5 检测前应对根据检测区域和探头设置确定的扫查路径在工件上予以标记，标记内容至少包括扫查起始点和扫查方向，同时应在母材上距焊缝中心线规定的距离处画出一条参考线，以确保探头的运动轨迹。

8.2 扫查面准备

8.2.1 探头移动区应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质。检测表面应平整，便于探头的扫查，其表面粗糙度 R_a 值应不低于 $6.3\mu\text{m}$ ，一般应进行打磨。

8.2.2 要求去除余高的焊缝，应将余高打磨到与邻近母材平齐；保留余高的焊缝，如果焊缝表面有咬边、较大的隆起和凹陷等也应进行适当的修磨，并作圆滑过渡以免影响检测结果的评定。

8.2.3 若需安装导向装置，应保证导向装置与拟扫查路径的对准误差不超过探头中心间距的 10%。

8.3 母材检测

8.3.1 超声波声束通过的母材区域，应按 JB/T4730.3 中 5.1.4.4 中的规定先用直探头进行检测或在 TOFD 检测的过程中进行。

8.3.2 母材中影响检测结果的反射体，应予以记录。

8.4 耦合

8.4.1 应采用有效且适用于工件的媒介作为超声耦合剂。

8.4.2 选用的耦合剂应在一定的温度范围内保证稳定可靠的检测。

8.4.3 实际检测采用的耦合剂应与检测校准时的耦合剂相同。

8.5 温度

8.5.1 应确保在规定的温度范围内进行检测。

8.5.2 若温度过低或过高，应采取有效措施避免，若无法避免，应评价其对检测结果的影响。

8.5.3 检测校准与实际检测间的温差应控制在 20°C 之内。

8.5.4 采用常规探头和耦合剂时，工件的表面温度范围为 $0\sim 50^\circ\text{C}$ 。超出该温度范围，可采用特殊探头或耦合剂，但应在使用温度下的对比试块上进行设置和校准。

9 检测设置和校准

9.1 探头设置

9.1.1 探头设置包括探头型式、参数的选择和探头中心间距的设定，探头设置应确保对检测区域的覆盖和良好的检测效果。

9.1.2 探头型式一般为宽角度纵波斜探头，探头对的标称频率应相同，探头声束与工件底面法线间的夹角不应小于 40° 。

9.1.3 当工件厚度大于 50mm 时，应在厚度方向分成若干区域进行检测。探头设置应确保声束在深度方向覆盖相邻分区在壁厚方向上高度的 25% 时声压幅值下降不超过 12dB。分区检测可以使用多通道检测设备一次完成扫查；也可使用单通道检测设备，采用不同的探头设置进行多次扫查。

9.1.4 与工件厚度有关的检测分区、探头参数选择可参考表 1，建议将探头中心间距设置为使该探头对的声束交点位于其所覆盖区域的 2/3 深度处。

表 1 平板对接接头的探头推荐性选择和设置

工件厚度 (mm)	检测通道数 或扫查次数	深度范围	标称频率 (MHz)	声束角度 α ($^{\circ}$)	晶片直径 (mm)
6~10	1	0~t	15~10	70~60	2~3
10~15	1	0~t	15~7	70~60	2~4
15~35	1	0~t	10~5	70~60	2~6
35~50	1	0~t	5~3	70~60	3~6
50~100	2	0~2t/5	7.5~5	70~60	3~6
		2t/5~t	5~3	60~45	6~12
100~200	3	0~t/5	7.5~5	70~60	3~6
		t/5~3t/5	5~3	60~45	6~12
		3t/5~t	5~2	60~45	6~20
200~300	4	0~40	7.5~5	70~60	3~6
		40~2t/5	5~3	60~45	6~12
		2t/5~3t/4	5~2	60~45	6~20
		3t/4~t	3~1	50~40	10~20
300~400	5	0~40	7.5~5	70~60	3~6
		40~3t/10	5~3	60~45	6~12
		3t/10~t/2	5~2	60~45	6~20
		t/2~3t/4	3~1	50~40	10~20
		3t/4~t	3~1	50~40	12~25

9.1.5 若已知缺陷的大致位置或可能产生缺陷的部位，可选择合适的探头型式（如聚焦探头）或探头参数（如频率、晶片直径），推荐将探头中心间距设置为使探头对的声束交点为缺陷部位或可能产生缺陷的部位，且声束角度 α 为 55~60 $^{\circ}$ 。

9.1.6 探头设置应通过试验优化，在检测设置时可采用对比试块调整，在对工件的扫查中可通过检测效果验证。

9.2 A 扫描时间窗口设置

9.2.1 检测前应对检测通道的 A 扫描时间窗口进行设置。

9.2.2 A 扫描时间窗口至少应包含表一中规定的深度范围，同时应满足如下要求：

- a) 若工件厚度不大于 50mm 时，可采用单检测通道，其时间窗口的起始位置应设置为直通波到达接收探头前 0.5~1 μ s 以上，窗口宽度应设置为包含工件底面的一次波型转换波后 0.5~1 μ s 以上。

- b) 若在厚度方向分区检测时，最上分区的时间窗口的起始位置应设置为直通波到达接收探头前 0.5~1 μ s 以上，最下分区的时间窗口的终止位置应设置为底面反射波到达接收探头后 0.5~1 μ s 以上；各分区的 A 扫描时间窗口在深度方向应至少覆盖相邻检测分区在厚度方向上高度的 25%。可利用检测设备提供的深度参数输入，但应采用对比试块验证时间窗口在厚度方向上的覆盖性。

9.3 深度校准

9.3.1 检测前应测定探头前沿和超声波在探头楔块中传播的时间，校准检测通道的 A 扫描时基与深度的对应关系。

9.3.2 对于直通波和底面反射波同时可见的情况，其时间间隔所反映的厚度应校准为已知的厚度值。图 8 表示利用直通波和底面反射波的时间间隔进行的深度校准，注意 A 扫描信号中直通波和底面反射波测量点处相位应相反。

9.3.3 对于直通波或底面反射波不可见或分区检测时，应采用对比试块进行深度校准。

9.3.4 深度校准应保证深度测量误差不大于工件厚度的 1% 或 0.5mm（取较大值）。

9.3.5 对于曲面工件的纵向焊接接头，应对深度校准进行必要的调节。

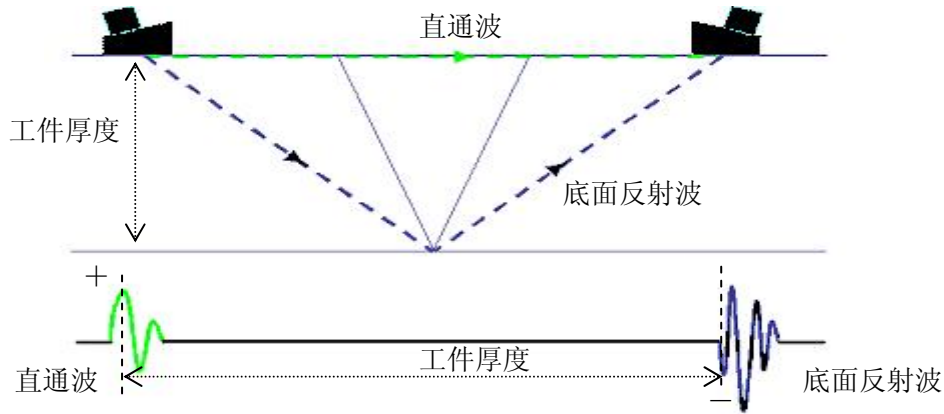


图 8 利用直通波和底面反射波的时间间隔进行深度校准

9.4 灵敏度设置

9.4.1 检测前应设置检测通道的灵敏度。

9.4.2 灵敏度设置一般采用对比试块。当采用对比试块上的反射体设置灵敏度时，需要将较弱的衍射信号波幅设置为满屏高的 40~80%，并在实际工件表面扫查时进行表面耦合补偿。

9.4.3 若工件厚度不大于 50mm 且采用单检测通道时，也可直接在工件上进行灵敏度设置。一般将直通波的波幅设定到满屏高的 40~80%；若采用直通波不适合或直通波不可见，可将底面反射波幅设定为满屏高的 80%，再提高 20~32dB；若直通波和底面反射波均不可用，可将材料的晶粒噪声设定为满屏高的 5%~10% 作为灵敏度。有条件时，建议采用对比试块进行验证。

9.5 位置传感器的校准

9.5.1 检测前应对位置传感器进行校准。

9.5.2 校准方式是使扫查装置移动一定距离时检测设备所显示的位移与实际位移进行比较，其误差应小于 1%。

9.6 扫查增量设置

9.6.1 扫查增量指扫查过程中 A 扫描信号间的空间采样间隔，检测时应根据扫查增量采集信号。

9.6.2 扫查增量设置与工件厚度有关，按如下表 2 的规定进行：

表 2 扫查增量的设置

工件厚度 t (mm)	扫查增量最大值 (mm)
$12 \leq t \leq 150$	1.0
$t > 150$	2.0

9.7 检测系统复核

9.7.1 在如下情况时应进行复核：

- 检测过程中检测设备开停机或更换部件时。
- 检测人员有怀疑时。
- 检测结束时。

9.7.2 若初始检测设置和校准时采用了对比试块，则在复核时应采用同一试块；若为直接在工件上进行的灵敏度设置，则应在工件上的同一部位复核。

9.7.3 若复核时发现初始设置和校准的参数偏离，则按如下表 3 的规定执行：

表 3 偏离和纠正

灵 敏 度		
1	$\leq 6\text{dB}$	不需要采取措施，必要时可通过软件纠正
2	$> 6\text{dB}$	应重新设置，并重新检测上次校准以来所检测的焊缝
深 度		
1	偏离 $\leq 0.5\text{mm}$ 或板厚的 2% (取较大值)	不需要采取措施
2	偏离 $> 0.5\text{mm}$ 或板厚的 2% (取较大值)	应重新设置，并重新检测上次校准以来所检测的焊缝
位 移		
1	$\leq 5\%$	不需要采取措施
2	$> 5\%$	应对上次校准以来所检测的位置进行修正

10 检测

10.1 初始的扫查方式一般采用非平行扫查，探头对称布置于焊缝中心线两侧沿焊缝长度方向运动。对于非平行扫查发现的接近最大允许尺寸的缺陷或需要了解缺陷更多信息时，建议对于缺陷部位改变探头设置进行非平行扫查、偏置非平行扫查、平行扫查或脉冲反射法超声检测。

10.2 若焊缝较宽，建议在焊缝两侧各增加一次偏置非平行扫查；对于筒形工件的纵向焊缝，建议在焊缝中心线两侧各增加一次偏置非平行扫查，偏心距离一般为 $\delta = \frac{RW}{2r}$ (其中 R : 外径, r : 内径, W : 底面焊缝宽度)。

10.3 若焊缝中可能存在横向缺陷时，建议采取措施使超声波声束与焊缝横截面形成一定的倾角进行检测。

10.4 探头的扫查速度不得超过 $v = \frac{PRF}{3} W_c$ (其中 W_c 为探头在检测有效距离处按半波高度法测量的最窄声束宽度, mm; PRF 为探头的有效脉冲重复频率, Hz)。

10.5 扫查时应确保探头的运动轨迹与拟扫查路径间的偏差不超过探头中心间距的 10%。

10.6 若需对焊缝在长度方向进行分段扫查，则各段扫查区的重叠范围至少为 20mm。对于环焊缝，扫查停止位置应越过起始位置至少 20mm。

10.7 扫查过程中应密切注意波幅状况。若发现直通波、底面反射波、材料晶粒噪声或波型转换波的波幅降低 12dB 以上或怀疑耦合不好时，应重新扫查该段区域。若发现直通波满屏或晶粒噪声波幅超过满屏高 20% 时，则应降低增益并重新扫查。

11 检测数据的分析和解释

11.1 检测数据的有效性评价

11.1.1 分析数据之前应对所采集的数据进行评估以确定其有效性，至少应满足如下要求：

- a) 数据丢失量不得超过整个扫查的 5%，且不允许相邻数据连续丢失。
- b) 采集的数据量应满足 10.6 的要求。
- c) 信号波幅改变量应在一定范围之内。
- d) 信号是基于扫查增量的设置而采集的。

11.1.2 若数据无效，应纠正后重新进行扫查。

11.2 相关显示和非相关显示

11.2.1 检测结果的显示分为相关显示和非相关显示。由缺陷引起的显示为相关显示，由于工件结构（例如焊缝余高或根部）或者材料冶金结构的偏差（例如金属母材和覆盖层界面）引起的显示为非相关显示。

11.2.2 对于 TOFD 检测数据应确定是否存在相关显示，对于确认为相关显示的，应进行分类并测定其位置和尺寸。

11.2.3 非相关显示的确认和记录

11.2.4 可按如下步骤确定是否为非相关显示：

- a) 查阅加工和焊接文件资料。
- b) 根据反射体的位置绘制反射体和表面不连续的截面示意图。
- c) 根据检测工艺作业指导书对包含反射体的区域进行评估。
- d) 可辅助使用其他无损检测技术进行确定。

11.2.5 对于非相关显示，应记录其位置。

11.3 相关显示的分类

11.3.1 相关显示分为表面开口型缺陷显示、埋藏型缺陷显示和难以分类的显示。

11.3.2 表面开口型缺陷显示

11.3.2.1 表面开口型缺陷显示可细分为如下三类：

- a) 扫查面开口型：该类型通常显示为直通波的减弱、消失或变形，仅可观察到一个端点（缺陷下端点）产生的衍射信号，且与直通波同相位。
- b) 底面开口型：该类型通常显示为底面反射波的减弱、消失、延迟或变形，仅可观察到一个端点（缺陷上端点）产生的衍射信号，且与直通波反相位。
- c) 穿透型：该类型显示为直通波和底面反射波同时减弱或消失，可沿壁厚方向产生多处衍射信号。

11.3.2.2 数据分析时，应注意与直通波和底面反射波最近的缺陷信号的相位，初步判断缺陷的上、下端点是否隐藏于表面盲区或在工件表面。

11.3.3 埋藏型缺陷显示

11.3.3.1 埋藏型缺陷显示可细分为如下三类：

- a) 点状显示：该类型显示为双曲线弧状，且与拟合弧形光标重合，无可测量长度和高度。
- b) 线状显示：该类型显示为细长状，无可测量高度。
- c) 条状显示：该类型显示为长条状，可见上下两端产生的衍射信号，且靠近底面处端点产生的衍射信号与直通波同相，靠近扫查面处端点产生的信号与直通波反相。

11.3.3.2 埋藏型缺陷显示一般不影响直通波或底面反射波的信号。

11.3.4 难以分类的显示

对于难以按照11.3.2和11.3.3进行分类的显示，应结合其他有效方法综合判断。

11.4 缺陷位置的测定

11.4.1 至少应测定缺陷在 X、Z 轴的位置。

11.4.1.1 X 轴位置的测定

- a) 可根据位置传感器定位系统对缺陷沿 X 轴位置进行测定，由于声束的扩散，TOFD 图像趋向于将缺陷长度放大。
- b) 推荐使用拟合弧形光标法确定缺陷沿 X 轴的端点位置：
 - 1) 对于点状显示，可采用拟合弧形光标与相关显示重合时所代表的 X 轴数值；
 - 2) 对于其他显示，应分别测定其左右端点位置。可采用拟合弧形光标与相关显示端点重合时所代表的 X 轴数值。
- c) 可采用合成孔径聚焦技术 (SAFT)、聚焦探头或其他有效方法改善 X 轴位置的测定。

11.4.1.2 Z 轴位置的测定

- a) 一般根据从 TOFD 图像缺陷显示中提取的 A 扫描信号对缺陷的 Z 轴位置进行测定。
- b) 对于表面开口型缺陷显示，应测定其上或下端点的深度位置。该类型显示，通常其上（或下）端点的衍射波与直通波反相（或同相）。
- c) 对于埋藏型缺陷显示：
 - 1) 若为点状和线状显示，其深度位置即为 Z 轴位置；
 - 2) 对于条状显示，应分别测定其上、下端点的位置。该类型显示，上（或下）端点产生的衍射波与直通波反相（或同相）。测定时，首先应辨别缺陷端点的衍射信号，然后根据相位相反关系确定缺陷另一端点的位置。
- d) 在平行扫查的 TOFD 显示中，缺陷距扫查面最近处的上（或下）端点所反映的位置为缺陷在 Z 轴的精确位置。

11.4.2 缺陷在 Y 轴的位置

在平行扫查和偏置非平行扫查的 TOFD 检测显示中，缺陷端点距扫查面最近处所反映的位置为缺陷在 Y 轴的位置，也可采用脉冲反射法或其他有效方法进行测定。

11.5 缺陷尺寸测定

11.5.1 缺陷的尺寸由其长度和高度表征。

11.5.2 缺陷长度

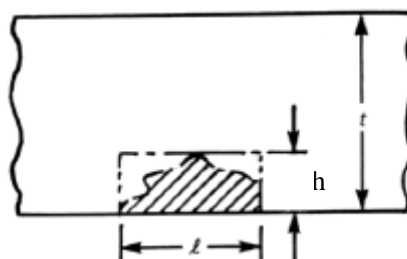
缺陷的长度 (l) 是指缺陷在 X 轴的投影间的距离，见图 9、图 10 中 l ，可根据 11.4.1.1 缺陷在 X 轴位置而得。

11.5.3 缺陷高度

11.5.3.1 缺陷高度是指缺陷沿 X 轴方向上、下端点在 Z 轴投影间的最大距离。

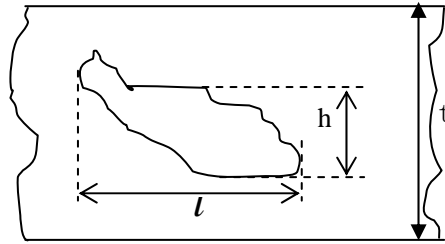
11.5.3.2 对于表面开口型缺陷显示：缺陷高度为表面与缺陷上（或下）端点间最大距离，见图 9 中 h ；若为穿透型，缺陷高度为工件厚度。

11.5.3.3 对于埋藏型条状缺陷显示，缺陷高度见图 10 中 h 。



h: 表面缺陷高度, l : 表面缺陷长度, t : 工件厚度

图 9 表面开口型缺陷尺寸



h: 埋藏缺陷高度, l : 埋藏缺陷长度, t : 工件厚度

图 10 埋藏型缺陷尺寸

12 其他补充检测

对于底面所发现的表面可疑部位以及扫查面应按照 JB/T4730.4~6 标准进行磁粉、渗透或涡流检测; 对于发现的内部可疑部位可按照 JB/T4730.3 进行超声检测或其他方法复查。

13 缺陷评定与质量分级

13.1 不允许危害性表面开口缺陷的存在。

13.2 当缺陷距工件表面的最小距离小于自身高度的40%时, 为近表面缺陷。

13.3 如检测人员可判断埋藏缺陷类型为裂纹、未熔合等危害性缺陷时, 评为 III 级。

13.4 相邻两缺陷显示(非点状), 其在 X 轴方向间距小于其中较大的缺陷长度且在 Z 轴方向间距小于其中较大的缺陷高度时, 应作为一条缺陷处理, 以两缺陷长度之和作为其单个缺陷长度, 高度之和作为其单个缺陷高度(间距计入缺陷尺寸)。若其中一个为点状显示, 则间距不计入缺陷尺寸。

13.5 点状显示的质量分级:

13.5.1 点状显示用评定区进行质量分级评定, 评定区为一个与焊缝平行的矩形截面, 其沿 X 轴方向的长度为 150mm, 沿 Z 轴方向的高度为工件厚度。

13.5.2 在评定区内或与评定区边界线相切的缺陷均应划入评定区内, 按表 4 的规定评定焊接接头的质量级别:

表 4 各等级允许的点数

等级	工件厚度 t , mm	点数
I	12~400	$t \times 0.8$, 最大为 200
II	12~400	$t \times 1.2$, 最大为 300
III	12~400	超过 II 级者

注 1: 母材壁厚不同时, 取薄侧厚度值。

13.6 对于其他类型缺陷显示, 按如下表 5 的规定进行质量分级:

表 5 焊接接头质量分级

等级	工件厚度 (mm)	单个缺陷		多个缺陷
		表面开口缺陷、近表面缺陷	埋藏缺陷	

		长度 l_{\max}	高度 h_3	若 $l > l_{\max}$, 缺陷高度 h_1	长度 l_{\max}	高度 h_2	若 $l > l_{\max}$, 缺陷高度 h_1	
I	$12 \leq t \leq 15$	$\leq t$	≤ 1	/	$\leq t$	≤ 2	/	1、若多个缺陷其各自高度 h 均为： $h_1 < h \leq h_2$ 或 h_3 ，则在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $3t$ 且最大值为 150mm ； 2、对于单个或多个表面开口缺陷或近表面缺陷，其最大累计长度不得大于整条焊缝长度的 10% 且最长不得超过 400mm 。
	$15 < t \leq 40$	$\leq t$	≤ 1	/	$\leq t$	≤ 3	/	
	$40 < t \leq 60$	≤ 40	≤ 2	≤ 1	≤ 40	≤ 4	≤ 1	
	$60 < t \leq 100$	≤ 50	≤ 2	≤ 1	≤ 50	≤ 4	≤ 1	
	$t > 100$	≤ 60	≤ 3	≤ 2	≤ 60	≤ 5	≤ 2	
II	$12 \leq t \leq 15$	$\leq t$	≤ 2	≤ 1	$\leq t$	≤ 3	≤ 1	1、若多个缺陷其各自高度 h 均为： $h_1 < h \leq h_2$ 或 h_3 ，则在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $4t$ 且最大值为 200mm ； 2、对于单个或多个表面开口缺陷或近表面缺陷，其最大累计长度不得大于整条焊缝长度的 10% 且最长不得超过 500mm 。
	$15 < t \leq 40$	$\leq t$	≤ 2	≤ 1	$\leq t$	≤ 4	≤ 1	
	$40 < t \leq 60$	≤ 40	≤ 3	≤ 2	≤ 40	≤ 5	≤ 2	
	$60 < t \leq 100$	≤ 50	≤ 3	≤ 2	≤ 50	≤ 5	≤ 2	
	$t > 100$	≤ 60	≤ 4	≤ 3	≤ 60	≤ 6	≤ 3	
III	$12 \sim 400$	超过 II 级者 危害性表面开口缺陷，裂纹、未熔合等危害性埋藏缺陷						
注 1：母材壁厚不同时，取薄侧厚度值。								

13.7 当各类缺陷评定的质量级别不同时，以质量级别最低的作为焊接接头的质量级别。

13.8 对于所发现的缺陷或采用特殊材料制造的压力容器，在征得用户同意的前提下，也可按 GB/T 19624—2004《在用含缺陷压力容器安全评定》规定的断裂力学方法进行评价，评价报告和结论须经单位技术负责人批准。

14 检测报告

检测报告至少应包括如下内容：

- a) 委托单位；
- b) 检测标准；
- c) 被检工件：名称、编号、规格、材质、坡口型式、焊接方法和热处理状况；
- d) 检测设备：仪器名称及编号、探头规格型号及编号、扫查装置、试块、耦合剂；
- e) 检测方法：检测工艺编号、探头布置图、检测设置和校准的数值、温度、信号处理方法；
- f) 检测示意图：检测部位、检测区域；缺陷位置和分布应在检测示意图上予以标明；
- g) 检测数据（包括 TOFD 图像和相关显示的位置、尺寸、射频波 A 扫描显示）；
- h) 检测结果；
- i) 检测人员和责任人员签字及其技术资格；
- j) 检测日期。

检测报告格式可参照附录 C（资料性附录）的规定。