



中华人民共和国电力行业标准

DL/T 330—2021
代替 DL/T 330—2010

水电水利工程金属结构及设备焊接接头 衍射时差法超声检测

Ultrasonic time of flight diffraction technique in welded joints
of hydroelectric or hydraulic engineering steel structure and equipment

2021-12-22 发布

2022-03-22 实施

国家能源局 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 一般规定	6
4.1 安全及工作环境	6
4.2 人员	6
4.3 材料	6
4.4 检测工艺	6
5 检测系统	7
5.1 检测设备	7
5.2 探头	7
5.3 扫查装置	7
5.4 数据采集、记录和显示系统	7
6 试块	7
6.1 标准试块	7
6.2 对比试块	8
6.3 扫查面盲区高度测定试块	8
6.4 声束扩散角测定试块	8
6.5 模拟试块	8
7 耦合剂	9
8 检测技术等级	9
8.1 检测技术等级分级	9
8.2 检测技术等级使用范围	9
9 检测准备	9
9.1 检测区域	9
9.2 扫查面	10
9.3 厚度方向分区	10
9.4 探头选择	11
9.5 PCS 值设置	11
9.6 扫查方式选择	11
9.7 扫查面盲区、底面盲区	12
9.8 扫查步进设置	12
9.9 信号平均化处理、脉冲重复频率、数据采集频率的设置	12
9.10 标识	12
9.11 温度	12
10 检测系统设置和校准	13
10.1 A 扫描时间窗口设置	13

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。

本文件代替 DL/T 330—2010《水电水利工程金属结构及设备焊接接头衍射时差法超声检测》，与 DL/T 330—2010 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了适用厚度范围（见第1章）；
- b) 增加了焊接缺欠、扫查面、底面的定义（见3.1、3.3和3.4）；
- c) 更改了缺欠高度的定义（见3.12，2010年版的3.9）；
- d) 增加了对安全及工作环境的具体要求（见4.1）；
- e) 更改了 TOFD 检测对比试块，增加了盲区高度测定试块、声束扩散角测定试块和模拟试块（见6.2、6.3、6.4和6.5，2010年版的6.2）；
- f) 更改了 TOFD 检测技术等级的分级及应用范围（见第8章，2010年版的第7章）；
- g) 更改了检测区域的规定（见9.1，2010年版的8.1）；
- h) 更改了厚度方向分区深度范围及检测参数的设置（见9.3，2010年版的8.3）；
- i) 更改了扫查方式选择的规定（见9.6，2010年版的8.6）；
- j) 更改了扫查速度要求，增加了最大扫查速度计算公式（见11.2，2010年版的10.2）；
- k) 更改了点状缺欠评定要求（见14.2，2010年版的13.2）；
- l) 增加了焊接接头返修部位质量评定的内容（见14.4）；
- m) 更改了附录A水电水利工程常用金属材料分类（见附录A，2010年版的附录A）；
- n) 增加了附录B操作指导书推荐格式（见附录B）；
- o) 更改了底面盲区计算公式（见附录D，2010年版的附录C）；
- p) 增加了参考文献。

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。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由电力行业电站焊接标准化技术委员会（DL/TC 18）归口。

本文件起草单位：国电大渡河流域水电开发有限公司、郑州国电机械设计研究所有限公司、华电郑州机械设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：王安、杨兴斌、黄志强、李林、曹麦对、郑建民、任亚非、黄发涛、高景荣、刘雪芳、王富林、裴延东、孙文琦、刘玉良、于淑敏、崔志强。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2010年首次发布为 DL/T 330—2010；
- 本次为第一次修订。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

水电水利工程金属结构及设备焊接接头 衍射时差法超声检测

1 范围

本文件规定了水电水利工程金属结构及设备焊接接头衍射时差法超声检测的方法及缺欠评定要求。

本文件适用于母材厚度为 8 mm~400 mm 的工程结构用非合金钢、低合金钢及合金钢对接焊接接头的衍射时差法超声检测。其他细晶各向同性和低声衰减金属材料的检测可参照执行。

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 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定

JB/T 8428 无损检测 超声试块通用规范

JB/T 9214 无损检测 A 型脉冲反射式超声检测系统工作性能测试方法

JB/T 10061 A 型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件

NB/T 47013.10 承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

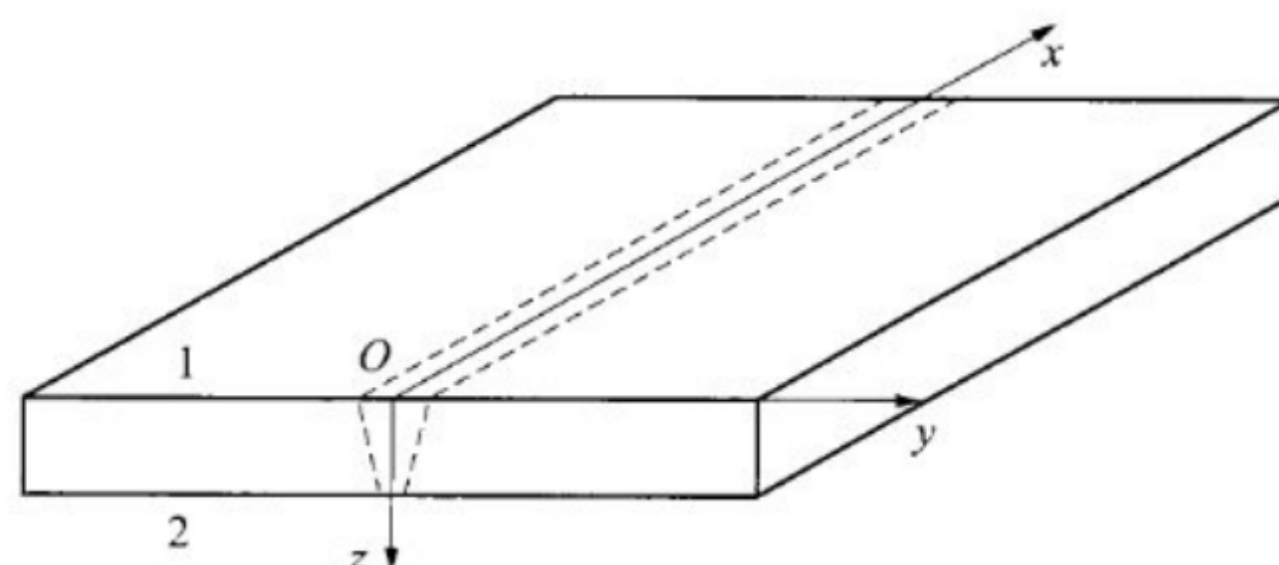
焊接缺欠 welding imperfection

在焊接接头中因焊接产生的金属不连续、不致密或连接不良的现象，以下简称“缺欠”。

3.2

坐标定义 coordinate definition

规定检测起始参考点 O 点以及 x 、 y 和 z 坐标的含义，见图 1。



标引序号说明：

1 —— 扫查面；

2 —— 底面。

说明：

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。

图 1 坐标定义

3.3

扫查面 **scanning surface**

放置探头并进行扫查的工件表面。

3.4

底面 **back wall**

与扫查面相对的工件另一侧表面。

3.5

衍射时差法超声检测 **time of flight diffraction technique; TOFD**

利用缺欠端点的衍射波信号发现缺欠和测定缺欠尺寸的一种超声检测方法，一般使用纵波斜探头，采用一发一收模式，见图 2。

3.6

直通波 **lateral wave**

从发射探头沿被检工件以最短路径到达接收探头的超声波，见图 2。

3.7

底面反射波 **back wall echo**

从发射探头经底面反射到接收探头的超声波，见图 2。

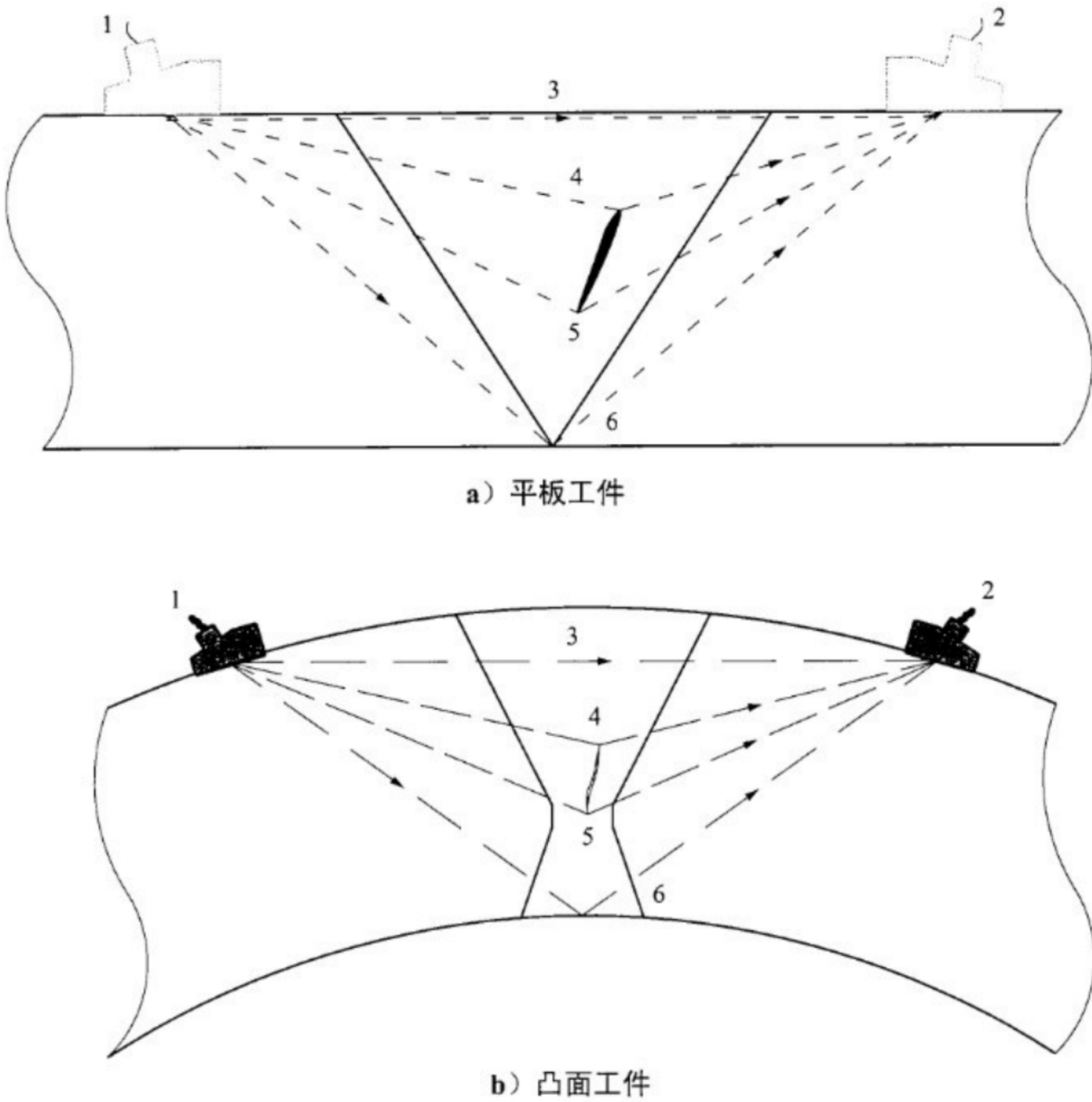
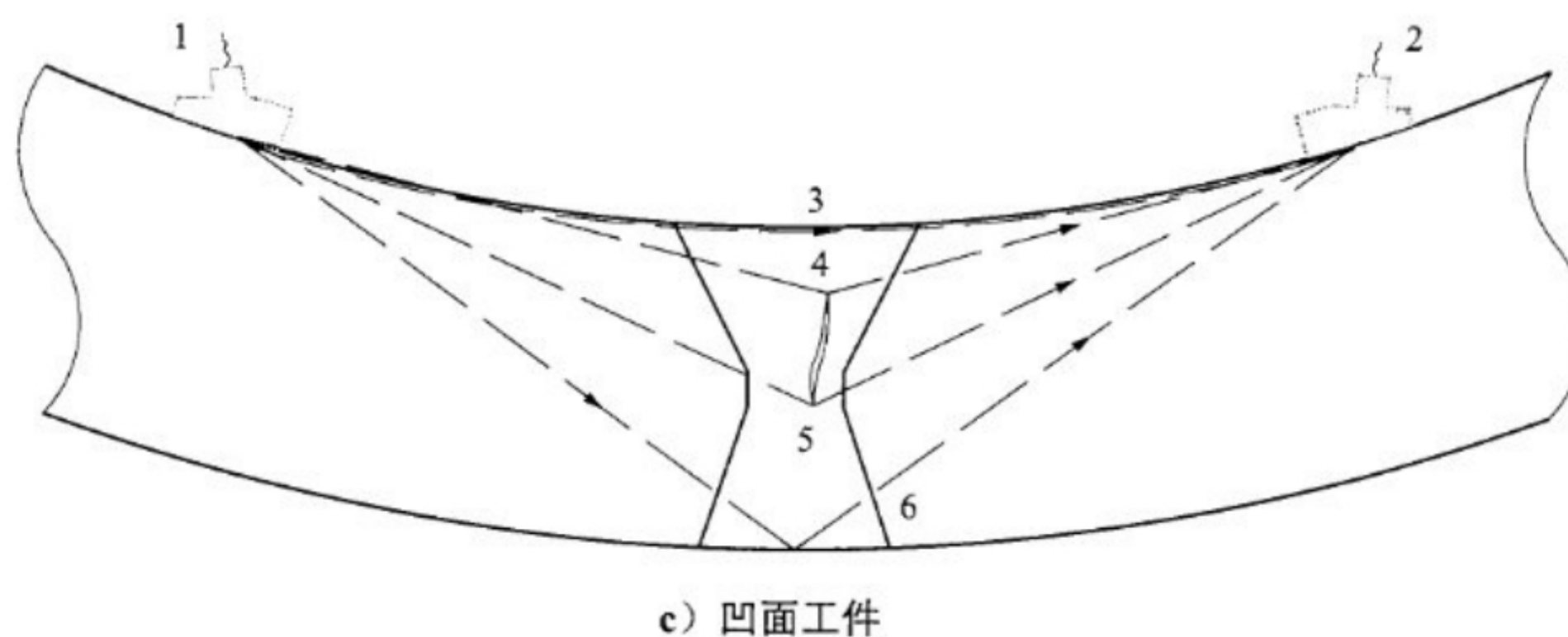


图 2 衍射时差法超声检测示意图



标引序号说明:

- 1 —— 发射探头;
- 2 —— 接收探头;
- 3 —— 直通波;
- 4 —— 上端点衍射波;
- 5 —— 下端点衍射波;
- 6 —— 底面反射波。

图2 衍射时差法超声检测示意图 (续)

3.8

探头中心间距 **probe center separation; PCS**

发射探头和接收探头入射点之间的直线距离, 见图3。

3.9

缺欠上端点 **upper tip of imperfection**

同一缺欠距扫查面最近的缺欠端点, 见图3。

3.10

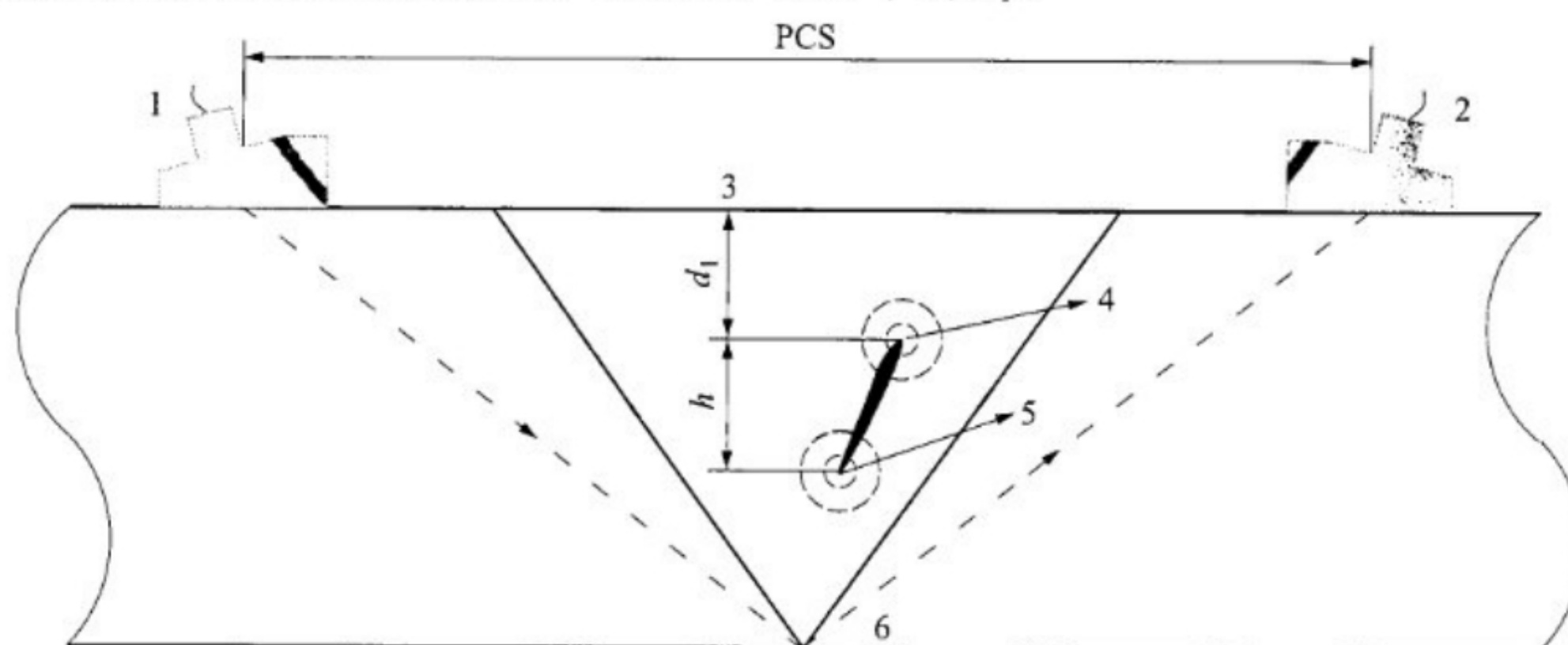
缺欠下端点 **lower tip of imperfection**

同一缺欠距扫查面最远的缺欠端点, 见图3。

3.11

缺欠深度 **imperfection depth**

缺欠上端点与扫查面间的最短距离, 见图3、图4中的 d_1 。



标引序号说明:

- 1 —— 发射探头;
- 2 —— 接收探头;
- 3 —— 扫查面;
- 4 —— 上端点;
- 5 —— 下端点;
- 6 —— 底面。

图3 缺欠的上端点、下端点、深度、高度和探头中心间距示意图

3.12

缺欠高度 **imperfection height**

沿 x 轴方向的某位置，缺欠在 z 轴投影间的距离最大值，见图 4 中的 h 。

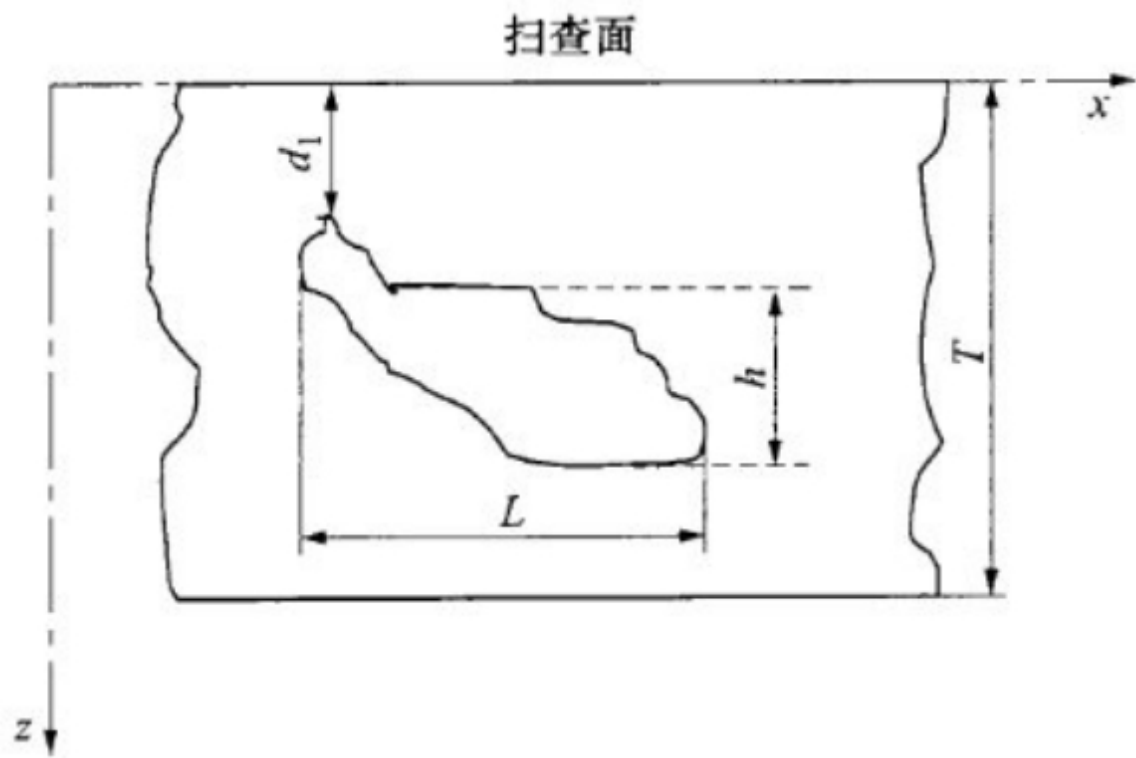


图 4 缺欠长度 L 、深度 d_1 和高度 h

3.13

缺欠长度 **imperfection length**

缺欠在 x 轴投影间的距离，见图 4 中的 L 。

3.14

A 扫描显示 **A-scan display**

超声波信号的射频波形显示图，一个轴代表波幅，另一个轴代表声波的传播时间。

3.15

TOFD 图像 **TOFD image**

TOFD 数据的二维显示，是将扫描过程中采集的 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。

3.16

非平行扫描 **non-parallel scan**

探头运动方向与声束方向成直角的扫描方式，也叫 D 扫描，见图 5 a)。

3.17

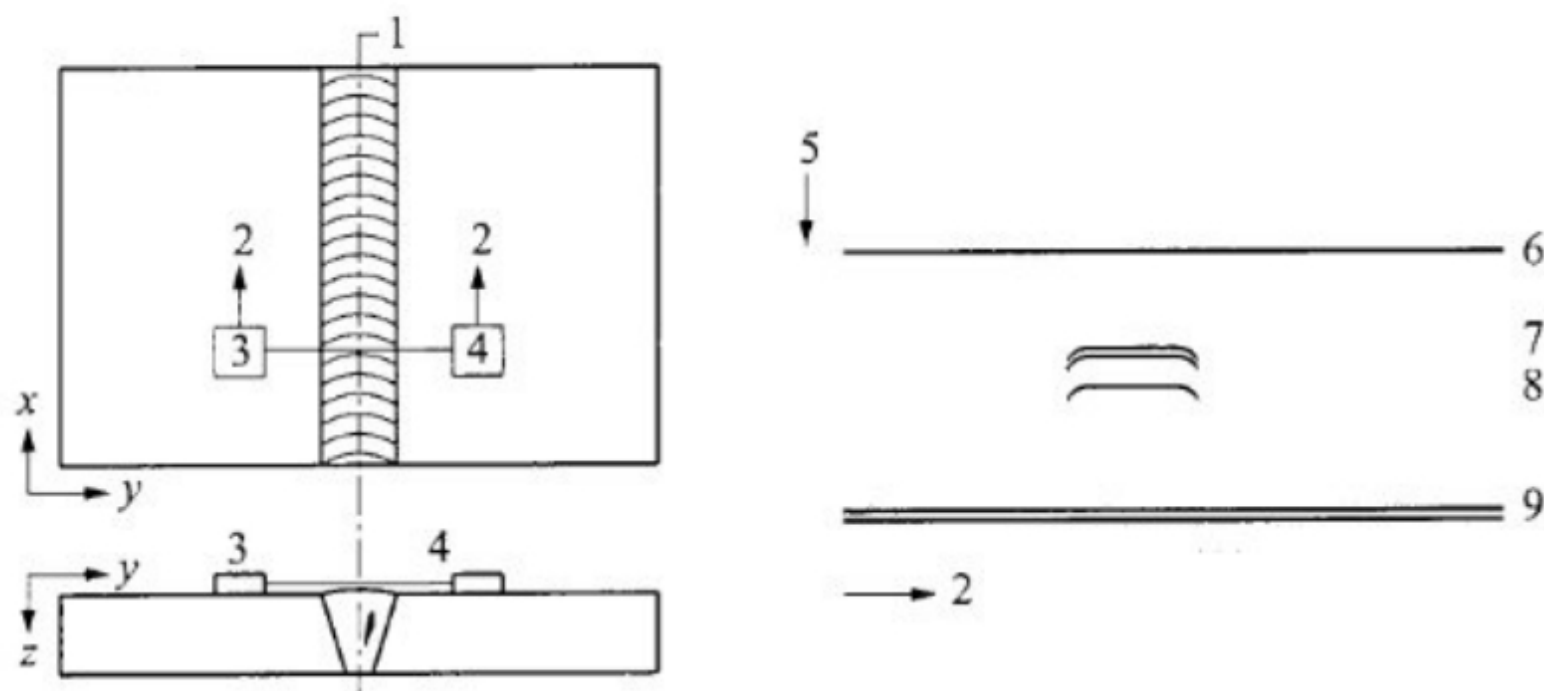
平行扫描 **parallel scan**

探头运动方向与声束方向平行的扫描方式，也叫 B 扫描，见图 5 b)。

3.18

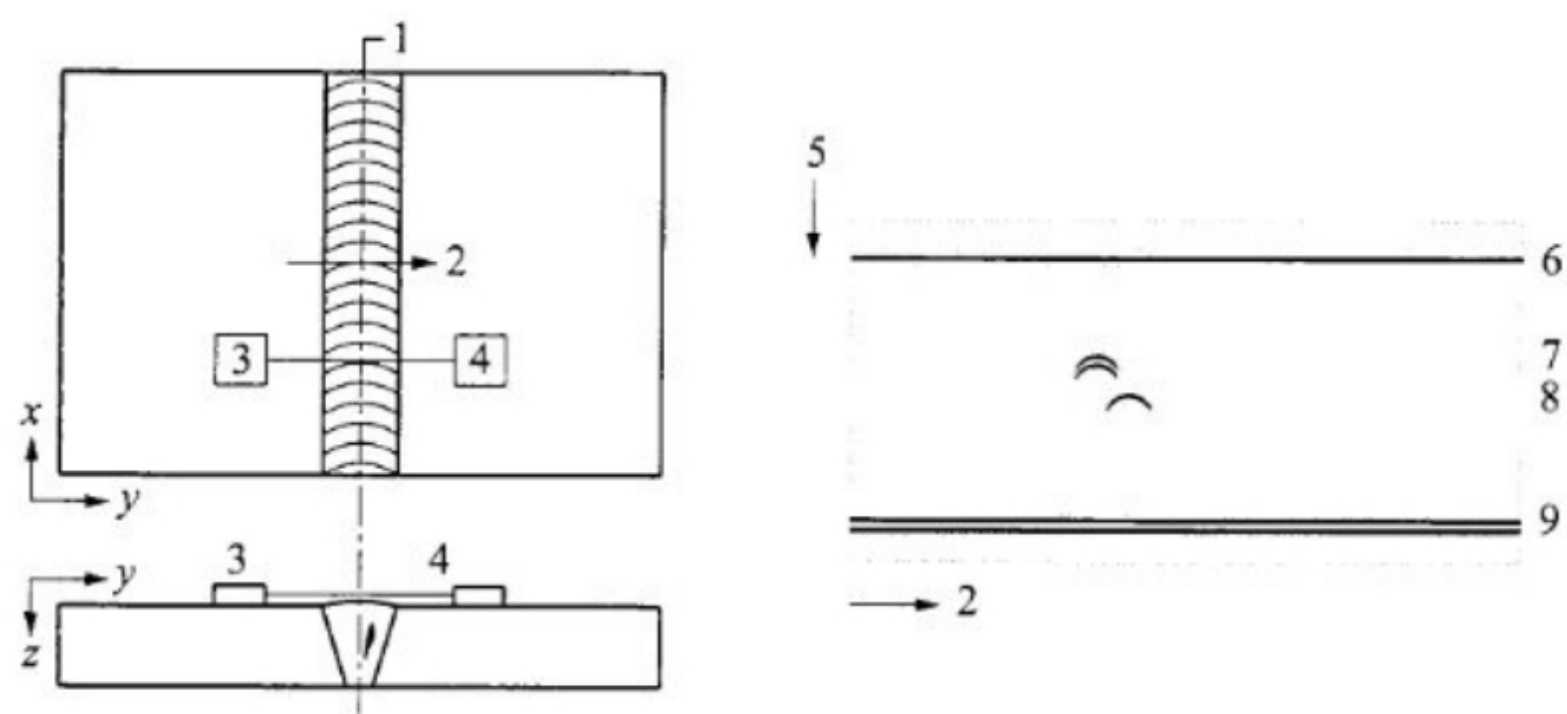
偏置非平行扫描 **offset non-parallel scan**

探头组主声束的交点偏离焊缝中心线的非平行扫描，见图 5 c)。

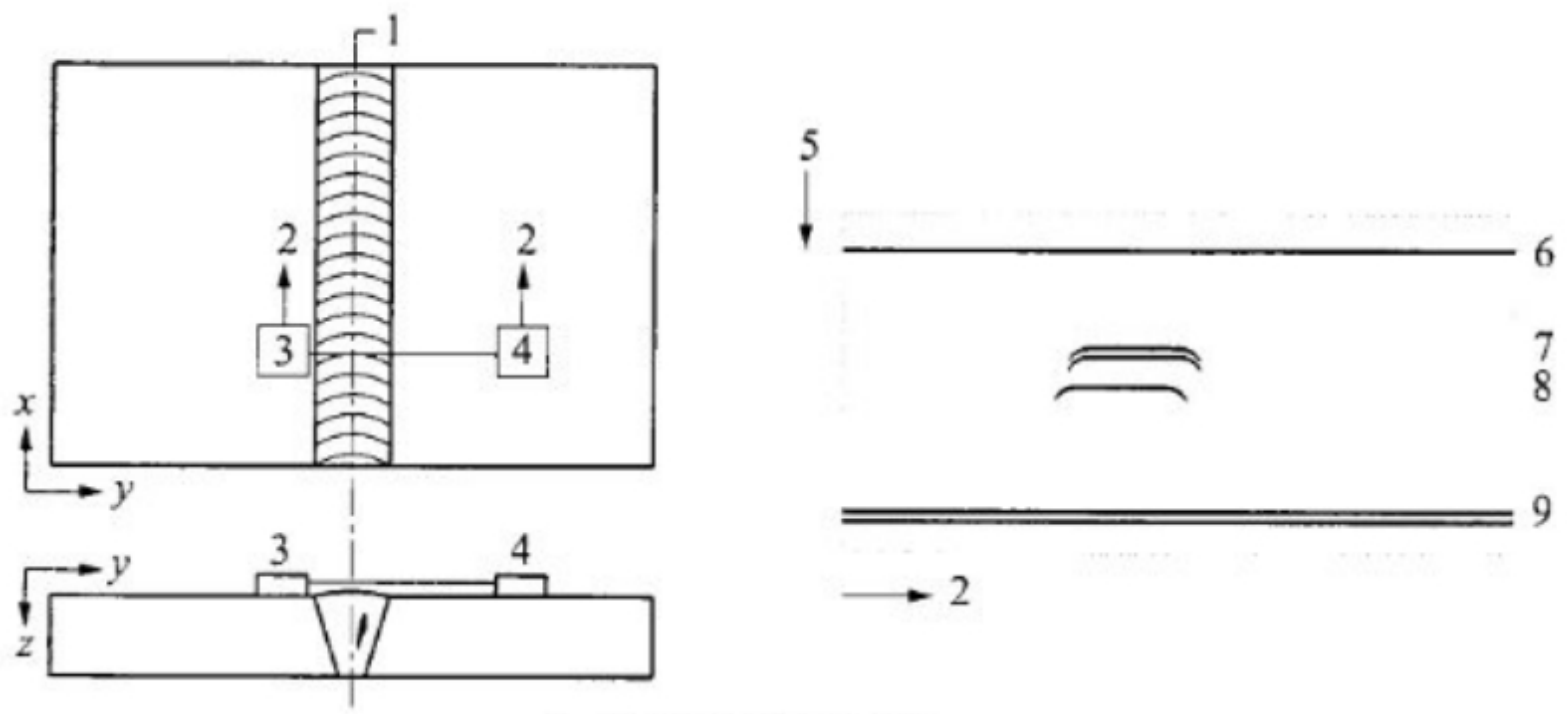


a) 非平行扫描和TOFD检测图像

图 5 非平行扫描、平行扫描和偏置非平行扫描 TOFD 检测图像



b) 平行扫查和TOFD检测图像



c) 偏置非平行扫查

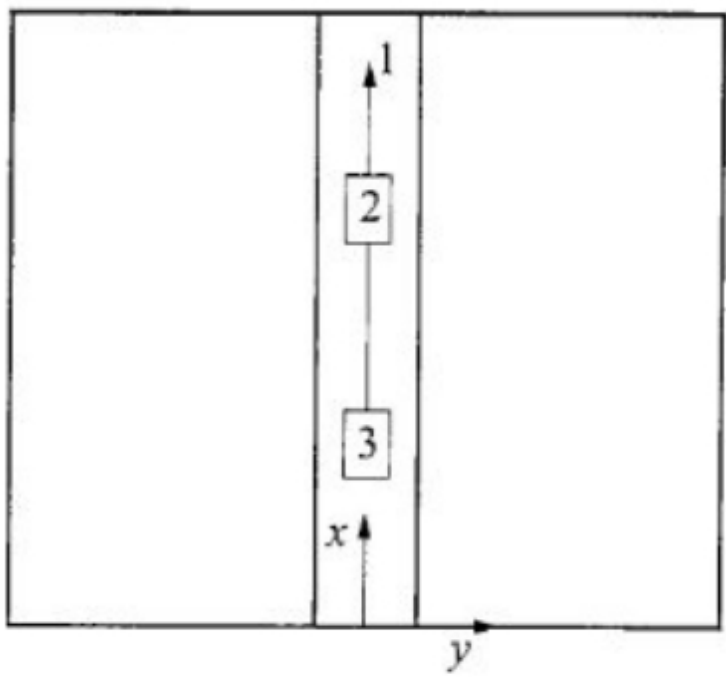
- 标引序号说明：
- 1 —— 参考线；
 - 2 —— 探头移动的方向；
 - 3 —— 发射探头；
 - 4 —— 接收探头；
 - 5 —— 通过厚度范围内的传送时间；
 - 6 —— 直通波；
 - 7 —— 缺欠的上端点；
 - 8 —— 缺欠的下端点；
 - 9 —— 底面反射波。

图 5 非平行扫查、平行扫查和偏置非平行扫查 TOFD 检测图像（续）

3.19

纵向平行扫查 longitudinal parallel scan

探头组沿着焊缝方向移动的平行扫查，见图 6。



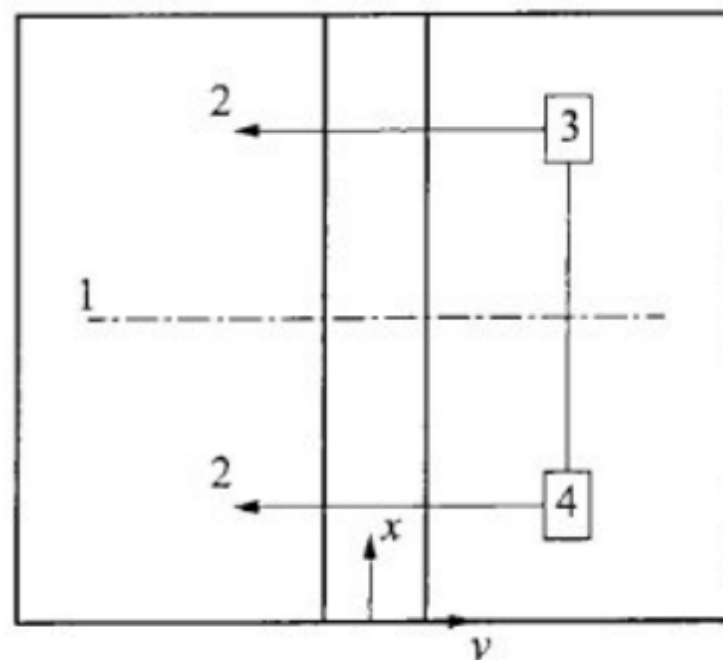
- 标引序号说明：
- 1 —— 探头移动的方向；
 - 2 —— 发射探头；
 - 3 —— 接收探头。

图 6 纵向平行扫查

3.20

横向非平行扫查 transverse non-parallel scan

探头组垂直于焊缝方向移动的非平行扫查，见图 7。



标引序号说明：

- 1 ——参考线；
- 2 ——探头移动的方向；
- 3 ——发射探头；
- 4 ——接收探头。

图 7 横向非平行扫查

4 一般规定

4.1 安全及工作环境

4.1.1 检测人员应在具备安全作业的条件下进行检测；在高空进行操作时，应考虑人员、检测设备器材坠落等因素，并采取必要的保护措施。

4.1.2 环境温度、湿度应满足检测系统的使用要求。

4.1.3 检测场所和环境除应符合国家和地方有关环境卫生和劳动保护的法规外，应避免对人体有较大影响或可能干扰正常操作、观察和判断的场所和环境。

4.1.4 若检测场所和环境对检测质量有影响，应采取有效的控制措施，同时监测和记录环境条件；当环境条件危及检测结果时，应停止检测。

4.2 人员

按照本文件进行 TOFD 检测的人员，应取得电力行业或中国机械工程学会无损检测学会等 TOFD 检测 2 级及以上证书。

4.3 材料

本文件 TOFD 检测适用的材料范围参见附录 A，其他金属材料的检测在充分考虑材料的几何特性、声学特性及对检测灵敏度影响的前提下可参照执行。

4.4 检测工艺

检测前应针对被检工件的材质、规格、坡口形式、结构特点、施工环境及本文件的有关要求编制检测工艺规程或操作指导书。操作指导书推荐格式见附录 B。

5 检测系统

5.1 检测设备

5.1.1 TOFD 检测设备应具有线性 A 扫描显示、超声波发射与接收、数据自动采集和记录、显示及信号分析等功能。

5.1.2 检测设备性能应满足以下要求：

- a) A 扫描水平线性误差不大于 1%，垂直线性误差不大于 5%；
- b) 脉冲接收器带宽不应小于探头公称的频率带宽；
- c) 增益应在 80 dB 以上，其步进级不大于 1 dB，且连续可调；
- d) 数字采样率至少为 4 倍探头公称频率，若需对原始数据进行数字信号处理，采样率应增加到探头公称频率的 8 倍。

5.1.3 设备其余性能应符合 JB/T 10061 的规定。

5.2 探头

5.2.1 TOFD 检测应选用宽频带窄脉冲斜入射纵波探头，探头的公称频率一般为 1 MHz～15 MHz。

5.2.2 探头可选用单晶片或相控阵探头、非聚焦或聚焦探头。

5.2.3 单个探头实测中心频率与公称频率偏差不大于 10%；一个探头组中的两个探头应具有相同的尺寸和公称频率，两个探头中心频率差值应在公称频率的±10%以内。

5.2.4 在直通波波幅达到峰值时，直通波波幅在 10%以上的周期数不应超过 2 个。

5.2.5 连续发射脉冲的声信号间无干扰产生。

5.3 扫查装置

5.3.1 扫查装置一般包括探头夹持部分、驱动部分、导向部分和编码器。

5.3.2 探头夹持部分应能调整和设置探头中心间距，在扫查时保持探头相对位置不变。

5.3.3 编码器应能适应工作环境的要求，保证在检测时能连续正常工作，扫查时能与数据采集同步。

5.3.4 扫查装置可采用电动或手动移动，能实施平行扫查和非平行扫查。

5.3.5 导向部分应能使探头运动轨迹与拟扫查线保持一致。

5.4 数据采集、记录和显示系统

5.4.1 应采用自动数据采集装置采集检测数据，原始数据应自动记录且不可更改。

5.4.2 能同时显示 A 扫描信号和 B 扫描（或 D 扫描）显示图像。

5.4.3 能显示检测设置的主要参数，能实现深度校准、直通波差分、对图像局部缩放、缺欠在高度和长度方向上起止点的测量，以及数据和图像的输出等功能。

5.4.4 用于测量的指针应有拟合功能。

5.4.5 应具有检测数据的存取功能。

6 试块

6.1 标准试块

标准试块采用 JB/T 8428 中的 CSK-I A 或 CSK-ZB 试块，以及 JB/T 9214 中的 DB-P-Z20-2 试块。标准试块用于仪器、探头、系统性能的校准和检测校准。

6.2 对比试块

6.2.1 对比试块用于扫查灵敏度设定、缺欠深度值测量校验及探头、仪器参数的校验与设置。

6.2.2 对比试块应采用与被检测工件声学性能相同或相近的材料制备，材质应均匀。采用直探头检测时，不得有大于或等于 $\phi 2$ mm平底孔当量的缺欠。TOFD 扫查应无明显冶金问题引起的非相关性显示。

6.2.3 对比试块的尺寸应满足探头组扫查及数据采集的需要，具体要求如下：

- a) 扫查面的长度不应小于 1.5 倍 PCS 值；
- b) 扫查面的宽度应保证沿横孔长轴方向扫查时，图像有效长度不小于 20 mm；
- c) 对比试块的厚度应为被检工件厚度的 0.9 倍~1.3 倍，且两者厚度最大差值不大于 25 mm。

6.2.4 对比试块的尺寸和横孔直径同 NB/T 47013.10 中对比试块 TOFD-A~TOFD-E 的要求。

6.2.5 检测需要时，也可使用其他形式的参考试块，见附录 C。

6.3 扫查面盲区高度测定试块

6.3.1 扫查面盲区高度测定试块用于测定初始扫查面盲区高度，见图 8；也可采用其他盲区试块。

6.3.2 试块材质要求同 6.2.2，厚度 $T \geq 20$ mm，矩形槽宽度为 2 mm，矩形槽的长度不小于 100 mm，矩形槽距离钢板上表面最小高度为 0 mm，最大高度 Y 不小于 10 mm，且该矩形槽与钢板上表面成一定夹角 α （推荐 $\alpha = 2^\circ \sim 8^\circ$ ）。

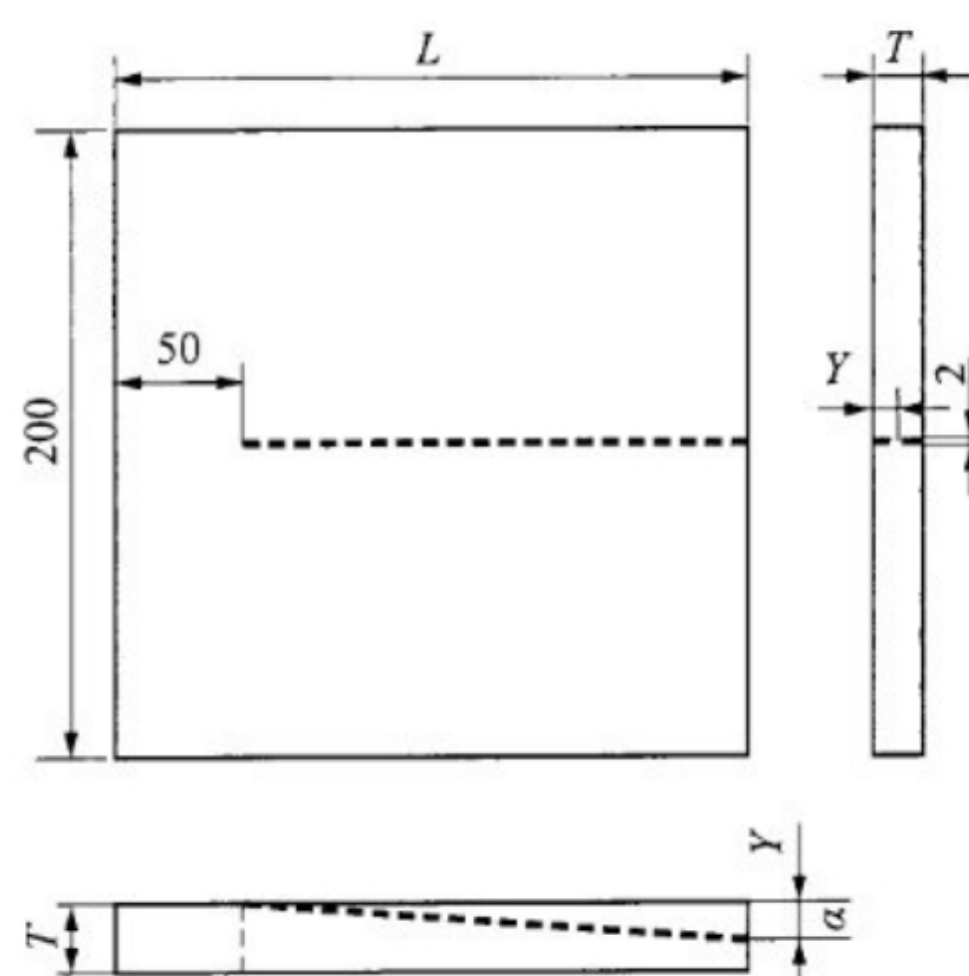


图 8 扫查面盲区高度测定试块示意图

6.4 声束扩散角测定试块

6.4.1 声束扩散角测定试块用于测定检测仪器和探头组合的实际-12 dB 声束扩散角。

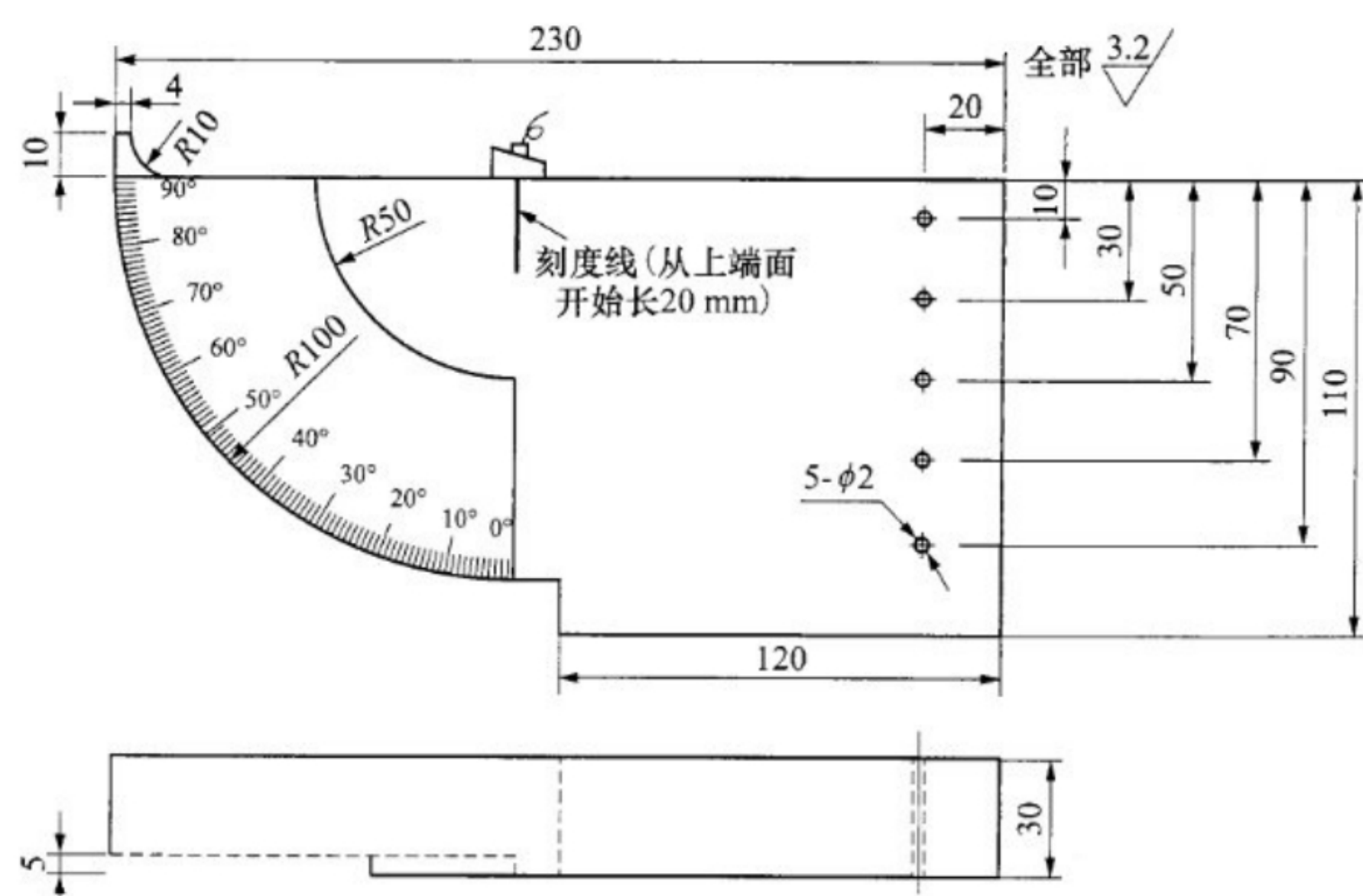
6.4.2 本文件采用 NB/T 47013.10 中的声束扩散角测定试块，见图 9。

6.5 模拟试块

6.5.1 模拟试块是指含有模拟缺欠的试块，用于特殊工艺检测时的检测工艺验证。

6.5.2 模拟试块的材质和外形尺寸应能代表被检工件的特征且满足扫查装置的扫查要求，厚度应为被检工件厚度的 0.9 倍~1.3 倍且两者间最大差值不大于 25 mm。

6.5.3 模拟试块中的焊接缺欠应采用与被检工件相近的焊接工艺制备或使用以往检测中发现的真实缺欠，缺欠的位置和类型应涵盖常见焊接缺欠的类型。



注：尺寸偏差不超过 ± 0.05 mm，角度偏差不超过 $\pm 0.5^\circ$ 。

图9 声束扩散角测定试块

7 耦合剂

- 7.1 应采用适合被检材料的耦合剂。通常使用水、耦合凝胶或软膏、润滑脂和油。
- 7.2 为了改善超声耦合效果和保护被检工件，可采用环保润湿剂和防腐剂等添加剂。
- 7.3 被检工件温度低于 0°C ，应采用防冻耦合剂；被检工件温度高于 50°C ，应采用特殊的高温耦合剂。
- 7.4 选用的耦合剂应在一定的温度范围内保证能进行稳定可靠的检测。
- 7.5 仪器校准与检测时应使用相同的耦合剂。

8 检测技术等级

8.1 检测技术等级分级

- 8.1.1 检测等级按照质量要求分为 A、B 两级。
- 8.1.2 A 级检测应进行单面扫查，必要时进行双面扫查。
- 8.1.3 B 级检测应进行双面扫查。
- 8.1.4 特殊条件下无法实施双面扫查时，应注明原因并进行工艺验证。

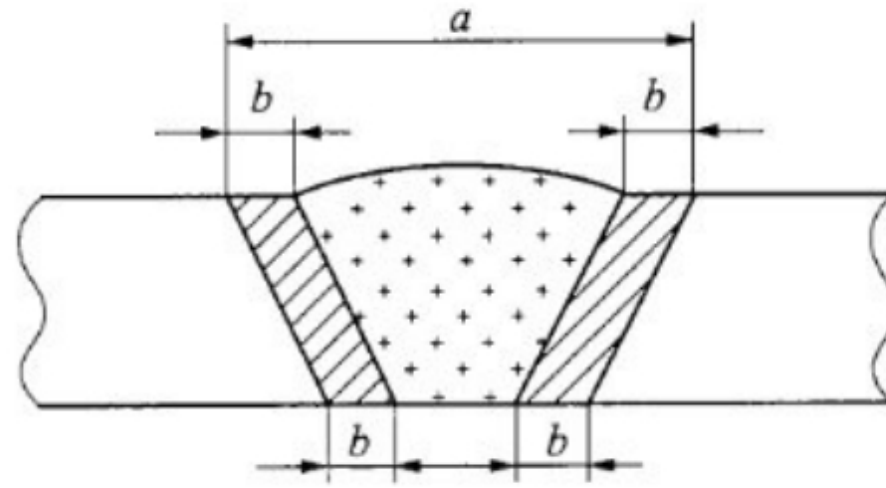
8.2 检测技术等级使用范围

- 8.2.1 A 级检测适用于母材厚度小于 50 mm 的一类焊缝和母材厚度小于 60 mm 的二类焊缝。
- 8.2.2 B 级检测适用于母材厚度不小于 50 mm 的一类焊缝及母材厚度不小于 60 mm 的二类焊缝。
- 8.2.3 根据工件的材质、结构、使用条件及承受载荷的特殊要求，可选择更为完善的检测工艺。

9 检测准备

9.1 检测区域

检测区域应包括焊缝及焊接热影响区，见图 10。热影响区宽度应是焊缝两侧各相当于母材厚度 30% 的一段区域，该区域最小为 5 mm，最大为 10 mm。



说明:

- a ——检测区域宽度;
 b ——需要检测的热影响区宽度。

图 10 检测区域示意图

9.2 扫查面

- 9.2.1 探头、编码器等移动区应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他影响检测的因素。
- 9.2.2 检测表面应平整，便于探头、编码器等移动，表面粗糙度应满足检测要求。
- 9.2.3 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，应进行适当的修磨，并做圆滑过渡。消除扫查面影响信号采集的因素。
- 9.2.4 平行扫查时应将焊缝余高磨平。

9.3 厚度方向分区

- 9.3.1 当被检工件厚度小于 50 mm 时，可不进行分区。
- 9.3.2 当被检工件厚度大于等于 50 mm 时，应在厚度方向分成若干区域采用不同的探头组进行检测，当厚度方向可以满足覆盖要求的情况下可以使用相同的探头组。
- 9.3.3 厚度分区和检测参数推荐设置见表 1。

表 1 厚度分区及检测参数推荐设置表

厚度 T mm	厚度分区 数	扫查深度范围 mm	中心频率 MHz	主声束角度 θ °	晶片直径 mm	主声束 交叉点位置
$8 \leq T < 15$	1	$0 \sim T$	15~7	70~60	2~4	$2T/3$
$15 \leq T < 35$	1	$0 \sim T$	10~5	70~60	2~6	$2T/3$
$35 \leq T < 50$	1	$0 \sim T$	5~3	70~60	3~6	$2T/3$
$50 \leq T < 100$	1	$0 \sim 2T/5$	7.5~5	70~60	3~6	$4T/15$
	2	$2T/5 \sim T$	5~3	60~45	6~12	$4T/5$
$100 \leq T < 200$	1	$0 \sim T/5$	7.5~5.0	70~60	3~6	$2T/15$
	2	$T/5 \sim 3T/5$	5~3	60~45	6~12	$7T/15$
	3	$3T/5 \sim T$	5~2	60~45	6~20	$13T/15$
$200 \leq T < 300$	1	$0 \sim 40$	7.5~5.0	70~60	3~6	80/3
	2	$40 \sim 2T/5$	5~3	60~45	6~12	$40/3 + 4T/15$
	3	$2T/5 \sim 3T/4$	5~2	60~45	6~20	$19T/30$
	4	$3T/4 \sim T$	3~1	50~40	10~20	$11T/12$
$300 \leq T \leq 400$	1	$0 \sim 40$	7.5~5.0	70~60	3~6	80/3
	2	$40 \sim 3T/10$	5~3	60~45	6~12	$40/3 + T/5$

表 1 (续)

厚度 T mm	厚度分区 数	扫查深度范围 mm	中心频率 MHz	主声束角度 θ °	晶片直径 mm	主声束 交叉点位置
$300 \leq T \leq 400$	3	$3T/10 \sim T/2$	5~2	60~45	6~20	$13T/30$
	4	$T/2 \sim 3T/4$	3~1	50~40	10~20	$2T/3$
	5	$3T/4 \sim T$	3~1	50~40	12~25	$11T/12$

9.4 探头选择

9.4.1 探头选择应保证完全覆盖检测区域和获得最佳的检测效果。

9.4.2 检测时推荐使用非聚焦探头，需要改善定量分辨力时宜使用聚焦探头。

9.4.3 探头晶片尺寸、中心频率和主声束角度选择见表 1，且要求检测工件底面的探头声束与底面检测区域边界法线夹角不应小于 40° 。

9.4.4 当被检材料晶粒结构有明显变化时，为保证足够的穿透力或提高分辨力宜使用其他频率的探头。

9.5 PCS 值设置

9.5.1 非平行扫查时，不需要分区的工件检测，PCS 值设置为使探头组的声束轴线交点位于工件厚度的 $2/3$ 处，声束交叉角约为 $120^\circ \sim 140^\circ$ ；需要分区的工件检测，PCS 值设置为使声束交叉点位于每个检测区域厚度方向的 $2/3$ 处。

9.5.2 对于已知缺欠或疑似缺欠部位的扫查，将 PCS 值设置为使探头组的声束轴线交点在该部位，声束交叉角约为 $110^\circ \sim 120^\circ$ 。

9.5.3 对两侧母材厚度差大于或等于 8 mm 的焊缝检测，应根据两侧母材厚度分别设置 PCS₁ 值（小间距）和 PCS₂ 值（大间距）。

9.6 扫查方式选择

9.6.1 扫查方式一般选用非平行扫查，用于缺欠的快速探测以及缺欠长度、缺欠自身高度和缺欠埋藏深度的测定。

9.6.2 对已发现的缺欠需要确定相对焊缝中心线的偏移量时，应进行平行扫查。

9.6.3 底面盲区不符合要求或焊缝两侧母材厚度差大于或等于 8 mm 时，应进行偏置非平行扫查。

9.6.4 对两侧母材厚度差大于或等于 8 mm 的焊缝进行非平行扫查时，宜使用单探头组进行多次扫查，应优先选择平面侧扫查方式，见图 11、图 12。

a) 单面扫查时，应分别进行 PCS₁ 对中扫查、PCS₂ 对中扫查和 PCS₂ 偏置扫查。

b) 双面扫查时，应分别进行 PCS₁、PCS₂ 对中扫查。

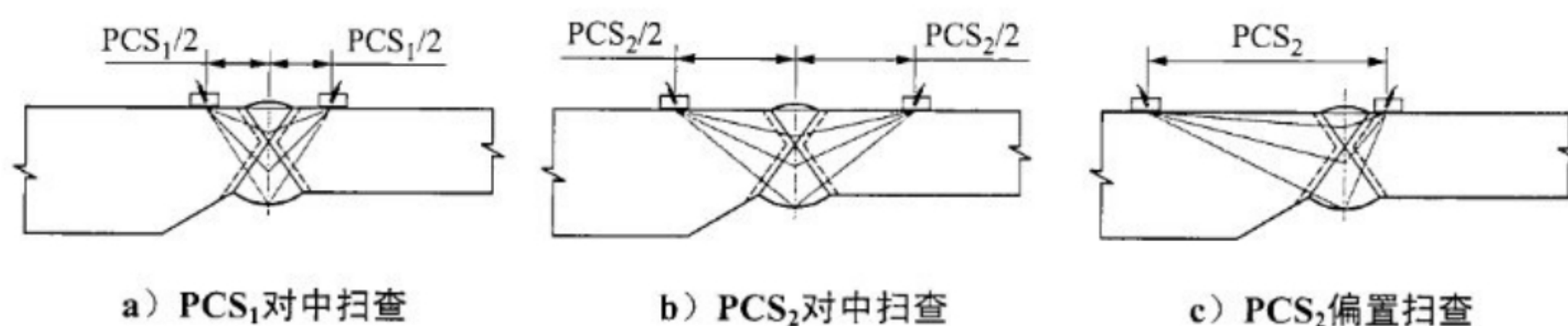


图 11 母材厚度不相等的焊缝检测平面侧扫查方式

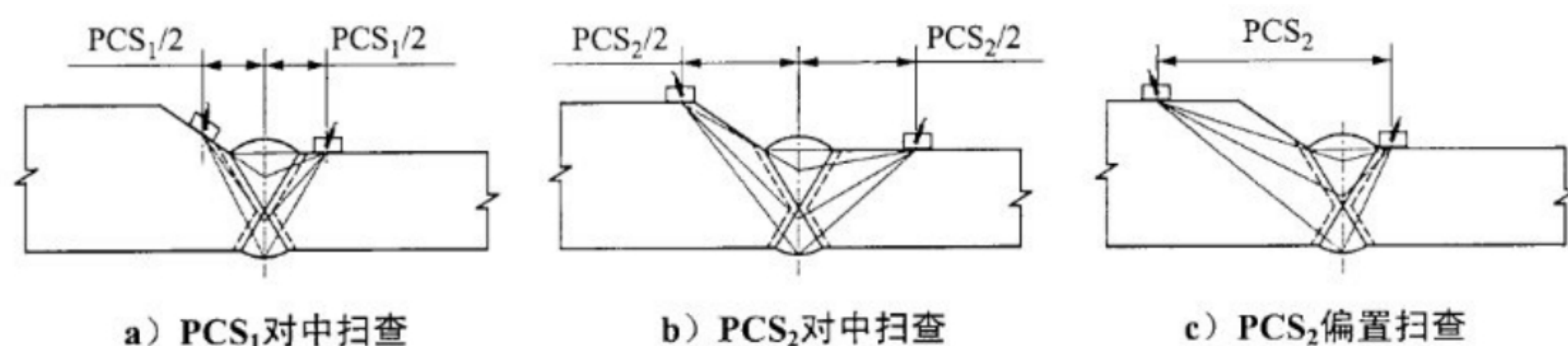


图 12 母材厚度不相等的焊缝检测非平面侧扫查方式

9.6.5 需要做横向缺欠检测时可采用横向非平行扫查，或按照 GB/T 11345 中对接接头 B 级检测横向显示的检测要求进行；对已发现的横向缺欠需要确定缺欠在焊缝长度方向的位置时应进行平行扫查。

9.6.6 特殊情况下，也可采用其他合适的扫查方式。

9.7 扫查面盲区、底面盲区

9.7.1 TOFD 检测时扫查面和底面均存在表面盲区，盲区高度的计算方法见附录 D，并应在盲区高度测定试块上进行验证。

9.7.2 对于 TOFD 检测存在的扫查面盲区，宜通过采用窄脉冲宽频带探头、减少 PCS 值、改变探头参数及进行双面扫查等方法来减小盲区高度。

9.7.3 当扫查面盲区高度大于 1 mm 时，宜采用脉冲反射法超声检测进行补充检测，检测方法及质量评定应执行相关标准的规定；当底面盲区高度大于 1 mm 时，宜采用偏置非平行扫查。

9.7.4 表面检测方法包括磁粉检测、渗透检测或涡流检测，应优先采用磁粉检测。检测及质量评定应执行相关标准的规定。

9.8 扫查步进设置

9.8.1 扫查步进是指扫查过程中相邻两个 A 扫描信号间沿工件扫查路径的空间间隔。检测前应将检测设备设置为根据扫查步进采集信号。

9.8.2 扫查步进值的设置依据被检工件厚度进行，见表 2。

表 2 扫查步进值的设置

单位为毫米

工件厚度 t	扫查步进最大值 $\Delta x_{\max}$
$8 \leq t \leq 12$	0.5
$12 < t \leq 150$	1.0
$t > 150$	2.0

9.9 信号平均化处理、脉冲重复频率、数据采集频率的设置

应以获得足够的信噪比和合适的检测速度为原则进行设置。

9.10 标识

检测前应在工件表面上对扫查起始点和扫查方向予以标识，可在母材上距焊缝中心线一定距离处画出扫查装置移动的参考线。

9.11 温度

9.11.1 采用常规探头和耦合剂时，工件的表面温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。超出该温度范围，可采用特殊探头和耦合剂，但应在实际检测温度下的对比试块上进行设置和校准。

9.11.2 检测系统校准时的温度和检测时的实际温度差应控制在 20 °C 之内。超出该温度范围，应在检测实际温度下的对比试块上进行校准和验证其适合性。

10 检测系统设置和校准

10.1 A 扫描时间窗口设置

10.1.1 检测前应对检测通道的 A 扫描时间窗口进行设置。

10.1.2 A 扫描时间窗口至少应包含表 1 中规定的扫查分区范围，同时应满足如下要求：

- 工件厚度不大于 50 mm 时，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 μs 以上，时间窗口的终止位置应设置为工件底面的一次波形转换波后 0.5 μs 以上；同时将直通波与底面反射波时间间隔所反映的厚度校准为已知的工件厚度值。
- 工件厚度大于 50 mm 时，需要分区检测。首先根据已知的对比试块内的各侧孔实际深度校准检测设备的深度显示；最上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 μs 以上，最下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 μs 以上；各区的 A 扫描时间窗口的起始位置应在厚度方向上依次向上覆盖相邻检测分区深度范围的 25%。
- 应采用对比试块验证时间窗口在厚度方向上的覆盖性。

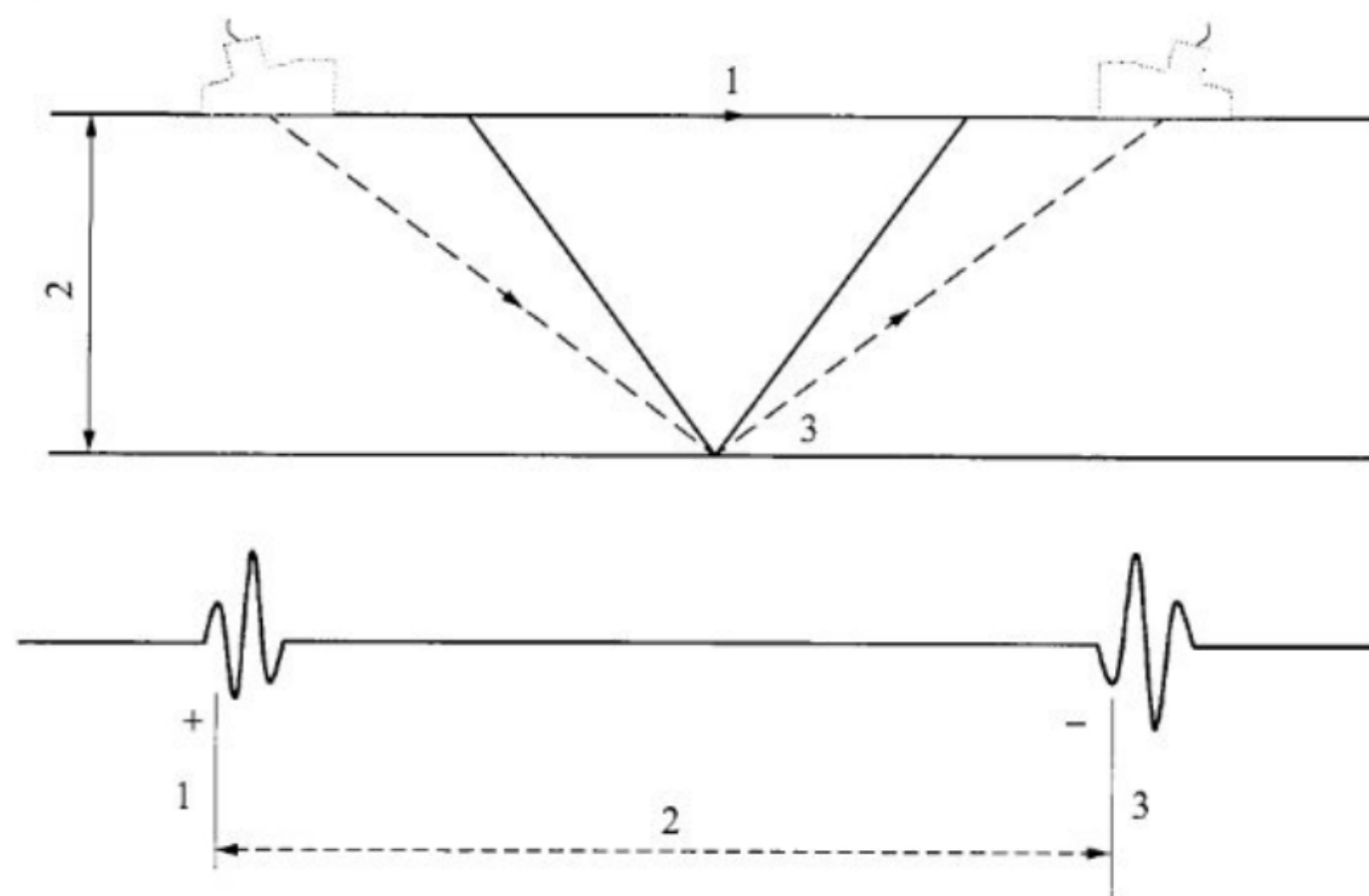
10.2 深度调节

10.2.1 检测前应调节 A 扫描时基线与深度的对应关系。

10.2.2 对于直通波和底面反射波同时可见的情况，应将其时间间隔所对应的声程校准为已知的工件厚度值。工件厚度的深度校准见图 13，A 扫描信号波形中直通波和底面反射波测量点处相位相反。

10.2.3 对于直通波或底面反射波不可见的情况，应采用对比试块进行深度校准。

10.2.4 深度校准应保证深度测量误差不大于工件厚度的 1%，且不大于 0.5 mm。



标引序号说明：

- 1——直通波；
- 2——工件厚度 T ；
- 3——底面反射波。

图 13 工件厚度的深度校准

10.3 位置编码器的校准

10.3.1 检测前和每工作 4 h 应对位置编码器进行校准。当检测人员有怀疑时，应及时校准。

10.3.2 校准时应使扫查装置移动距离不小于 500 mm，检测设备所显示的位移与实际位移的误差不大于 1%。

10.4 灵敏度设置

10.4.1 检测前应在对比试块或被检工件上设置检测灵敏度。

10.4.2 当采用对比试块上的衍射体设置灵敏度时，应将检测厚度范围内较弱的衍射体信号波幅设置为满屏高的 40%~80%，并在检测时进行表面耦合补偿。

10.4.3 在被检工件上设置灵敏度时要求如下：

- a) 一般将直通波的波幅设定到满刻度的 40%~80%；
- b) 受工件表面状况的影响，不能利用直通波校准时，可将底面反射波幅设定为满刻度，再增益 18 dB~30 dB；
- c) 当工件厚度大于 50 mm 时，可将对比试块上横孔的波幅设定到满刻度的 40%~80%作为起始灵敏度；
- d) 当直通波和底面反射波均不可用时，可将材料的晶粒噪声设定为满刻度的 5%~10%作为检测灵敏度。

10.5 检测设置和校准的复核

10.5.1 检测结束时或检测过程中每 4 h 应对检测设置进行复核。当检测人员认为有怀疑时，应及时校准。

10.5.2 若初始设置和校准采用了对比试块，应在同一试块上进行复核。若在工件上设置和校准，应在工件上同一部位进行复核。

10.5.3 若复核时发现检测设置和校准的参数偏离，则按表 3 的规定执行。

表 3 偏离和纠正

项目	偏离量	纠正措施
灵敏度	≤6 dB	不需要采取措施，必要时可通过软件纠正
	>6 dB	应重新设置，并重新检测上次校准后所检测的焊缝
深度	偏离≤0.5 mm 或板厚的 2%，取大值	不需要采取措施
	偏离>0.5 mm 或板厚的 2%，取大值	应重新设置，并重新检测上次校准后所检测的焊缝
位移	≤5%且不超过 25 mm	不需要采取措施
	>5%或超过 25 mm	应重新设置，并对上次校准后所检测的位置进行修正

11 检测

11.1 非平行扫查和偏置非平行扫查时应保证实际扫查路径与拟扫查路径一致，其最大偏差不超过 PCS 值的 10%。

11.2 扫查速度应满足耦合和全波采集要求，最大不得超过 $V_{\max}$ 。

$$V_{\max} = \frac{f_{\text{PRF}} \Delta x}{N} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $V_{\max}$ ——最大扫查速度，单位为毫米每秒（mm/s）；
 f_{PRF} ——激发探头的脉冲重复频率，单位为赫兹（Hz）；
 Δx ——扫查步进值，单位为毫米（mm）；
 N ——信号平均次数。

11.3 分段扫查时，相邻段扫查区的重叠范围不应小于 25 mm。

11.4 当直通波、底面反射波、材料晶粒噪声或波形转换波的波幅降低 12 dB 以上或怀疑耦合不良时，应重新扫查该段区域；当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。

12 检测数据分析

12.1 检测数据的有效性评定

12.1.1 分析数据之前，应对所采集的数据进行有效性评定。

12.1.2 数据丢失量不得超过每次扫查数据量的 5%，且不允许相邻数据连续丢失。原始数据不得有修改、黏接的痕迹。

12.1.3 扫查数据应保证声束足以覆盖检测区域，在分段扫查时其重叠范围应满足 11.3 的要求。

12.1.4 根据超声信号的相位判断缺欠的上、下端点，若因信噪比太小而无法判断相位时，则检测数据无效。

12.1.5 若所获得的数据无效，应采取纠正措施，重新进行扫查直至数据符合要求。

12.2 非相关显示的确定

12.2.1 对于有显示的 TOFD 图像应区分相关显示或非相关显示。

12.2.2 应按以下步骤确定非相关显示是由工件结构或者材料冶金组织的偏差所引起的：

- a) 查阅加工和焊接文件资料；
- b) 绘制衍射体的坐标，提供可显示出衍射体位置和表面不连续的横截面展示图；
- c) 根据现有检测工艺规程对包含衍射体的区域进行验证；
- d) 可辅助使用其他无损检测技术进行确定。

12.2.3 非相关显示应记录其位置和 TOFD 图像。

12.2.4 因母材引起的非相关性显示，母材合格标准以相关材料标准为准。

12.3 相关显示的分类

12.3.1 相关显示分为表面开口型缺欠显示、埋藏型缺欠显示和难以分类的显示。常见焊接缺欠 TOFD 图像参见附录 E。

12.3.2 表面开口型缺欠显示可分为如下 3 类：

- a) 扫查面开口型：该类型显示为直通波的减弱、消失或变形，且仅可观察到一个缺欠下端点产生的衍射信号，且与直通波同相位。
- b) 底面开口型：该类型显示为底面反射波的减弱、消失、延迟或变形，且仅可观察到一个缺欠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，沿壁厚方向产生多处衍射信号。

12.3.3 埋藏型缺欠显示一般不影响直通波或底面反射波的信号。埋藏型缺欠显示可分为如下 3 类：

- a) 点状显示：该类型显示为单个双曲线弧状，且与拟合弧形光标重合，无可测量长度和高度。
- b) 细长显示：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、下两端点产生的衍射信号，且靠近底面处端点产生的衍射信号与直通波同相位，靠近扫查面处端点产生的信号与底面反射波同相位。

12.3.4 难以分类的显示：对于难以按照 12.3.2 和 12.3.3 进行分类的显示，可采用其他检测方法进行进一步检测、分析和确认。

12.4 缺欠位置测定

12.4.1 在 x 轴上位置的确定：根据位置编码器定位系统对缺欠沿焊缝的位置进行定位。

12.4.2 在 z 轴上位置的确定：对于表面开口型缺欠显示，通常只有上或下端点的衍射波，通过判断其端点衍射波与直通波（或底面反射波）的相位关系确定其上（或下）端点，按附录 D 中公式（D.3）计

算或由仪器直接读出。

12.4.3 对于埋藏型缺欠显示，其上端点产生的衍射波与直通波反相位且与底面反射波同相位，通过测定缺欠端点的衍射波与直通波间的传播时间差 t ，按附录 D 中公式 (D.3) 计算或由仪器直接读出。

12.5 缺欠尺寸测量

12.5.1 缺欠的尺寸由完全包含缺欠的矩形区域确定。缺欠的尺寸示意图见图 4。

12.5.2 缺欠长度根据位置编码器记录的缺欠在 x 轴的位置确定，确定方法如下：

- a) 对于表面开口型缺欠显示，缺欠长度为直通波或底面反射波中断部分的长度；对于穿透型缺欠，缺欠长度为直通波或底面反射波中断部分长度较长者。
- b) 对于埋藏型缺欠，若显示的中间部分呈线状而两端呈抛物线状，将与一侧端点拟合的抛物线光标移动到与另一侧端点拟合时的距离表示缺欠的长度。

12.5.3 缺欠高度的测量方法如下：

- a) 对于表面开口型缺欠显示，缺欠高度为扫查面与缺欠下端点或底面与缺欠上端点间的距离；对于穿透型缺欠，缺欠高度为工件厚度。
- b) 对于埋藏型长条状缺欠显示，缺欠高度为在 z 轴上缺欠上、下端点间的最大距离。测量时应确保上、下端点衍射波相位相反。

13 对非平行扫查发现的相关显示的辅助检测

13.1 平行扫查

13.1.1 探头参数选择参照表 1 进行，PCS 值设置为使探头组的声束轴线交点为非平行扫查发现的缺欠部位。

13.1.2 平行检测数据分析如下：

- a) 在 y 轴上缺欠位置的测定：显示的端点距扫查面最近时探头组连线中心距焊缝中心的距离。
- b) 缺欠在 z 轴上的位置和高度的测量：对于表面开口型缺欠显示，图像距扫查面最近处反映的位置和深度；对于埋藏型缺欠显示，图像距扫查面最近处的上端点和最远处的下端点所反映的位置为 z 轴实际位置，其距离差值为缺欠的自身高度，但应确保衍射波相位相反。平行扫查时缺欠位置 and 高度测量见图 14。

13.2 辅助检测

13.2.1 对于发现的表面和内部可疑显示部位可采用其他检测方法进行辅助检测。

13.2.2 对于非闭合焊缝端部扫查盲区，应进行脉冲反射法超声检测。

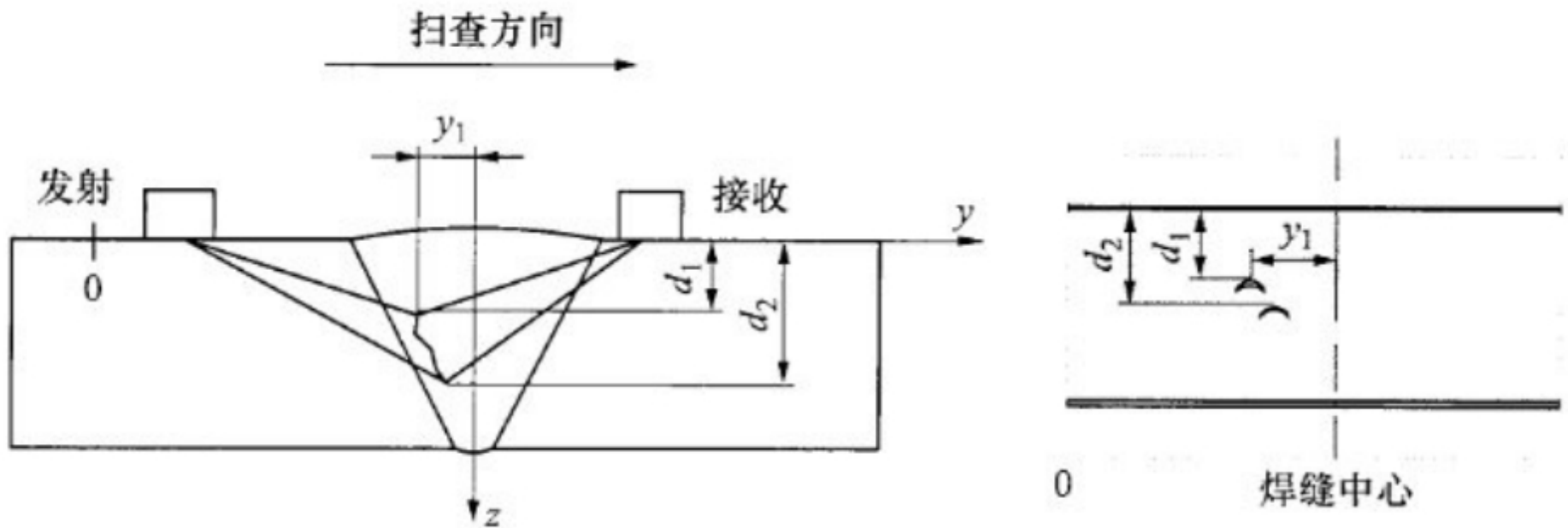


图 14 平行扫查时缺欠位置 and 高度测量

14 缺欠评定

14.1 不允许存在的缺欠

不允许存在的缺欠如下：

- a) 裂纹、未熔合、未焊透等危害性的缺欠；
- b) 表面开口缺欠；
- c) 缺欠高度大于表 4 中 h_1 的缺欠；
- d) 缺欠高度小于等于 h_1 时，不满足 14.2 和表 4 规定的缺欠。

14.2 点状缺欠的评定

14.2.1 点状缺欠显示用评定区评定。评定区宽度为母材厚度，长度为 150 mm，焊接接头长度小于 150 mm 时，按照实际长度折算。

14.2.2 允许的缺欠点数按式 (2) 计算：

$$N = n \times T \dots\dots\dots (2)$$

式中：

N ——允许的点状缺欠数量。

n ——质量分级系数。一类焊缝时 $n=0.5$ ，最大点数为 130；二类焊缝时 $n=0.8$ ，最大点数为 200。

T ——母材公称厚度，不等厚时以母材薄的一侧计，单位为毫米 (mm)。

14.2.3 对于在图谱上无法分辨点状缺欠点数的密集型点状显示，按条状显示处理。

14.3 非点状缺欠显示的评定

14.3.1 非点状缺欠显示的评定见表 4。

表 4 非点状缺欠的评定

单位为毫米

焊缝类别	厚度 T	埋藏型缺欠高度小于等于 h_2 时，所允许的单个缺欠的最大长度		当长度超过 $L_{\max}$ 时，埋藏型缺欠最大允许高度 h_2	多个缺欠总长
		$L_{\max}$	h_1		
一类焊缝	$8 \leq T < 60$	$\frac{1}{3}T$	4	1	相邻两缺欠间距均不超过 $6L$ 的任何一组缺欠，其累计长度在 $12T$ 焊缝长度内不超过 T
	$T \geq 60$	20	5	2	
二类焊缝	$8 \leq T < 45$	$\frac{2}{3}T$	4	1	相邻两缺欠间距均不超过 $3L$ 的任何一组缺欠，其累计长度在 $6T$ 焊缝长度内不超过 T
	$T \geq 45$	30	5	2	
注 1：焊缝两侧母材厚度不同时，取薄的一侧的厚度值。					
注 2：表中 L 为该组缺欠中最长者的长度。					
注 3：对于单个或多个缺欠高度 $h < h_2$ 的线状缺欠，在任意 $12T$ 范围内累计长度不得超过 $4T$ ，且最大值为 300 mm。					

14.3.2 相邻两个缺欠在焊缝长度方向上间距小于长度较小者，并且焊缝厚度方向上间距小于缺欠高度较小者时，按单个缺欠计，缺欠的长度和高度确定如下：

- a) 长度为相邻缺欠的左右端点间距离。
- b) 高度确定：

- 缺欠在扫查方向无重叠时，以较大的缺欠高度作为单个缺欠高度；
- 缺欠在扫查方向有重叠时，应选择重叠区间同一个指针位置的上缺欠的上端点和下缺欠的下端点间距最大者为缺欠高度，若该高度小于这两个相邻缺欠的自身高度较大者时，以自身高度最大者计。

14.4 焊接接头返修部位质量评定

14.4.1 焊接接头缺欠返修后应按原检测工艺进行复检，复检范围应向返工部位两端各延长至少 50 mm。

14.4.2 焊接接头质量评定除应符合 14.1、14.2 和 14.3 的规定外，还应考虑由于晶粒粗大引起的图谱上的密集回波显示。

15 检测记录和报告

检测记录和报告应至少包括以下内容：

- a) 委托单位。
- b) 被检工件：名称、编号、规格、材质、坡口形式、焊接方法和热处理状况、表面状态。
- c) 检测设备：仪器，探头（探头种类、频率、角度、晶片尺寸等参数），试块，耦合剂。
- d) 检测工艺：探头布置、检测设置、校准方法、扫查方式、定位装置。
- e) 检测部位、检测区域及相关显示的类型、位置、尺寸和分布应在草图上予以标明。
- f) 检测数据：数据文件名称、缺欠位置与尺寸以及缺欠部位 TOFD 图像。
- g) 检测数据分析及结论。
- h) 检测人员和责任人员签字及其技术资格。
- i) 检测日期、报告日期。

检测报告格式见附录 F。

附录 A

(资料性)

水电水利工程常用非合金钢、低合金钢和合金钢

非合金钢的分类见表 A.1，低合金钢的分类见表 A.2，合金钢的分类见表 A.3。

表 A.1 非合金钢分类

按主要特性分类	按主要质量等级分类		
	1	2	3
	普通质量非合金钢	优质非合金钢	特殊质量非合金钢
以规定最低强度为主要特性的非合金钢	碳素结构钢：GB/T 700 中 Q215 的 A、B 级，Q235 的 A、B 级，Q275 的 A、B 级	a) 碳素结构钢：GB/T 700 中除普通质量 A、B 级钢以外的牌号及 A、B 级规定冷成形性及模锻性特殊要求者； b) 优质碳素结构钢：GB/T 699 中除 65Mn、70Mn、70、75、80、85 以外的牌号； c) 锅炉和压力容器用钢：GB/T 713 中的 Q245R	a) 优质碳素结构钢：GB/T 699 中的 65Mn、70Mn、70、75、80、85 钢； b) 保证淬火性钢：GB/T 5216 中的 45H； c) 有 GB/T 5313 厚度方向性能规定的钢

表 A.2 低合金钢分类

按主要特性分类	按主要质量等级分类		
	1	2	3
	普通质量低合金钢	优质低合金钢	特殊质量低合金钢
可焊接低合金高强度结构钢	一般用途低合金结构钢：GB/T 1591 中的热轧钢	a) 一般用途低合金结构钢：GB/T 1591 中的热轧钢、Q355 和 Q390 (NE 级钢以外)； b) 锅炉压力容器用低合金钢：GB/T 713 中除 Q245 以外的牌号	a) 一般用途低合金结构钢：GB/T 1591 中的 Q390NE、Q355NE、Q420、Q460，正火 N 钢、热机械轧制 M 钢即 TMCP 低合金结构钢； b) 锅炉压力容器用低合金钢：GB/T 19189 中的 12MnNiVR，GB/T 3531 中低温压力容器用钢的牌号； c) 有 GB/T 5313 厚度方向性能规定的钢

表 A.3 合金钢分类

按主要特性分类	按主要质量分类	
	优质合金钢	特殊质量合金钢
	1	2
	工程结构用钢	工程结构用钢
可焊接合金高强度结构钢	一般工程结构用合金钢：GB/T 20933 中的热轧钢板桩牌号 Q420bz	a) GB/T 19189 中的 07MnMoVR、07MnNiVDR、07MnNiMoDR； b) GB/T 713 中的合金钢，不锈钢、耐蚀和耐热钢除外； c) GB/T 5310 中高压锅炉用无缝钢管的合金钢； d) GB/T 16270 中的高强度结构用调质钢板和高强度结构用 TMCP 钢即热机械轧制 M 钢
		GB/T 20878 中的铁素体型不锈钢和马氏体型不锈钢

附录 B
(资料性)

焊缝衍射时差法超声检测操作指导书格式

焊缝衍射时差法超声检测操作指导书格式见表 B.1。

表 B.1 衍射时差法超声检测操作指导书格式

编号：

被检设备	设备名称		设备类别		设备规格							
	主体材质		设备状态		焊接方法							
	接头形式		坡口形式		焊缝宽度							
	热处理状态		检测部位		检测区域							
检测设备器材	仪器名称		仪器型号		仪器编号							
	试块名称		试块编号		扫查装置							
	探头规格		探头编号		耦合剂							
检测技术要求	工艺规程编号		检测时机		检测温度							
	执行标准		合格级别		检测技术等级							
	检测比例		表面状态		表面耦合补偿							
工艺参数	一、探头及设置											
	通道	厚度分区/覆盖范围	频率	晶片尺寸	探头编号	楔块角度	楔块编号	探头中心间距	楔块前沿及延时	-12 dB 声束扩散角	时间窗口设置	扫查方式
	1											
	2											
	3											
	灵敏度设置	第 1 通道： 第 2 通道： 第 3 通道：				深度校准	第 1 通道：找到对比试块上_____深度侧孔，将该标准反射体校准为已知深度。 第 2 通道：找到对比试块上_____深度侧孔，将该标准反射体校准为已知深度。 第 3 通道：找到对比试块上_____深度侧孔，将该标准反射体校准为已知深度					
	扫查步进				信号平均次数				脉冲重复频率			
	位置传感器校准				扫查面				扫查速度			
	二、初始表面盲区及表面检测											
	初始扫查面盲区（实测值）											
	初始底面盲区（计算值）				检测方法							

表 B.1（续）

工艺参数	三、偏置非平行扫查							
	偏置检测通道		偏置量		偏置扫查次数		底面盲区 (计算值)	
	四、横向缺欠检测							
	检测方法							
检测操作程序 和扫查次序	检测操作程序:							
检测标识说明 及检测示意图	检测标识说明:							
其他要求	工作性能检查要求:							
	检测记录要求:							
	数据评定要求:							
	工艺验证要求:							
	辅助检测要求:							
编制				级别	TOFD—		日期	
审核				级别	TOFD—		日期	

附录 C
(资料性)
参考试块

C.1 平底孔试块

图 C.1 给出了平底孔试块示例，有 5 个平底孔排在一直线上，孔径相同（1.5 mm~3.0 mm），孔底距探测面距离（深度）不同。借此可评定声能分布和分辨能力。孔深由最大到最小布置，可测试对表面开口缺欠和近表面缺欠的检测分辨力。另外，也可测试厚板分区偏离焊缝中心线时的检测灵敏度。进行几次非平行扫查，每次探头分别偏离平底孔轴线一定增量，就可确定偏离轴线的灵敏度限值。若用多通道偏心扫查，要求保证较宽区域（如焊缝加较宽热影响区）均可被声束覆盖，即可用该平底孔试块进行校验。该试块也可从机加工一面（即钻孔一面）进行扫查，检测表面开口缺欠的下端部衍射信号。

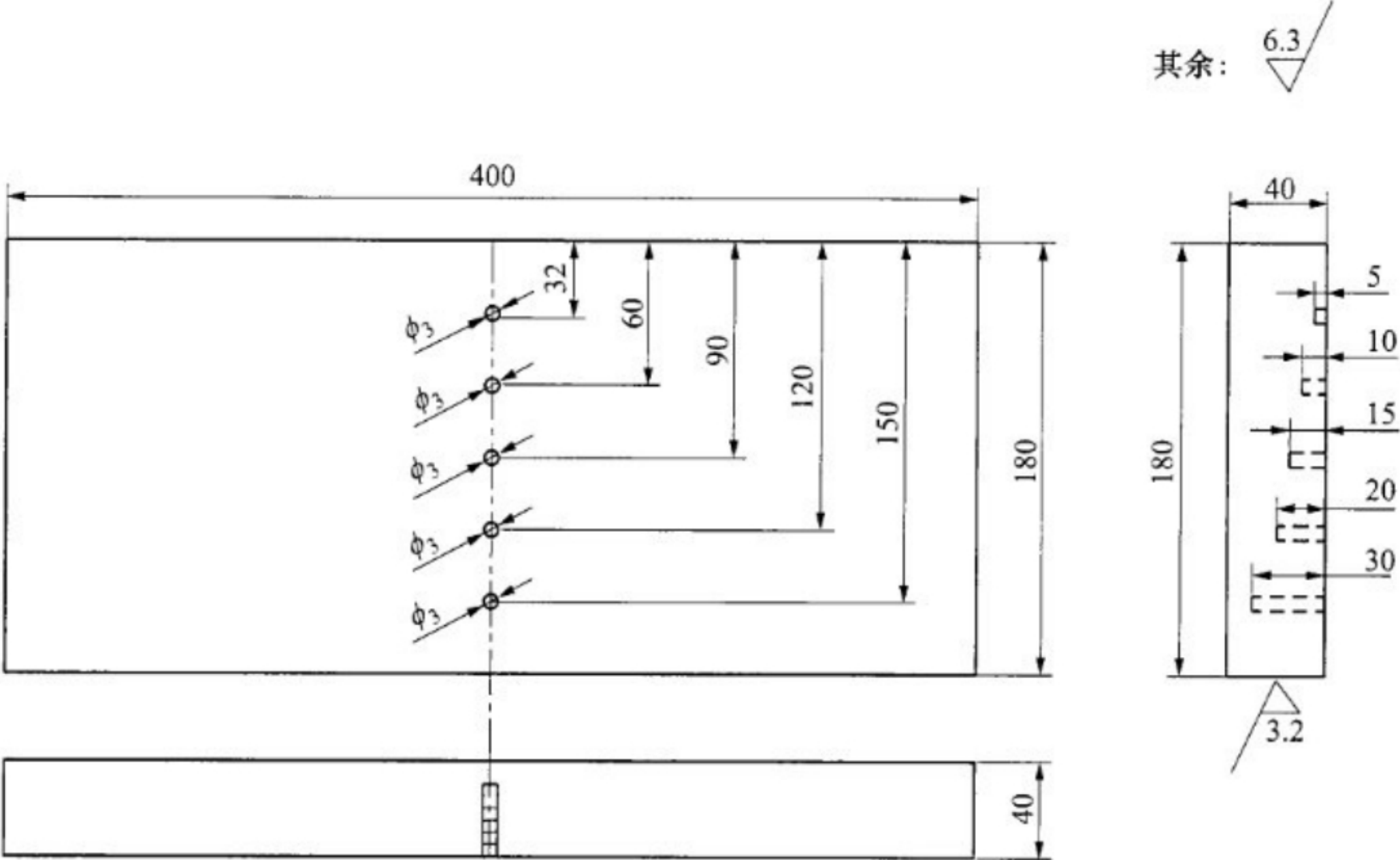


图 C.1 平底孔试块示例

C.2 尖角槽试块

图 C.2 给出了尖角槽试块示例，槽的深度位置与上述平底孔试块相同，以 60°的 V 形槽作为衍射体。槽宽一般为 2 mm~5 mm，槽长 10 mm~20 mm。V 形槽通常用电火花加工。灵敏度可用 V 形槽尖端的衍射信号来校准。利用这种灵敏度衍射体的衍射信号，能更准确地对条形面状缺欠进行测深定高。

C.3 横孔和切槽的组合试块

图 C.3 给出了不同直径横孔和切槽的组合试块示例，该试块可用于调整灵敏度和分辨力。 $\phi 3$ mm 设于厚度 1/4、1/2 和 3/4 位置。离探测面 3 mm 处还钻有一 $\phi 2$ mm 的横孔。切槽一般高 1 mm~2 mm，长 10 mm~20 mm，可用于测试底面分辨力。切槽宽度应尽可能窄些，最好小于 1 mm。整个试块尺寸应能确保 PCS 设置合适时探头组在扫查面上扫查。横孔深度位置形成的梯形差，应满足获得各横孔单独衍射信号的要求。

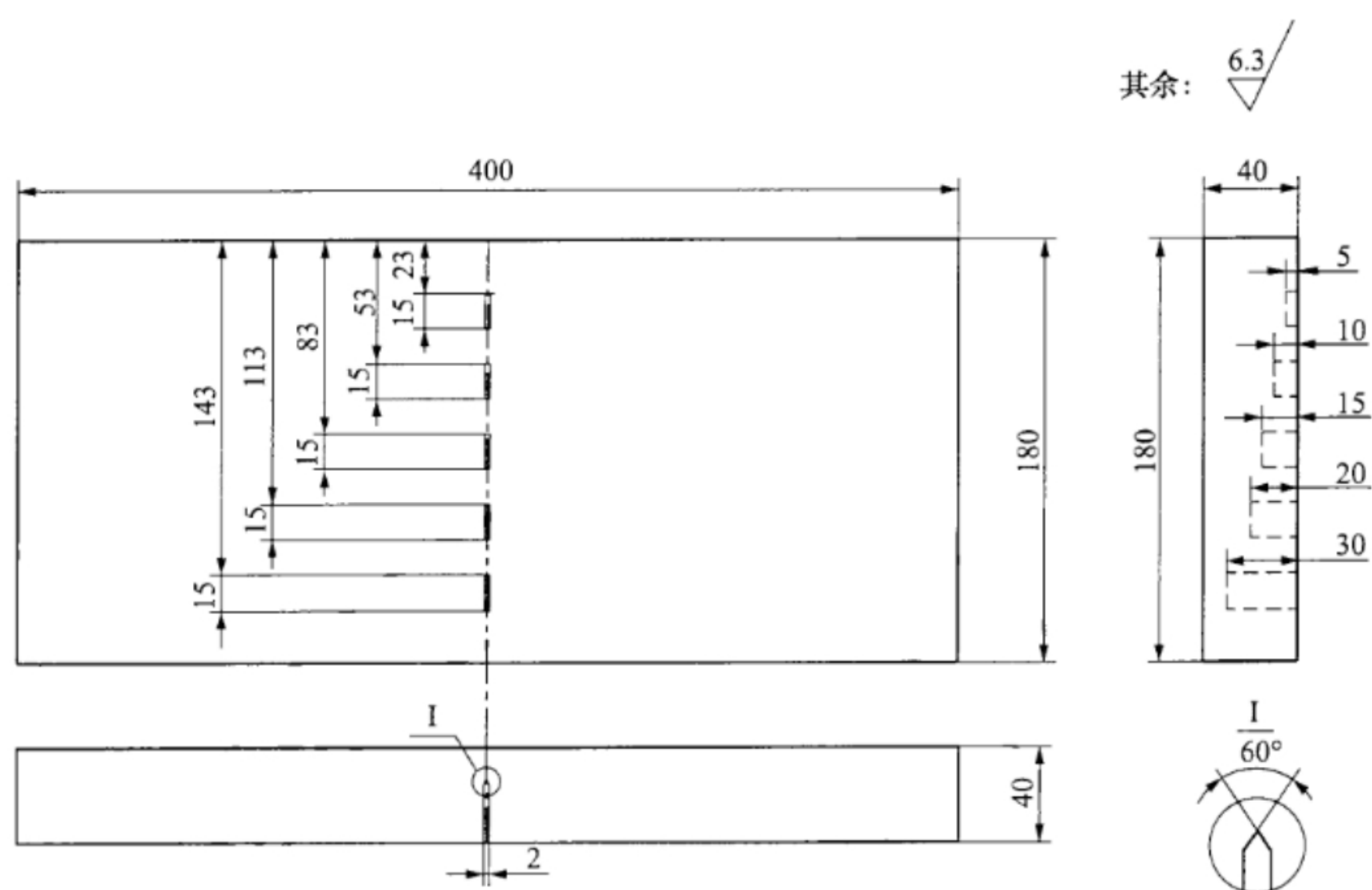


图 C.2 尖角槽试块示例

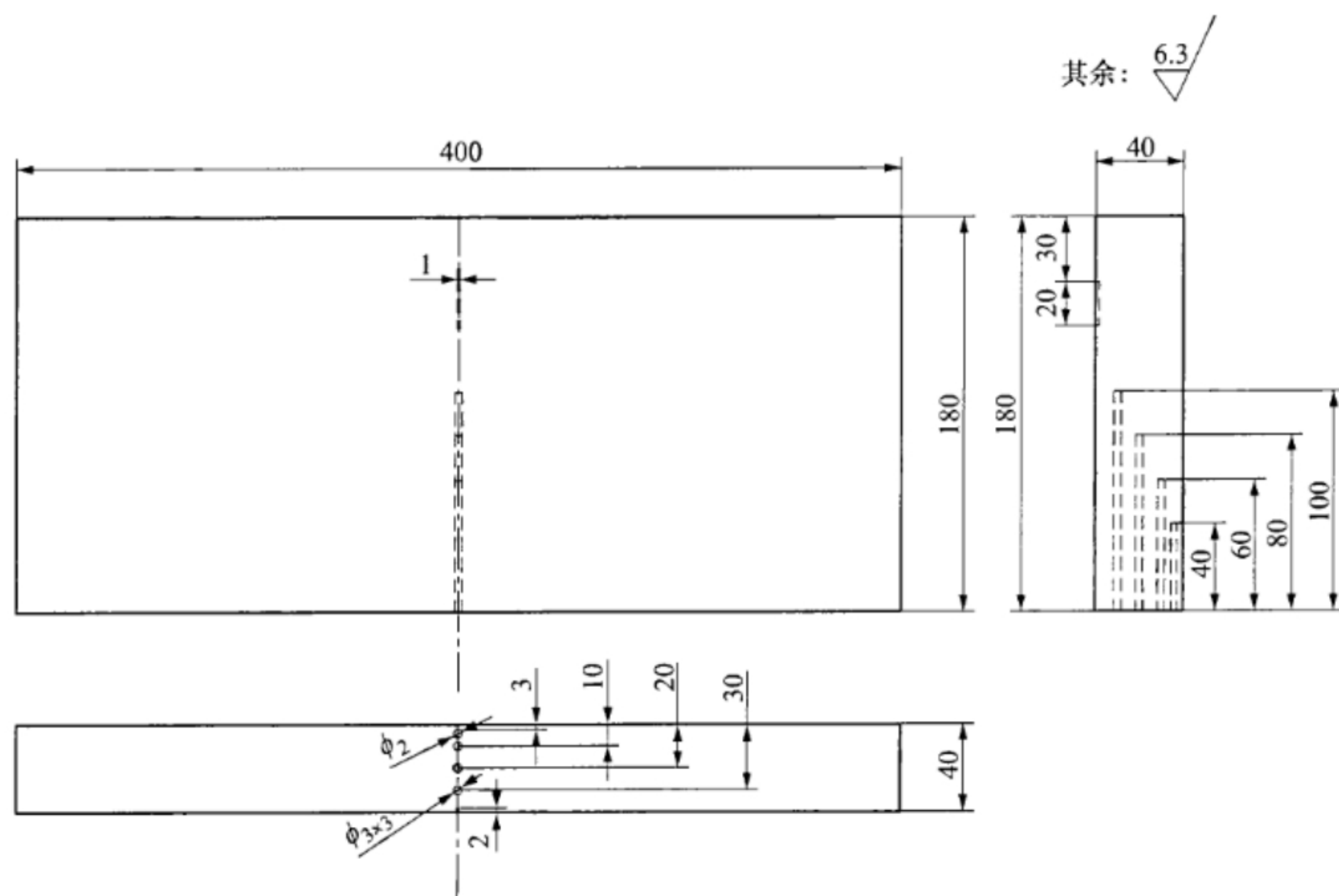


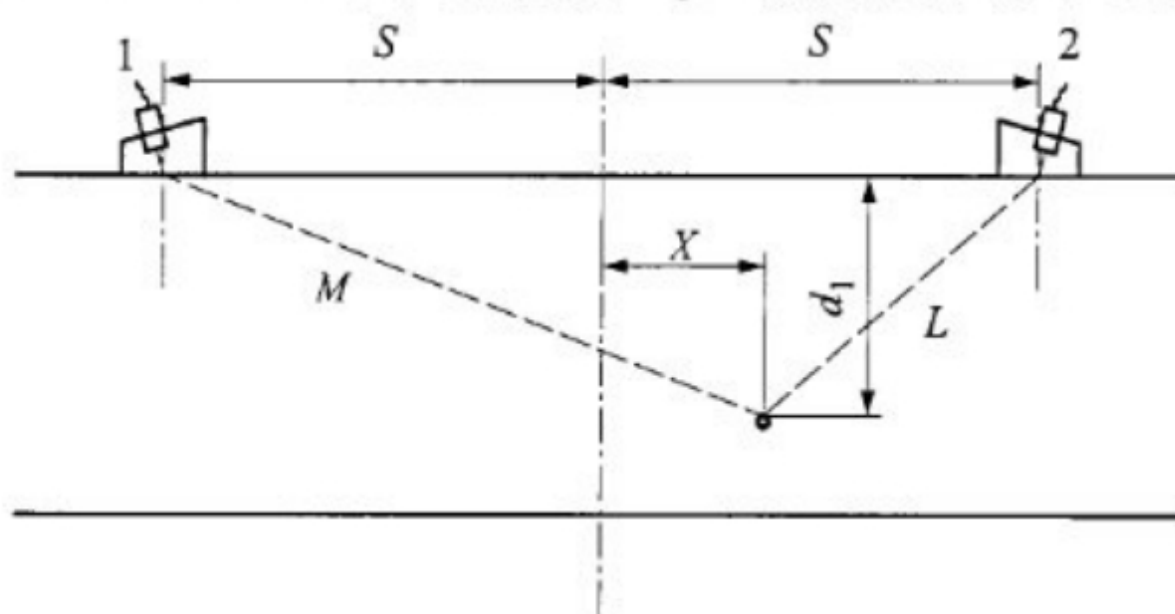
图 C.3 不同直径横孔和切槽的组合试块示例

附录 D

(资料性)

缺欠深度、高度及表面盲区高度的计算

D.1 假定探头中心间距为 $2S$ ($S=PCS/2$), 缺欠深度为 d_1 , 缺欠距焊缝中心线的偏移量为 X , 见图 D.1。



标引序号说明:

1 ——发射探头;

2 ——接收探头。

图 D.1 缺欠深度计算图

根据几何关系, 有:

$$M + L = c(t - 2t_0) = \sqrt{d_1^2 + (S - X)^2} + \sqrt{d_1^2 + (S + X)^2} \quad \text{..... (D.1)}$$

式中:

c ——波的传播速度, 单位为毫米每微秒 ($\text{mm}/\mu\text{s}$);

t ——超声波在工件中传播的总时间, 单位为微秒 (μs);

t_0 ——超声波在探头楔块中传播的时间, 单位为微秒 (μs)。

假定缺欠位于焊缝中心线上, 此时 $X=0$, 所得 d_1 值最小:

$$d_1 = \sqrt{\frac{c^2(t - 2t_0)^2}{4} - S^2} \quad \text{..... (D.2)}$$

D.2 若以直通波为参考起点, 假定 $X=0$, 则缺欠深度为:

$$d_1 = \frac{\sqrt{t_d^2 c^2 + 4t_d c S}}{2} \quad \text{..... (D.3)}$$

式中:

t_d ——缺欠上端点的衍射波与直通波间的传播时间差, 单位为微秒 (μs)。

同理可计算出缺欠下端点的深度 d_2 。

则缺欠的高度 h 为: $h = d_2 - d_1$ 。

D.3 扫查面盲区高度:

$$D_s = (c^2 t_p^2 / 4 + S c t_p)^{1/2} \quad \text{..... (D.4)}$$

式中:

t_p ——直通波脉冲时间宽度, 通常取 1.5 倍中心频率对应的周期, 单位为微秒 (μs)。

D.4 底面盲区高度:

底面盲区分为初始底面盲区和轴偏离后底面盲区, 其计算方法如下:

a) 初始底面盲区计算公式:

$$D_b = T \left(1 - \sqrt{1 - \frac{x^2}{S^2 + T^2}} \right) \dots\dots\dots (D.5)$$

式中：

T ——工件厚度（母材不等厚时取较小值），单位为毫米（mm）；

x ——底面检测区域宽度的一半，单位为毫米（mm）；

S ——探头中心距离的一半，单位为毫米（mm）。

b) 轴偏离后底面盲区公式：

轴偏离后底面盲区高度，同公式（D.5）计算。其中 x 的含义与 a) 中的不同，指偏离焊缝中心的距离，单位为毫米（mm）。

附录 E
(资料性)
常见焊接缺陷 TOFD 图像

表 E.1 给出了常见焊接缺陷 TOFD 图像。

表 E.1 常见焊接缺陷 TOFD 图像

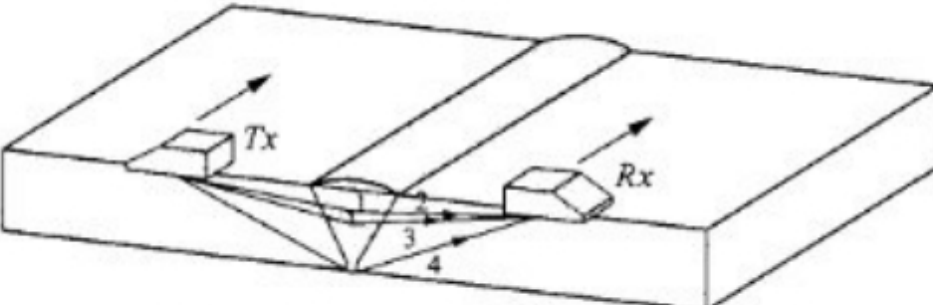
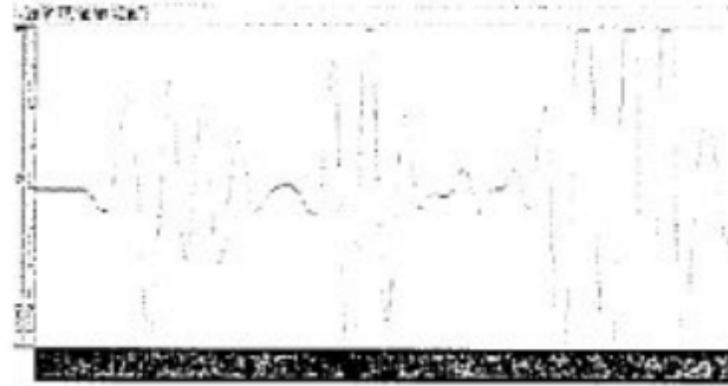
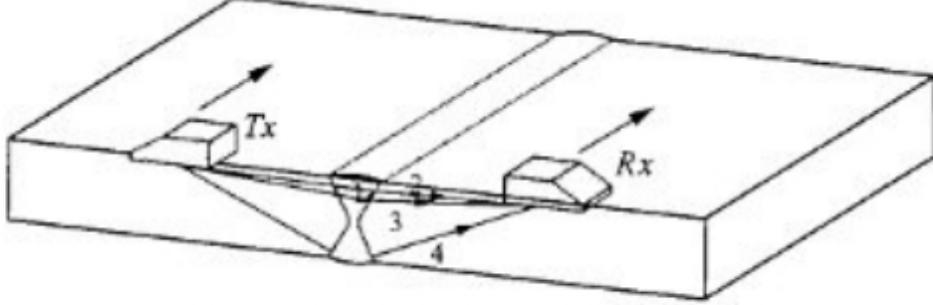
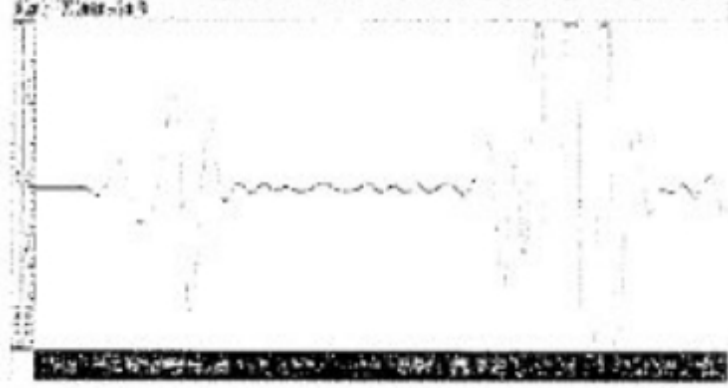
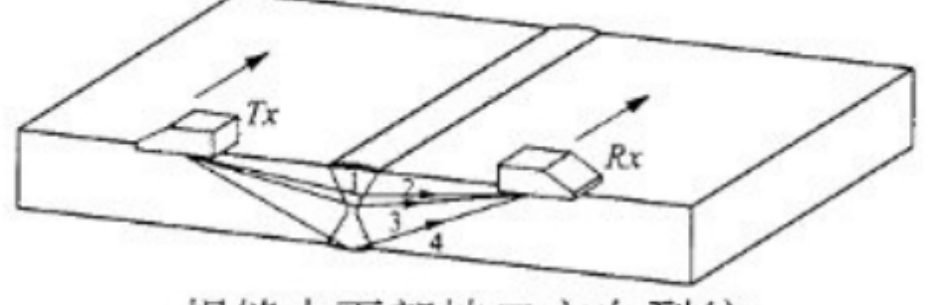
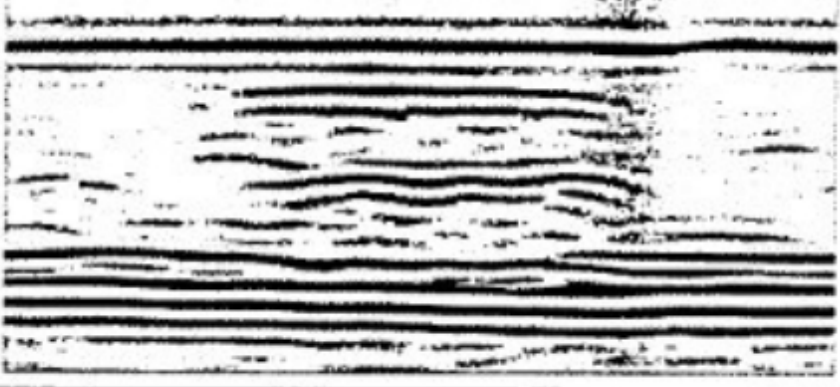
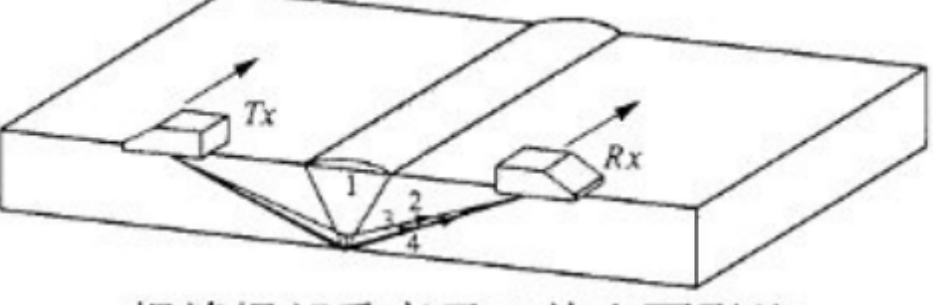
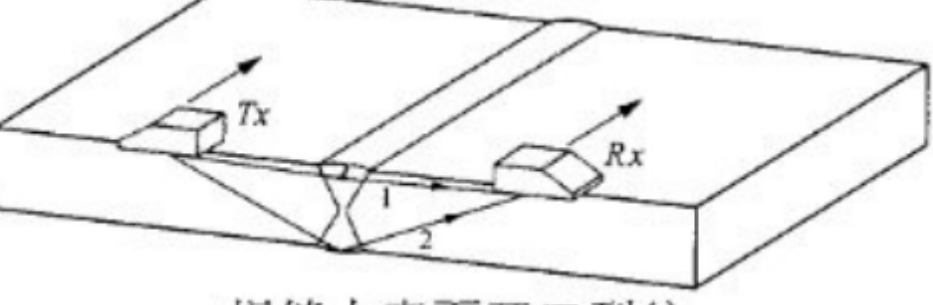
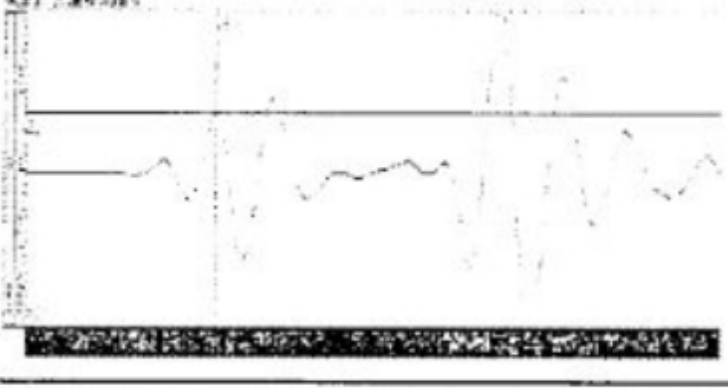
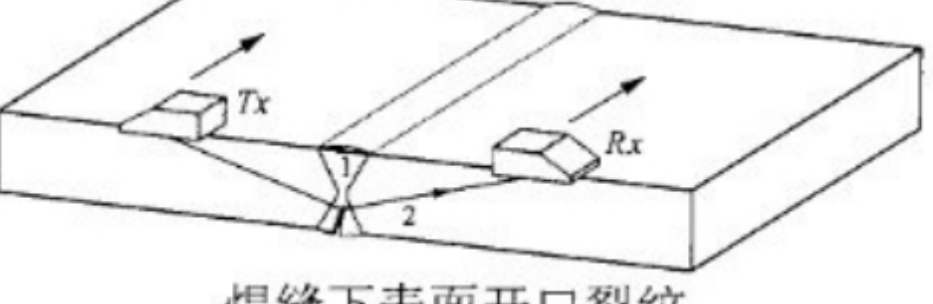
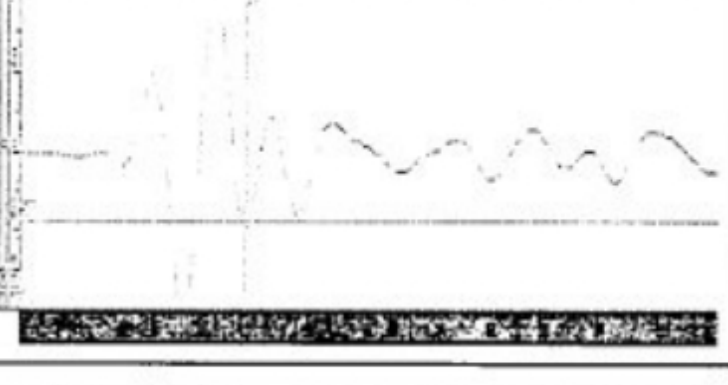
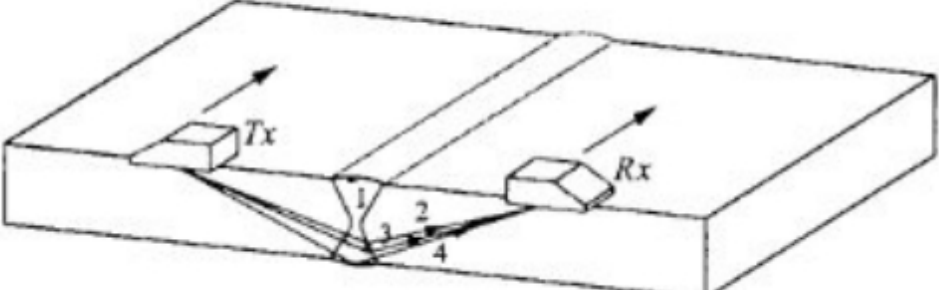
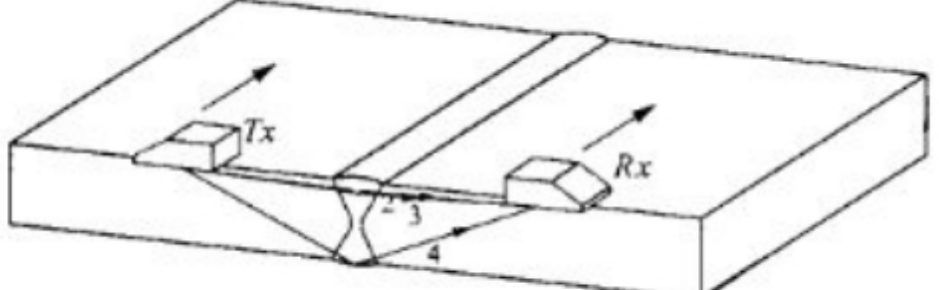
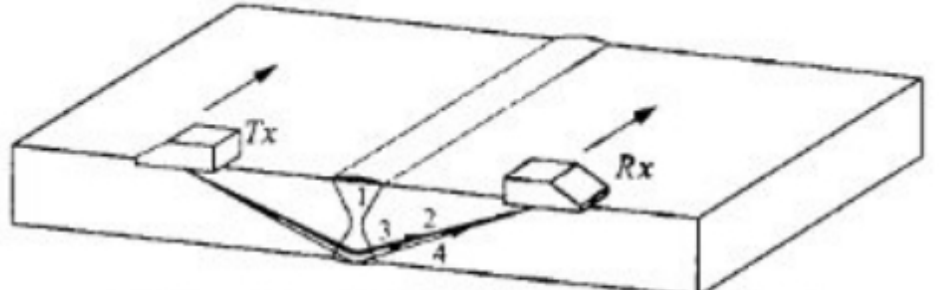
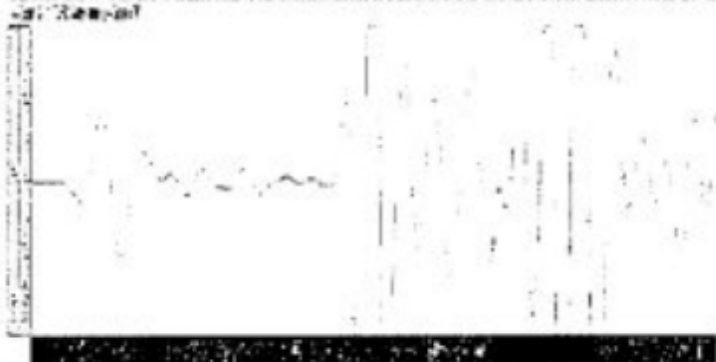
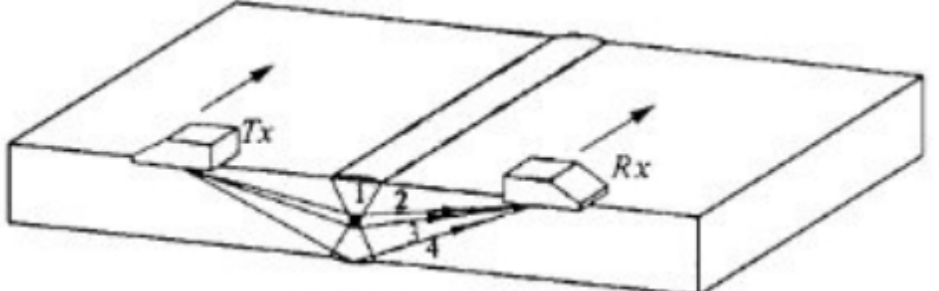
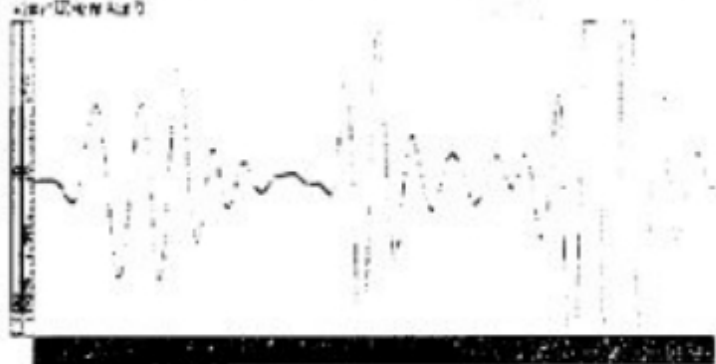
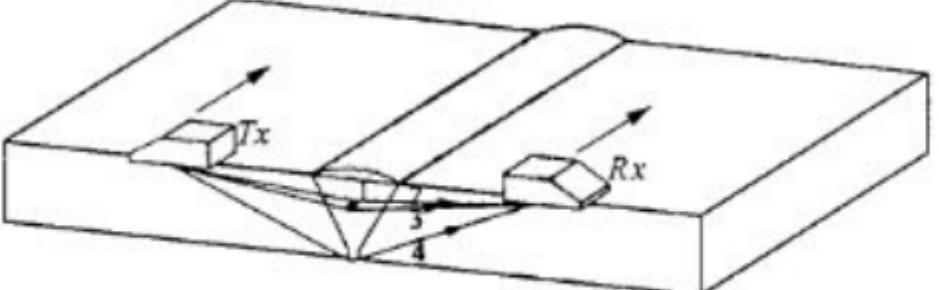
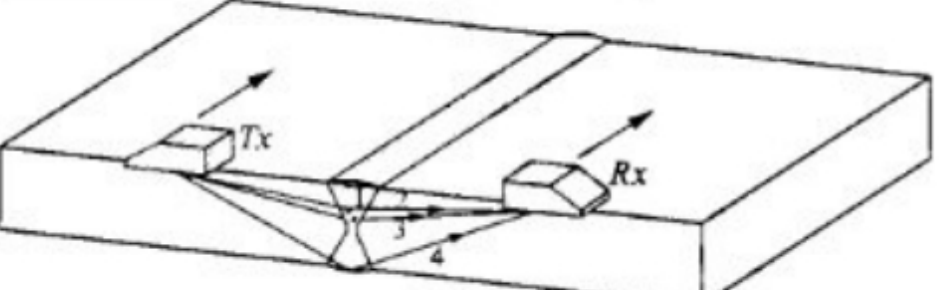
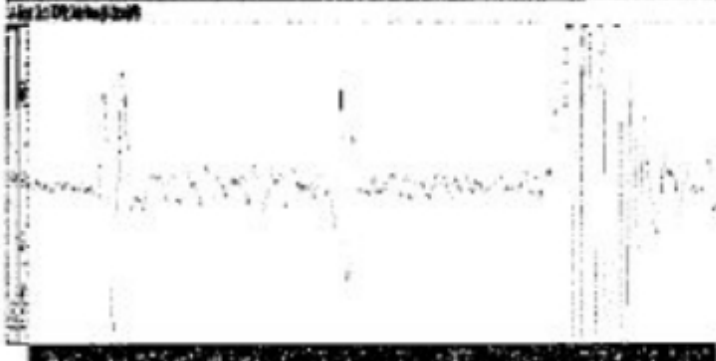
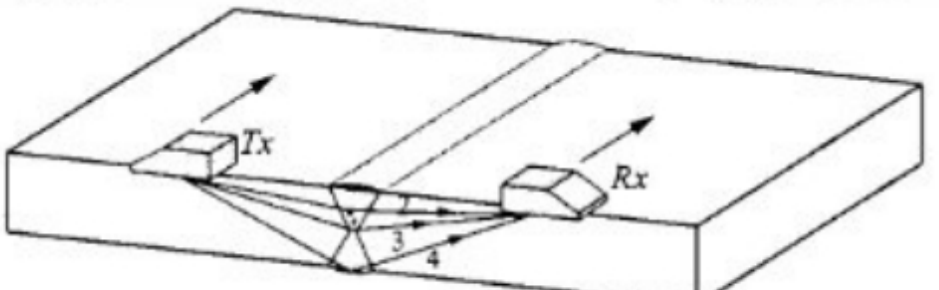
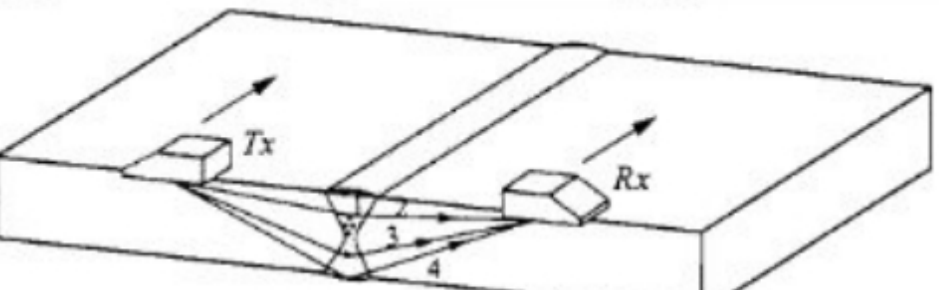
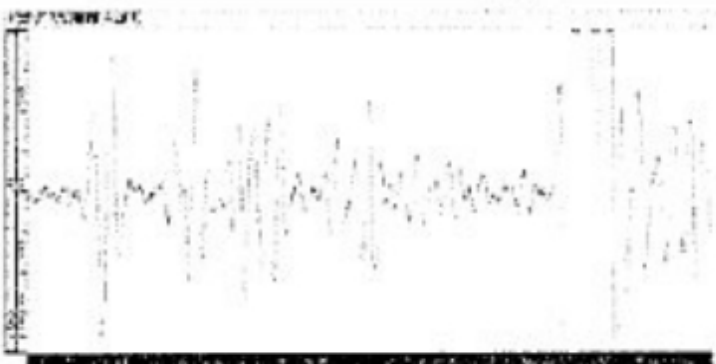
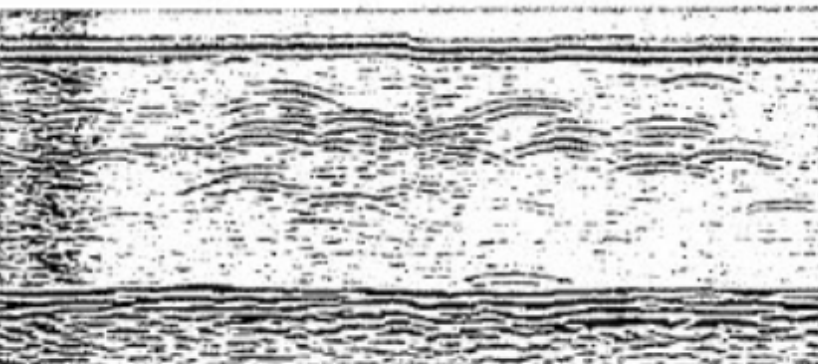
缺陷位置及性质示意图	A 扫描显示	TOFD 图像
 焊缝中部垂直于工件表面的裂纹		
 焊缝上部坡口方向的裂纹		
 焊缝中下部坡口方向裂纹		
 焊缝根部垂直于工件表面裂纹		
 焊缝上表面开口裂纹		
 焊缝下表面开口裂纹		
 焊缝中部坡口方向未熔合		

表 E.1 (续)

缺欠位置及性质示意图	A 扫描显示	TOFD 图像
 焊缝下部坡口方向未熔合		
 焊缝上部平行于表面层间未熔合		
 焊缝下部平行于表面层间未熔合		
 焊缝中部未焊透		
 焊缝中部条状夹渣		
 分散单个气孔		
 密集气孔 1		
 密集气孔 2		

附录 F
(资料性)

焊缝衍射时差法超声检测报告格式

焊缝衍射时差法超声检测报告格式见表 F.1。

表 F.1 焊缝衍射时差法超声检测报告格式

报告编号：

委托单位					工程名称						
样品名称				检测部位				焊缝编号			
材料/规格				坡口形式				焊接方法			
热处理状态				表面状态				检测时机			
焊缝宽度				检测区域				检测比例			
工件温度				试块温度				检测面			
仪器型号、编号				试块				检测灵敏度			
扫查方式				扫查速度				记录编号			
通道	探头型号	探头频率	晶片尺寸	探头角度	楔块延迟	时间窗口设置		探头间距			
通道 1											
通道 2											
扫查装置				检测标准				检测等级			
合格级别				验收标准				耦合剂			
检测地点						检测日期					
焊缝检测位置及缺欠位置示意图：											
缺欠 编号	缺欠性质	缺欠位置 (mm)			缺欠尺寸 (mm)		评定结论	数据编号			
		<i>x</i>	<i>y</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>H</i>					
备注：											
检测/级别					校核/级别						

参 考 文 献

- [1] GB/T 699 优质碳素结构钢
 - [2] GB/T 700 碳素结构钢
 - [3] GB/T 713 锅炉和压力容器用钢板
 - [4] GB/T 1591 低合金高强度结构钢
 - [5] GB/T 3531 低温压力容器用钢板
 - [6] GB/T 5216 保证淬透性结构钢
 - [7] GB/T 5310 高压锅炉用无缝钢管
 - [8] GB/T 5313 厚度方向性能钢板
 - [9] GB/T 16270 高强度结构用调制钢板
 - [10] GB/T 19189 压力容器用调质高强度钢板
 - [11] GB/T 20878 不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分
 - [12] GB/T 20933 热轧钢板桩
 - [13] NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
-

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
水电水利工程金属结构及设备焊接接头
衍射时差法超声检测

DL/T 330—2021
代替 DL/T 330—2010

*

中国电力出版社出版、印刷、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2022年3月第一版 2022年3月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 2.25印张 66千字

*

统一书号 155198·3935 定价 45.00元

版权专有 侵权必究
本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换



中国电力出版社官方微信



中国电力百科网网址



电力标准信息微信

为您提供最及时、最准确、最权威的电力标准信息



155198.3935