

衍射时差法超声检测

通用工艺规程

文件编号： 2023

受控 ☐ 非受控 ☐

分发号： _____

上海鹰扬智能科技工程

无损检测通用工艺规程	版本：** 修改号：**
	第 I 页 共 33 页
	NDE/YYKJ-
主题：衍射时差法超声检测	

目 录

1	
2	引用标准、标准1
3	
4	
5	
6	
7	
8	
8.1	
8.2	
8.3	
8.4	
8.5	
8.6	
8.7	
8.8	
8.9	
8.11	
8.12	
9	
9.1	
9.2	
9.3	

无损检测通用工艺规程	版本：** 修改号：**
	第 I 页 共 33 页
	NDE/YYKJ-
主题：衍射时差法超声检测	

9.4

9.5

10	编制专用检测	
工艺卡.....		26
11	检测流程	21
12	检测记录、报告	
和资料存档.....		21
附件 3 TOFD 检测返修通知单.....		37
附件 4 衍射时差法超声检测记录		39

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 1 页 共 33 页
主题：衍射时差法超声检测	NDE/YYKJ-GYGC05

1 编制的目的和适用范围

为了保证本公司检测工作质量，供给准确牢靠的检测数据，特制定本通用规程，本规程对衍射时差法超声检测〔 TOFD〕中各环节质量掌握要求作出了规定。本通用规程适用于以下焊接接头的 TOFD 检测。

- 1.1 材料为碳素钢或低合金钢；
- 1.2 全焊透构造型式的对接接头；
- 1.3 工件厚度 t：12mm ≤t≤100mm〔不包括焊缝余高，焊缝两侧母材厚度不同时，取薄侧厚度值〕。
- 1.4 与承压设备有关的支撑件和构造件的衍射时差法超声检测，可参照本规程使用；对于其他细晶各向同性和低声衰减材料，也可参照本规程使用，但要考虑声速衰减。
- 1.5 对于非特种设备的 TOFD 检测，参照本作业指导书执行。

2 引用标准、标准、文件

- 2.1 《承压设备无损检测》JB/T 4730.1 ~ 5 -2023
- 2.2 《承压设备无损检测》第10局部：衍射时差法超声检测B/T47013.10
- 2.3 《固定式压力容器安全技术监察规程》TSGR0004-2023
- 2.4 《钢制球形储罐》 GB12337-2023
- 2.5 无损检测 术语 超声检测〔ISO5577:2023〕GB/T12604.1
- 2.6 上海鹰扬智能科技工程 质量治理体系文件

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 2 页 共 33 页
主题：衍射时差法超声检测	NDE/YYKJ-GYGC0

1 术语定义

GB/T 12604.1、JB/T 4730.1、NB/T47013.10、本公司的《质量治理手册》、《质量治理体系文件》界定的以及以下术语和定义适用于本通用检测规程。

- 1.1 对接接头：焊接中两件外表构成 $\geq 135^{\circ}$ ， $\leq 180^{\circ}$ 夹角的焊接接头。
- 1.2 比照试块：指按规定加工含有标准人工反射体用于 TOFD 检测校准的试块。
- 1.3 模拟试块：指按规定加工含有自然缺陷用于对 TOFD 检测工艺进展验证试验的试块。
- 1.4 相关显示：由缺陷引起的显示为。
- 1.5 非相关显示：由工件构造〔例如焊缝余高或根部〕或者材料冶金构造的偏差〔例如铁素体基材和奥氏体掩盖层的界面〕引起的显示。

2 检测人员要求

- 2.1 从事 TOFD 检测的人员应当依据相关安全技术标准要求，获得特种设备无损检测人员超声波检测 TOFD 专项资格，方可从事相应资格等级规定的检测工作，并负相应的技术责任。
- 2.2 TOFD 检测人员应生疏国家、行业、本公司的有关标准、标准和规章，具有实际检测阅历并把握肯定的锅炉、压力容器、压力管道构造及制造根底学问。
- 2.3 TOFD 检测报告、检测方案等技术文件的编制、审核、批准、签发人员应按本公司质量治理体系文件要求执行。

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 3 页 共 33 页
主题：衍射时差法超声检测	NDE/YYKJ-GYGC05

1 检测设备、器材和材料

所使用的 TOFD 检测设备、器材和材料应能满足 NB/T47013.10 的要求。

1.1 仪器

使用中科创 HS810e TOFD 仪器。

1.2 探头、楔块

1.2.1 应满足 NB/T47013.10 标准的 8.2 条规定的要求。

1.2.2 探头推举性选择和设置见表 5-1

表 5-1 探头推举性选择和设置

工件厚度 (mm]	检测分区数 或扫查次数	深度范围 (mm]	标称频率 (MHz)	声束角度 α ($^{\circ}$)	晶片直径 (mm)
12 ~ 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

1.3 扫查装置

1.3.1 探头夹持局部能调整和设置探头中心间距，在扫查时保持探头中心间距和相对角度不变。

1.3.2 导向局部应能在扫查时使探头运动轨迹与拟扫查线保持不变。

1.3.3 驱动局部可以承受马达或人工驱动。

1.3.4 扫查装置应安装位置传感器，其位置区分率应符合工艺要求。

1.3.5 扫查速度和位置区分率应符合工艺要求。

1.3.6 扫查装置的导向磁性轮要吸附性强，能保证扫查装置沿特定轨迹扫查。

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 4 页 共 33 页
主题：衍射时差法超声检测	NDE/YYKJ-GYGC05

1.1 试块

1.1.1 比照试块

1.1.1.1 比照试块中的反射体的外形、尺寸、位置、数量应符合 NB/T47013.10 附录 B 的规定。

1.1.1.2 承受下表 5-2 所列平面比照试块进展检测校准：

表 501-2 平面比照试块规格及适用范围

序号	比照试块厚度(mm]	规格(mm]	适用工件厚度(mm]
1	T15	150×95×15	12 ~ 16
2	T21	150×95×21	16 ~ 23
3	T30	150×115×30	23 ~ 33
4	T43	200×130×43	33 ~ 48
5	T62	250×140×62	48 ~ 68
6	T88	300×160×88	68 ~ 97
7	T122	400×180×122	97 ~ 100

1.1.1.3 检测曲面工件的纵缝时，假设检测面曲率半径小于 150mm 时，应承受曲率半径为0.9 ~ 1.5 倍的曲面比照试块；当曲率半径等于或大于150mm 时，可以承受平面比照试块。

1.1.2 模拟试块

1.1.2.1 承受下表 5-3 所列模拟试块对检测工艺进展验证试验。

表 5-3 模拟试块规格及适用范围

序号	模拟试块厚度(mm]	规格(mm]	适用工件厚度(mm]
1	T15	600×400×15	12 ~ 16
2	T21	600×400×21	16 ~ 23
3	T30	600×400×30	23 ~ 33

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 5 页 共 33 页
	NDE/YYKJ-GYGC05
主题：衍射时差法超声检测	

4	T40	600×400×40	31 ~ 44
5	T44	600×400×44	34 ~ 48
6	T60	600×400×60	46 ~ 66
7	T80	600×400×80	62 ~ 88
8	T100	600×400×100	77 ~ 100

1.1.1.1 模拟试块中的缺陷类型应为工件中易消灭的典型焊接缺陷，缺陷性质有裂纹、未熔合、气孔、夹渣、未焊透等。缺陷一般应平行于熔合线，假设被检工件具有横向裂纹倾向时还应在模拟试块中增加横向模拟缺陷。

1.1.1.2 模拟试块中的缺陷位置应具有代表性，至少应包含上外表、下外表和内部。假设模拟试块可倒置，则可用一个外表缺陷同时代表上、下外表。

1.1.1.3 模拟缺陷的尺寸一般应不大于 NB/T47013.10 焊缝质量分级中 II 级规定的最大允许缺陷尺寸。

1.1.2 专用试块

承受下表 5-4 所列专用试块对外表盲区及横向裂纹进展实际测定。

表 5-4 专用试块规格

序号	专用试块厚度mm	规格 mm
1	T40	360×200×40
2	T60	540×240×60

1.2 耦合剂

选用水、机油、甘油等，应留意实际检测用的耦合剂应与检测校准时的耦合剂一样。

1.3 其它

仪器附件、耦合剂施加装置等。

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 6 页 共 33 页
主题：衍射时差法超声检测	NDE/YYKJ-GYGC05

1 检测外表要求

- 1.1 检测部位外表外观的外形尺寸符合有关标准要求和设计图纸规定。
- 1.2 探头移动区应去除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质。检测外表应平坦，便于探头的扫查，外表粗糙度 Ra 值应不低于 $6.3\mu\text{m}$ ，一般应进展打磨。
- 1.3 保存余高的焊缝，假设焊缝外表有咬边、较大的隆起和凹陷等应进展适当的修磨，并作圆滑过渡以免影响检测结果的评定；要求去除余高的焊缝，应将余高打磨到与邻近母材平齐，当扫查方式为平行扫查时，一般应要求去除余高。
- 1.4 检测前应在工件扫查面上予以标记，标记内容至少包括扫查起始点、分段扫查长度〔一般为 1m 或 2m〕、扫查方向；如有可能推举在母材上距焊缝中心线规定的距离处画出一条线，作为扫查装置运动的参考。
- 1.5 假设需安装导向装置，应保证导向装置与拟扫查路径的对准误差不超过 10%PCS。

2 检测时机

- 2.1 受检工件应经外形尺寸和外观质量检查合格后，才能进展无损检测。
- 2.2 特别条件下的焊接接头及有延迟裂纹倾向的材料应在焊接完成后 24 小时或 36 小时。后进展无损检测。还应考虑热处理状态。

3 TOFD 检测技术工艺

3.1 TOFD 检测根本程序

- 3.1.1 原始资料查阅，了解被检工件的相关技术参数和检测要求；
- 3.1.2 编制检测工艺；

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 7 页 共 33 页
主题：衍射时差法超声检测	NDE/YYKJ-GYGC05

- 1.1.1 人员、设备、试块预备；
- 1.1.2 检测预备，确定检测区域、探头选择和设置、扫查方式的选择、扫查面预备；
- 1.1.3 检测系统设置和校准〔设置：A 扫时间窗口、灵敏度，校准及测试：-12dB 集中角、盲区、深度、编码器〕；
- 1.1.4 实施 TOFD 检测，依据所编制的检测工艺进展；
- 1.1.5 数据分析和解释；
- 1.1.6 缺陷评定与验收；
- 1.1.7 发放检测报告；
- 1.2 检测前预备
- 1.2.1 检测前，应依据本通用检测规程并结合被检工件状况编制 TOFD 专用检测工艺，其至少应包括以下内容：
- a〕被检工件状况；

b〕检测设备器材；

c) 检测预备：包括确定检测区域、探头选取和设置、扫查方式的选择、扫查面预备等；

d) 外表盲区及其补充检测方法； e〕

横向缺陷的补充检测方法〔必要时〕； f

〕检测系统设置和校准；

g〕检测； h

〕数据分析和解释；

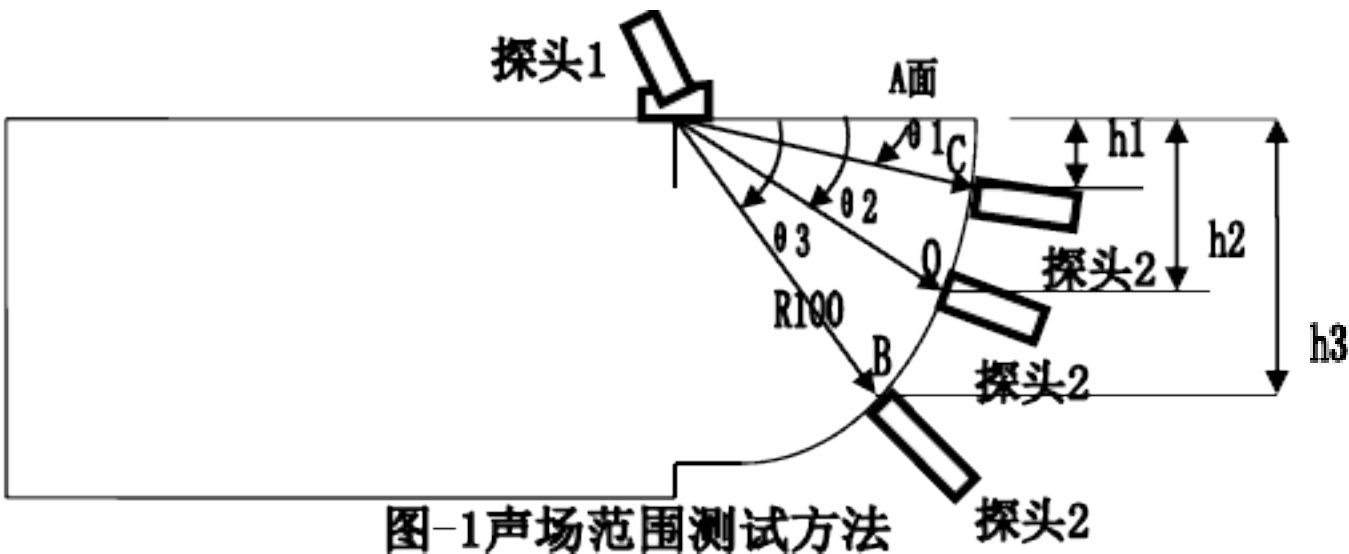
无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 8 页 共 33 页
主题：衍射时差法超声检测	NDE/YYKJ-GYGC05

- i) 缺陷评定与验收。
- 1.3.1 按 TOFD 检测专用工艺进展的验证试验结果应确保能够清楚的显示和测量模拟试块中的模拟缺陷，且所测量的模拟缺陷尺寸应尽量接近其实际尺寸。
- 1.4 外表盲区确定**
- 1.4.1 承受非平行和偏置非平行扫查时，TOFD 检测均存在扫查面盲区和底面盲区。
- 1.4.2 TOFD 检测前，应依据探头设置及所选择的扫查方式通过试验测定其扫查面外表盲区高度，并在专用检测工艺中注明。
- 1.4.3 底面盲区可以用椭圆方程式大致推断，也可承受 5.4 条规定的试块进展实测，并在专用检测工艺中注明。
- 1.4.4 对于外表盲区应承受超声波、磁粉、渗透检测方法进展补充。且补充的检测方法应有试验支持，具体通过检测工艺试验的报告结果确定**并在专用检测工艺中注明**
- 1.5 横向缺陷**
- 1.5.1 当承受非平行扫查或偏置非平行扫查时，TOFD 检测对焊缝及热影响区中的横向缺陷检出率均较低。
- 1.5.2 当需要检测横向缺陷时，应实行其他有效的检测方法进展补充，如依据 JB/T 4730.3 中 B 级检测的规定进展横向缺陷的超声检测或承受使超声波声束与焊缝横截面形成肯定倾角进展的 TOFD 特别扫查方式等，具体通过模拟检测工艺试验的报告结果确定，**并在专用检测工艺中注明。**
- 1.6 探头-12dB 声场测试**
- 每次作业前，应对所选择的探头进展-12dB 声场进展测试，确定深度掩盖和底部

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 9 页 共 33 页
主题：衍射时差法超声检测	NDE/YYKJ-GYGC05

宽度掩盖范围，一般在 CSK- I A 试块上的 R100 的弧上进展。

1.6.1 方法：是利用TOFD 探头一收一发模式测定，一个探头带角度楔块，一个探头不带楔块，将带角度楔块的探头以主声速角度与试块圆弧面切线位置放置，将不带楔块探头作为接收信号在圆弧面上找到最高波，并将当量调整到 80%波高，此时移动不带楔块探头沿圆弧面前后移动，分别找到上集中角和下集中角两个 20%波高位置，分别测量探头 2 中心到试块外表〔A 面〕的h1、h2、h3 值，并通过三角计算测得实际集中角度。见图-1。



1.6.2 -12dB 声场集中角计算公式：

$$\theta=90^{\circ}-\arcsinh/R$$

式中：θ——集中角度，

h——探头 2 中心点到探头 1 扫查面距离〔mm〕，

R——声称距离(100mm)。

1.7 与其他无损检测方法的综合应用

如有必要，在承受 TOFD 检测的同时，可综合应用其他无损检测方法，如对于内部缺陷检测可依据 JB/T4730.2〔射线检测〕或 JB/T4730.3〔超声检测〕，对于外表缺陷

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 10 页 共 33 页
主题：衍射时差法超声检测	NDE/YYKJ-GYGC05

检测可依据 JB/T4730.4〔磁粉检测〕、JB/T4730.5〔渗透检测〕。

1.8 现场条件要求

1.8.1 工件状况要求:

检测前，了解施工方供给的被检测工件设计要求、焊缝验收标准、检测比例、焊接工艺、坡口形式、规格、材质等状况。

1.8.2 环境温度要求

1.8.2.1 应确保在规定的温度范围内进展检测。

1.8.2.2 假设温度过低或过高，应实行有效措施避开。假设无法避开，应评价其对检测结果的影响。

1.8.2.3 检测校准与实际检测间的温度差应掌握在 20℃ 内。

1.8.2.4 承受常规探头和耦合剂时，工件的外表温度范围为 0℃ ~ 50℃ 之内。超出该温度范围，可承受特别探头或耦合剂，但应在实际检测温度下的比照试块上进展设置和校准。

1.8.3 环境、安全、电气设备噪声要求

1.8.3.1 应确保检测环境安全，尽量在没有噪声和干扰源的状况下进展检测。有利于检测顺当进展和现、场检测分析。

1.8.3.2 有焊接进展时，不能进展检测，易干扰检测结果和判定。

1.8.3.3 有噪声和干扰源的状况下,进展检测时不能用现场电源，应使用蓄电池。

1.9 检测预备

1.9.1 检测区域确实定：

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 11 页 共 33 页
	NDE/YYKJ-GYGC05
主题：衍射时差法超声检测	

1.1.1.1 检测区域由高度和宽度表征。见图-2。

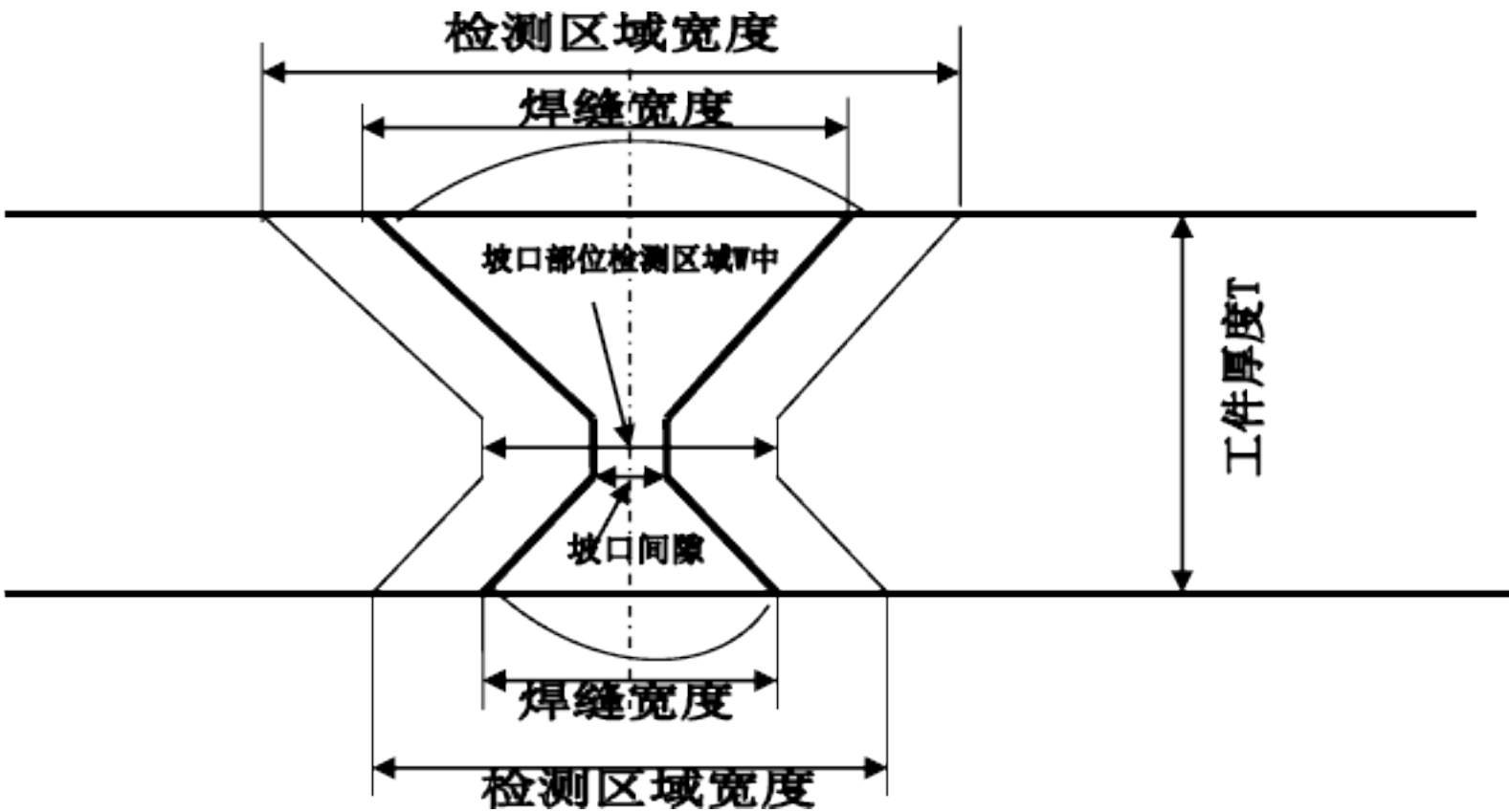


图-2检测区域

1.1.1.2 检测区域高度为工件厚度。

1.1.1.3 检测区域宽度

a) 假设焊缝实际热影响区经过测量并记录，检测区域宽度为两侧实际热影响区各加上6mm的范围。b)

假设未知焊缝实际热影响区，检测区域宽度为焊缝本身再加上焊缝熔合线两侧各10mm的范围。

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 12 页 共 33 页
	NDE/YYKJ-GYGC05
主题：衍射时差法超声检测	

c) 假设对已觉察缺陷的部位进展复检或已确定的重点部位，检测区域可缩减至相应部位。

1.9.1.1 TOFD 检测应掩盖整个检测区域。假设不能掩盖，应增加关心检测，如对有余高的焊接接头，余高局部应按本公司的磁粉检测通用工艺关心检测。

1.9.1.2 检测区域的高度和宽度以及关心检测所掩盖的区域，应在专用检测工艺中注明。

1.9.2 探头选取和设置

1.9.2.1 探头选取包括探头频率、角度、晶片大小，探头设置应确保对检测区域的掩盖和获得最正确的检测效果。

1.9.2.2 一般选择宽角度纵波斜探头，每一组对探头频率一样，声束角度宜同，晶片尺寸一样。

1.9.2.3 当工件厚度小于或等于 50mm 时，可承受一组探头对检测；

1.9.2.4 当工件厚度大于 50mm 时，应在厚度方向分成假设干区域承受不同设置的探头对进展检测。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，承受不同的探头设置进展屡次扫查。两种状况下，探头声束在所检测区域高度范围内相对声束轴线的声压幅值下降均不应超过 12dB(声束在深度方向至少掩盖相邻分区在壁厚方向上高度的 25%)。同时，检测工件底面的探头声束与底面法线间夹角不应小于 40°。

1.9.2.5 探头设置应通过试验优化，在检测设置和校准时可承受比照试块调整，在对工件的扫查中可通过检测效果验证。

1.9.2.6 假设缺陷的大致位置或仅检测可能产生缺陷的部位，可选择适宜的探头型式〔如聚焦探头〕或探头参数〔如频率、晶片直径〕，将 PCS 设置为使探头对的声束交

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 13 页 共 33 页
主题：衍射时差法超声检测	NDE/YYKJ-GYGC0

点为缺陷部位或可能产生缺陷的部位，且声束角度 $\alpha=55\sim60^{\circ}$ 。

1.9.2.7 检测前应测量探头前沿、超声波在楔块中传播的时间和按-12dB 法测定各探头对的声束宽度，并在检测工艺中注明。探头推举性选择和设置参照表 501-1 确定。

1.9.3 探头中心间距的设定

1.9.3.1 初始扫查时，探头中心距离设置为该探头对的声束交点位于掩盖区域的 2/3 深度处。见图-3

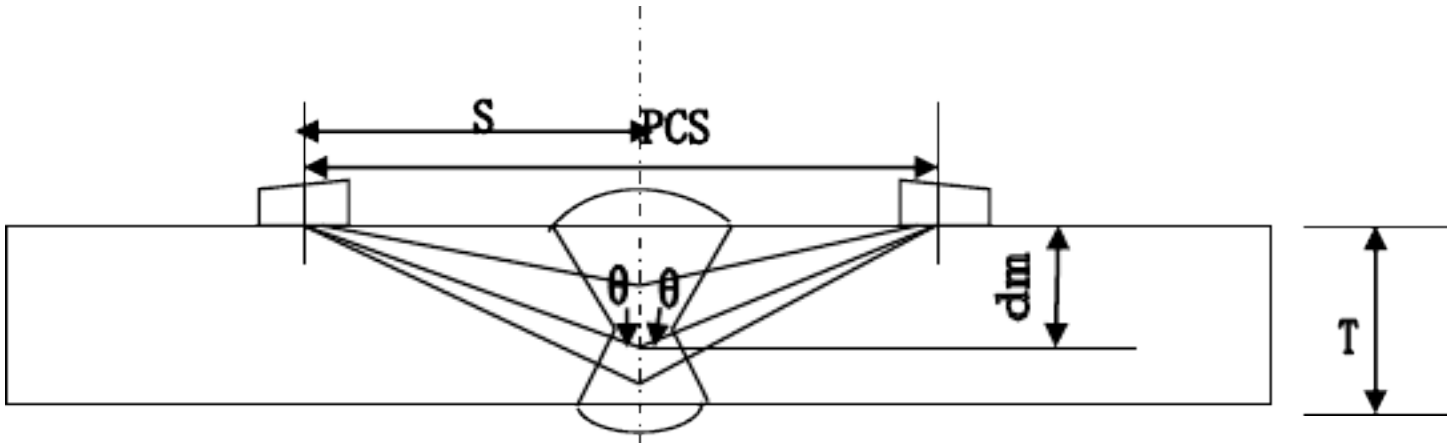


图-3探头间距计算示意图

1.9.3.2 一组对探头中心距离计算公式：

汇交点： $dm=2/3T$

两探头中心距离： $PCS=2S=2dm\cdot tg\theta$

式中：PCS----探头中心距离 mm,S----焊缝中心与探头入射点间距离 mm， θ ---
探头折射角度，T----工件厚度 mm；

1.9.3.3 二组对探头中心距离计算公式：

第一分区：0~2/5T,汇交点: $dm1=2/3\cdot 2/5T$

两探头中心距离: $PCS=2S=2\cdot dm1\cdot tg\theta$

其次分区：2/5T~T,汇交点: $dm2=2/3\cdot T〔1-2/5〕+2/5T$

两探头中心距离: $PCS=2dm2\cdot tg\theta$

无损检测通用工艺规程	版本：1 修改号：0
	第 14 页 共 33 页
	NDE/YYKJ-GYGC05
主题：衍射时差法超声检测	

1.9.3.4 对于厚度不等的工件，应以较薄侧厚度调整探头中心间距。

1.9.4 扫查方式的选择

1.9.4.1 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以及缺陷长度、缺陷自身高度的测定，可大致测定缺陷深度；见图-4

1.9.4.2 偏置非平行扫查，作为初始的扫查附加方式，主要解决底部盲区，检测时应明确此时探头对称中心相对焊缝中心的偏移方向、偏移量。检测前应依据探头对设置、实测声束宽度值和初始扫查方式，在检测工艺中注明检测掩盖区域。见图-5

1.9.4.3 平行扫查，一般针对已觉察的缺陷进展，可准确测定缺陷自身高度和缺陷深度以及缺陷相对焊缝中心线的偏移，并为缺陷定性供给更多信息。见图-6

1.9.4.4 一般针对横向缺陷承受与缺陷成肯定角度的非平行扫查，用于快速探测横向缺陷，可大致测定缺陷深度、长度、自身高度。

a)示意图如图-7 所示

