



指导性文件  
GUIDANCE NOTES  
GD 06-2011

中 国 船 级 社

# 自动超声检测（AUT）技术应用指南

GUIDELINES FOR APPLICATION OF AUTOMATED  
ULTRASONIC TESTING (AUT) TECHNIQUES

2011

北 京  
Beijing

## 出版说明

随着我国造船业的发展，船舶焊接质量越来越为大家所重视。由于焊缝质量是保证船舶安全航行的重要因素，所以在目前船舶快速建造过程中，焊缝质量的检验尤为重要，需要在保证焊缝缺陷的检测效率和检出率方面特别予以注意。

本指南是中国船级社在总结近年来大量运用传统的超声检测技术对船舶焊缝检验的基础上，研究国内外标准，系统完成了从试块设计、工艺开发、检测试验到现场检测等一系列开发和研究工作，专门针对船舶和海洋工程中管道或管状构件焊接质量检测的需要而编制的。

本指南涉及AUT系统的基本要求和检测设备、对比试块的选取及试块人工反射体的设计、系统调试、AUT现场检测流程和验收标准等。本指南规定了AUT缺陷显示及AUT缺陷评定的要求和方法，以及一般验收原则，并且对如何在带状图中定量缺陷和返修焊缝所采用的验收准则进行了相应的叙述。

本指南可供船厂、锅炉压力容器制造厂、设计院和检验部门的人员参考使用。



中国船级社

# 目 录

第1章	总则.....	1
第1节	通则.....	1
第2节	术语和定义.....	2
第2章	超声设备.....	4
第1节	一般规定.....	4
第2节	检测设备.....	4
第3章	对比试块.....	6
第1节	一般规定.....	6
第2节	对比试块设计.....	6
第4章	系统调试.....	9
第1节	系统设置.....	9
第2节	动态调试.....	12
第5章	现场检测.....	13
第1节	现场检测要求.....	13
第2节	系统复验.....	14
第6章	验收标准.....	16
第1节	缺陷显示分类及评定.....	16
第2节	验收标准.....	17
第7章	报告和存档.....	18
第1节	检测记录及报告.....	18
第2节	报告存档.....	18
附录A	试块上人工反射体.....	19
附录B	试块与支架、导带的安装.....	21
附录C	编码器校准步骤.....	22
附录D	坡口检测工艺设计与案例.....	23
附录E	钢管中声速的测定.....	26

# 第1章 总 则

## 第1节 通 则

### 1.1.1 目的

1.1.1.1 为了保证船舶、海洋工程管道或管状构件焊接质量，制定本指南，为施工单位选用全自动超声波检测技术进行管道环向对接焊缝检测提供参考。

### 1.1.2 适用范围

1.1.2.1 本指南适用于利用多通道、声聚焦、分区扫查的全自动超声波检测系统对壁厚为6mm~50mm的钢质管道环向对接接头的检测与验收。

1.1.2.2 本指南适用于管径大于等于150mm的钢质管道环向对接接头的检测。若能达到分区之间的扫查即不遗漏检测部位又不产生相互信号干扰的分区要求，则可用于其它的厚度和管径。

1.1.2.3 本指南适用于钢质管道检测，如遇不锈钢材料，需进行试验验证，应提交相应检测工艺，由CCS认可。

1.1.2.4 本指南适用的船舶与海工结构中的管道环焊缝的焊接坡口应符合焊接工艺的要求。通常应使用机开坡口及自动焊技术。若使用其他方法，需报CCS认可。

### 1.1.3 检测人员

1.1.3.1 检测人员必须取得CCS颁发的超声波无损检测资格证书，并同时满足本节1.1.3.2条款的要求，方可从事全自动超声波检测工作。获得II级及以上资格证书人员进行检测并签发报告，I级人员仅做检测的辅助工作；检测人员职责按照《CCS无损检测人员资格认证规范》I、II级人员技术职责执行。

1.1.3.2 从事全自动超声波检测的人员应进行设备性能、调试及评定等培训，并经理论和实际考试合格。检测结果的判读与评定，须经过专门的数据判读培训和考试，考试合格方可从事数据判读与评定工作。

1.1.3.3 色盲者不应从事AUT检测工作。

## 1.1.4 审核人员

1.1.4.1 审核人员必须取得CCS颁发的超声波无损检测Ⅲ级资格证书。并同时经过1.1.3.2中提到的全自动超声波检测培训和数据判读培训，且考试合格。审核人员职责按照《CCS无损检测人员资格认证规范》Ⅲ级人员技术职责执行。

## 第2节 术语和定义

### 1.2.1 本指南所涉及的名词术语

1.2.1.1 AUT Automated Ultrasonic Testing系指全自动超声波检测

1.2.1.2 对比试块 Calibration block系指采用与被检材料特性相同或相近的材料制成，或直接从管道截取，依据焊缝厚度和坡口形式制作，用于调整系统基准灵敏度、校验系统性能的试样。

1.2.1.3 超声波衍射时差法(TOFD)Time of Flight Diffraction 是一种依靠从被检工件内部结构（主要指缺欠）的“端角”和“端点”衍射的低幅度纵波来检测、定量和定位反射体的一种方法。

1.2.1.4 直通波Lateral wave是TOFD技术中特有的一种波型，在材料表面下以最短路径传播的纵波信号。

1.2.1.5 底面反射波 Back wall echo系指TOFD技术中从材料底面反射的纵波信号。

1.2.1.6 缺欠 Imperfection指无损检测方法检出材料的不连续。

1.2.1.7 缺陷 Defect指达到合同双方约定的判废标准的缺欠。

1.2.1.8 闸门 gate指用于监视一定距离或者时间范围内所出现的信号的位置或者幅度而设置的与监视范围对应的给定电平值。

1.2.1.9 双闸门 dual-gate指波幅闸门和时间闸门。分别用于监视闸门范围内信号的幅度和出现的位置。

1.2.1.10 CRC坡口 CRC Bevel 系指CRC—Evans 公司的全自动焊机进行管道环焊缝焊接时所使用的双面V型复合坡口。

1.2.1.11 分区扫查 Zonal Discrimination是根据焊缝壁厚、坡口型式等将焊缝在垂直方向上分成若干区域。每个区域都由一组独立的晶片(或探头)按照一定角度，将聚焦声束投射到此区域进行检测的方法。

1.2.1.12 带状图 Strip Charts显示焊缝不同分区检测结果的扫描图。通常设定不同颜色的色块表示幅度闸门内信号的幅值范围，信号最大幅值以包络线显示；色块的高度对应时间闸门内信号出现的位置。

1.2.1.13 熔合区 Fusion-Zone 是指坡口熔合线附近的区域。

1.2.1.14 渡越时间 Time of flight 是指超声波经过一定路径传播所经历的时间。

CCS

## 第2章 超声设备

### 第1节 一般规定

#### 2.1.1 一般要求

2.1.1.1 选用的超声系统必须通过认证才可以接受。即在验船师监督下，检测系统可检测出校验试块中的全部缺陷，证实系统和工艺情况良好。

2.1.1.2 超声系统可以使用脉冲回波技术、TOFD技术等，且系统须有一套显示缺陷位置和声耦合完整性的全自动记录系统。系统应对沿壁厚方向垂直于焊缝的截面进行分区设置，分区高度一般不超过3mm。如经许可，厚壁焊缝的分区高度可以大于3mm。

2.1.1.3 超声系统可用于检测返修焊缝，具体如下：

(1) 凡坡口形状超出一定的误差范围且该自动超声系统没有设置相应的返修焊缝扫查工艺，则可用手工超声检测来支持自动超声检测。

(2) 若使用自动设备使返修焊缝坡口的几何形状在返修区段能保持一致，且系统具有相应的返修焊缝扫查工艺，则可使用全自动超声检测系统。

2.1.1.4 如果有特殊的要求，超声系统须包含探测横向缺陷的模块。

### 第2节 检测设备

#### 2.2.1 超声系统

2.2.1.1 全自动超声设备应包括超声电子系统、电动扫查器系统、水耦合系统和软件系统等。超声系统应能提供足够数量的检测通道，保证对整个焊缝厚度上的所有分区进行全面扫查。

2.2.1.2 仪器的线性应每6个月按公认的标准规定校验一次。垂直线性误差应小于或等于满幅度的5%，水平线性误差应小于或等于满刻度的1%。闸门的位置和宽度及高度连续可调。

#### 2.2.2 记录系统

2.2.2.1 应采用编码器记录探头环向扫查位置，并配置校正系统，保证记录中显示的圆周距离与管道外表面标记的位置一致，其精度在焊缝周长上的范围为 $\pm 10\text{mm}$ 。

2.2.2.2 系统每2mm焊缝长度，至少有一组记录信号输出。

2.2.2.3 焊缝扫查记录应采用带状图方式显示，可用B扫描或其它图形显示方式显示体积型缺陷的检测结果，可增加TOFD通道对缺陷进行辅助定性和测量尺寸。TOFD技术可作为脉冲反射技术的补充，但不能取代脉冲反射技术。焊缝扫查记录图上应有良好的声耦合显示。

2.2.2.4 采用TOFD技术时，具有至少256级灰度的分辨能力并记录信号的射频波形。

### 2.2.3 探头

2.2.3.1 大多数情况下，要求采用接触式聚焦探头，以避免由相邻的几何反射体造成的干扰信号以及相邻检测波束的过度重叠。

2.2.3.2 探头应标示出制造厂厂家的名称、探头类型、频率及晶片尺寸、入射点、声束入射角或折射角等，并应符合检测技术要求。

2.2.3.3 探头阵列应根据被检测管壁厚度及坡口型式等特征，进行具体设计。

2.2.2.4 探头楔块表面应与检测面相吻合，必要时进行打磨。

### 2.2.4 耦合剂

2.2.4.1 应选用液体作为耦合剂，耦合剂应有较好的透声性和流动性，对材料、人体及环境应无损害，且便于清理或蒸发后无残留物。

2.2.4.2 典型的耦合剂为水，外界温度低于0℃(32°F)时可采用甲醇水溶液或类似介质。

2.2.4.3 调节仪器和实施检测时应采用同一种耦合剂。

## 第3章 对比试块

### 第1节 一般规定

#### 3.1.1 规格

3.1.1.1 全自动超声波检测对比试块用的材料应符合下列要求：

(1) 试块材料的材质晶粒度应均匀，内部无杂质。超声波检测时无任何影响使用的缺陷信号。

(2) 超声波在试块材料中的声衰减系数应与被检工件相同或相似。在将第一次背面反射的幅度调到荧光屏满刻度90%的情况下，相同厚度的平板试块材料与被检验材料的前三次背面反射幅度之和，其差应在 $\pm 25\%$ 范围以内。

(3) 试块应采用与被检工件声速相同或接近的材料，两者声速的差异不大于 $\pm 1\%$ 。

(4) 用于制造试块的材料应与被检工件具有相同的几何特征（即壁厚、曲率）。推荐使用同厂、同批次的工件试样并注意材料的轧制方向，或从现场的被检工件上截取。制作试块的材料要求表面光滑、无锈蚀、无波浪磨耗，无剥落掉块、擦伤、鱼鳞伤、凹凸不平等。

(5) 采用超声纵波直射技术检测时，缺陷回波波幅不应大于 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔回波波幅的 $1/4$ 。

### 第2节 对比试块设计

#### 3.2.1 设计依据

3.2.1.1 对比试块上人工反射体的类型、角度和深度的设计依据被检工件的壁厚、焊缝坡口类型和坡口尺寸而定，如图3.2.1.1所示。

试块设计时从根部开始，沿坡口依次向上，双侧对称设计。人工反射体分布应该为：根部人工反射体、钝边区人工反射体、热焊区人工反射体、填充区人工反射体、盖面槽、体积通道人工反射体、中心通孔或槽。如检测标准有要求，还可以加入附加人工反射体（横向槽、TOFD验证槽）。具体的人工反射体设置如附录A所示。

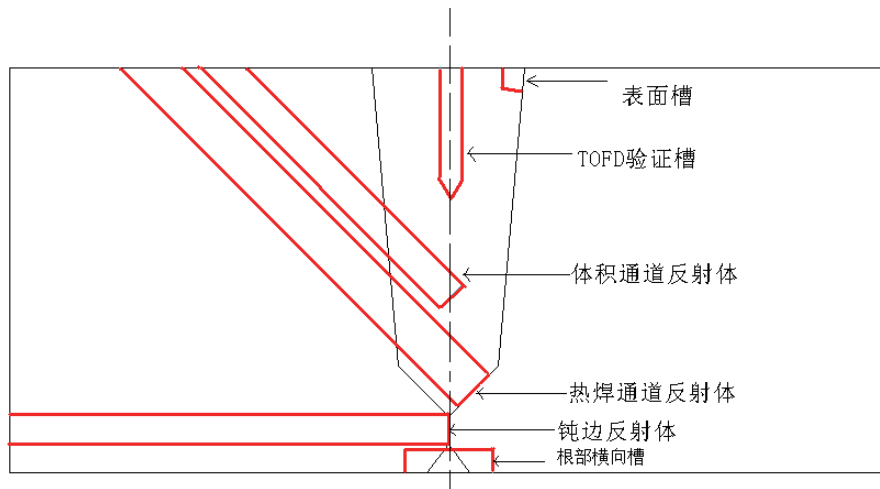


图3.2.1.1 焊缝坡口及人工反射体示意图

### 3.2.2 人工反射体的设计

3.2.2.1 热焊区和填充区的人工反射体通常是直径为2mm到3mm的平底孔。

3.2.2.2 模拟管道外表面的咬边或表面未熔合的反射体通常是在熔合线上应加一个1mm深，2mm宽，长为10~20mm长的方槽。

3.2.2.3 根部人工反射体应与根部坡口的角度一致。当根部垂直高度不大于2mm时，应选用垂直高度不大于1mm的方槽或尖角槽，槽长为10mm到20mm，其深度、角度和形状与所检测焊缝的根部坡口一致；当根部垂直高度大于2mm时，需增加根部人工反射体数量，即增加一个直径2mm到3mm的平底孔。

3.2.2.4 在对比试块上游和下游之间的中心线位置，制作一个直径2mm的通孔或长5mm、宽1mm的通槽，以验证设置的闸门长度足够覆盖焊缝，并保证中心线附近缺陷的可检出性。

3.2.2.5 如有要求可按下列要求在试块上附加人工反射体：

(1) 横向槽应在外表面设置长6mm、宽2mm、深度为2.5mm的方槽，在内表面设置长4mm、宽2mm、深度为1.5mm的方槽。

(2) TOFD验证槽应在外表面设置一个长10mm、宽1mm、深度为 $60\%T$ （ $T$ 为壁厚）、尖角为 $60^\circ$ 的尖角形方槽，深度为 $60\%T$ 计算出的结果向下取整数 $[N]$ 。在内表面设置一个长10mm、宽1mm、深度一般为3.5mm、尖角为 $60^\circ$ 的尖角形方槽，此深度与壁厚无关，是固定值。

(3) 体积人工反射体，体积通道是检测气孔、夹渣等体积型缺陷，其人工反射体为直径1.5mm的平底孔，角度为45°，分布在中心线上。确定其数量的原则是将壁厚除以系数8，得到的数值四舍五入取整。不论何种坡口型式，设置两个以上45°Φ1.5mm的平底孔都要遵循一个原则，即平底孔的中心线与焊缝中心线的交点要均分壁厚，间距值要向下取整数。

3.2.2.6 所有人工反射体间要有足够的横向间隔，以保证相邻反射体信号的独立性。试块上的所有反射体都对应不同的检测波束，所有的检测波束都对应有人工反射体，垂直方向上的相邻人工反射体对主反射体的信号干扰限定在一定范围内。

3.2.2.7 试块中人工反射体的允许误差应符合如下要求：

(1) 平底孔底面的平面度公差不大于0.03mm，表面粗糙度应不大于 $R_a 3.2\mu\text{m}$ 。平底孔孔径的允许公差范围为 $\pm 0.05\text{mm}$ 。平底孔角度公差范围为 $\pm 0.5^\circ$ 。

(2) 纵向槽口应与试块轴线平行，平行度公差范围为 $\pm 0.05\text{mm}$ ；横向槽口应与试块轴线垂直，垂直度公差范围为 $\pm 0.05\text{mm}$ 。槽口侧面和矩形槽底的平面度为 $\pm 0.03\text{mm}$ ，表面粗糙度应不大于 $R_a 3.2\mu\text{m}$ 。槽尺寸的公差范围为 $\pm 0.05\text{mm}$ ；矩形槽底和侧面与检测面的角度公差范围为 $\pm 0.1^\circ$ ，尖角槽的尖角角度公差范围为 $\pm 0.1^\circ$ 。

(3) 通孔和通槽与检测面的垂直度公差范围为 $\pm 0.05\text{mm}$ ，尺寸公差范围为 $\pm 0.03\text{mm}$ ，表面粗糙度应不大于 $R_a 1.6\mu\text{m}$ 。通槽的侧面的平面度为 $\pm 0.03\text{mm}$ 。

3.2.2.8 试块与支架、导轨的安装可参考附录B。

## 第4章 系统调试

### 第1节 系统设置

#### 4.1.1 焊缝参数定义

4.1.1.1 焊缝参数定义主要包括：坡口类型、分区高度、分区数量。系统设置时，应将焊接接头沿厚度方向进行分区。一般焊接接头分区如图4.1.1.1所示。

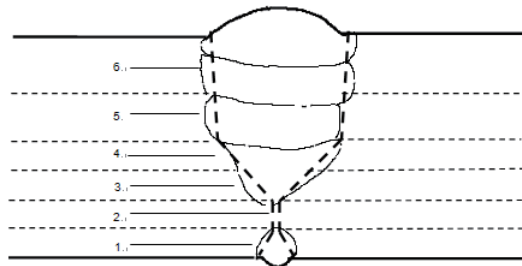


图4.1.1.1 焊接接头分区图

- |        |        |
|--------|--------|
| 1—根焊区  | 2—钝边区  |
| 3—热焊区一 | 4—热焊区二 |
| 5—填充区一 | 6—填充区二 |

#### 4.1.2 焊缝的分区

4.1.2.1 每个检测分区的高度为2mm~3mm，每个分区都由相对应的聚焦通道来检测,以避免由相邻的几何反射体所造成的干扰信号及相邻波束的过度重叠。

4.1.2.2 分区的高度和数量确定了对比试块上人工反射体的孔（平底孔和通孔）和槽（方槽、尖角槽和通槽）的尺寸（孔径和槽高）和数量。

#### 4.1.3 检测通道及波束设置

4.1.3.1 检测通道设计应满足下列要求：

(1) 按照制定好的检测分区，每一个分区应有独立的检测通道。熔合区的通道应使用专门的聚焦波束进行检测。

(2) 为了检测焊缝内部的体积型缺陷，应设置专门的体积通道。

(3) 为保证耦合的可靠性，应设置专门的耦合监控通道。耦合监控通道可采用一发一收或其他方式实现。

(4) 为了辅助检测体积型缺陷和中心线裂纹等焊缝内部缺陷，辅助缺陷的定性、定量和定位，推荐增加TOFD通道。

(5) 整个焊缝通过单面双侧的检测实现，焊缝两侧的通道设置应一致并对称于焊缝中心线。

#### 4.1.3.2 检测波束设计应符合下列要求：

##### (1) 根焊区通道

根焊区一般采用一次波检测，波束应垂直于根焊区坡口入射并在根焊区坡口位置聚焦。

##### (2) 钝边区通道

钝边区坡口角度为 $90^\circ$ ，一般采用一次波检测。检测角度建议选用 $65^\circ\sim 75^\circ$ 横波，且波束在坡口位置聚焦。

##### (3) 热焊区通道

热焊区一般采用二次波检测，波束垂直于坡口且在坡口位置聚焦。

##### (4) 填充区通道

填充区通道一般采用二次波检测，波束垂直于坡口且在坡口位置聚焦。当坡口角度较小时（ $<20^\circ$ ），应采取串列扫查方式进行检测，以增加未熔合缺陷的检出率。当最上部的填充区通道不易采用串列扫查方式进行检测时，应采取 $70^\circ$ 一次横波进行检测。

##### (5) 熔合区体积通道

体积通道应采用 $45^\circ$ 的二次波进行检测，不应使用聚焦波束。

##### (6) 根部体积通道

根部体积通道可采用 $45^\circ\sim 70^\circ$ 的一次波进行检测，不应使用聚焦波束。

##### (7) 耦合监控通道

耦合监控通道可使用一发一收方式或其他方式实现。

##### (8) TOFD通道

TOFD通道波束交点应设置在工件壁厚的 $2/3$ 处。当工件壁厚不大于 $20\text{mm}$ 时，应使用 $5\text{MHz}\sim 10\text{MHz}$ 的TOFD探头进行检测，当壁厚超过 $20\text{mm}$ 时，应使用 $5\text{MHz}$ 的TOFD探头进行检测。

#### 4.1.4 探头定位和基准灵敏度

##### 4.1.4.1 探头定位应符合如下要求：

(1) 在对比试块模拟焊缝中心线的两侧，根据人工反射体的位置，轨道上的扫查器中安装相应位置的探头，轨道安装精度控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 范围内。

(2) 移动扫查器并调节扫查器探头夹持装置相对于焊缝的距离，使探头位置对应的人工反射体信号均达到峰值，即为该探头的位置。

#### 4.1.4.2 基准灵敏度确定应符合如下要求：

调节每个通道所对应试块上的人工反射体的峰值信号，使其达到满屏高度的80%，即为该通道所对应的人工反射体的基准灵敏度。在试块上完好部位将TOFD通道的直通波调整到满幅度的40%~80%，即为TOFD探头的基准灵敏度。

#### 4.1.5 闸门及扫查参数设置

4.1.5.1 用熔合区的反射体设置熔合区闸门，闸门的起点在坡口熔合线前至少3mm，闸门终点至少超过焊接接头中心线1mm，且应考虑热影响区、壁厚、焊接方式等因素变化带来的影响。

4.1.5.2 填充区（含盖面、热焊区）体积通道闸门设置，可用熔合区的反射体调节体积通道的灵敏度并设置闸门。闸门的起点设置在坡口前至少1mm，闸门终点至少覆盖焊缝中心线对面侧熔合线；填充区的扫查灵敏度在熔合区基准灵敏度的基础上适当提高8dB~14dB，但不得影响准确评定。对厚度大于12mm的被检工件，要求使用一个以上的检测通道对填充区气孔进行检测。气孔的反射信号较未熔合缺陷的垂直方向的反射信号弱且特征不同。检测气孔和其它体积型缺陷时，建议采用专用的B扫查通道显示。扫查灵敏度通常应比基准灵敏度高8dB~14dB，但不应大到产生电噪声或几何干扰波，引起误判。

4.1.5.3 用试块上根焊区反射体来确定根焊区闸门的位置，闸门的起点在坡口前至少3mm，闸门终点应足够长，保证覆盖根焊区；该区另一侧闸门的设置与上述相同。扫查灵敏度一般在1mm高的根部槽的反射信号80%满屏高度基础上再提高8dB~14dB，但不得影响准确评定。

4.1.5.4 在试块上完好部位设置TOFD显示范围。显示范围的起点设在直通波前面，显示范围的终点应滞后底面反射波，显示范围的长度至少等于被检工件的壁厚。若检测需要，显示范围的长度可将底面变型横波包括在内。一般起点应在直通波前，通常提前约0.5~1 $\mu$ s，终点应滞后底面反射波约0.5~1 $\mu$ s，检测需要时也可将底面波型转换信号包括在内。

4.1.5.5 每个检测通道的闸门阈值通常为20%满幅高，熔合区可更高。所有超过此幅度的信号均应按经业主同意的验收标准进行评定。体积检测通道可用阈值进行评定，或按图形显示类型和时间变化测定体积性缺陷。

4.1.5.6 通道的输出信号均应在焊接接头扫查图上显示，每个反射体应在模拟焊接接头中心线两侧对称显示或用图像（B扫描、TOFD）显示。实际检测扫查记录长度应覆盖整个接头长度，并在始末端应有一定的覆盖，覆盖范围不小于20mm。

4.1.5.7 管构件的圆周扫查速度可按下式计算:

$$V_c \leq W_c \cdot PRF/3 \dots\dots\dots (4-1)$$

式中:  $V_c$  —— 圆周扫查速度 (mm/s);

$W_c$  —— 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);

$PRF$  —— 探头的有效脉冲重复频率 (Hz)。

## 第2节 动态调试

### 4.2.1 灵敏度的调试

4.2.1.1 系统参数设置后, 应使用与现场检测相同的扫查速度对比试块进行总体扫查, 并满足下列要求:

- (1) 每个反射体的峰值信号达到满幅度的70%~99%。
- (2) TOFD的直通波幅度应为满幅度的40%~80%。

### 4.2.2 显示记录的调试

4.2.2.1 扫查过程中试块上反射体的波幅达到满屏高度80%时, 其两侧临近反射体的显示波幅比主反射体显示波幅低6dB~14dB, 当未达到此值时应重新确定探头位置或替换探头重新调试。

### 4.2.3 耦合监视通道的调试

4.2.3.1 在试块上进行总体扫查时, 扫查记录上的耦合通道无耦合不良显示, 否则应重新调试。

### 4.2.4 编码器位置的调试

4.2.4.1 记录反射体间相对距离的编码位置相对于实际圆周位置的误差为±2mm, 记录反射体相对于扫查起点实际圆周距离的编码位置误差为±10mm。具体的调试步骤见附录C。

## 第5章 现场检测

### 第1节 现场检测要求

#### 5.1.1 现场检测总体要求

5.1.1.1 在现场检测期间，用于检测的超声系统的配置和检测工艺应与认证的系统 and 工艺相一致。

#### 5.1.2 焊缝表面状况

5.1.2.1 为避免表面条件影响探头的耦合和移动，需对焊缝两侧扫查区域打磨。打磨区域的尺寸按照检测设备、坡口形式和管壁厚度确定，其宽度通常不小于焊缝两侧150mm。

5.1.2.2 纵向焊缝在所要求的宽度范围内（一般为距坡口150mm范围内）需打磨平顺。管涂层则需从坡口至特定距离打磨光滑，其中，防腐层距坡口大约要150mm，水泥层应打磨300mm~400mm。

5.1.2.3 检测部门需对现场打磨区域进行核实和确认。

#### 5.1.3 焊缝标识与参考线

5.1.3.1 每条焊缝应有不同的编号标记。每条焊缝扫查起点应有明显的标识，扫查方向应由箭头表示，所标记号的位置不能干扰扫查。编号和标识的具体方法可由检测人员与业主商定。在整个检测过程中，扫查方向应尽量统一。

5.1.3.2 为现场轨道安装精确定位，焊接前应在焊缝一边的管道外表面上划出参考线。该参考线与焊缝中心线应保证一定的距离，该距离不应小于 $40\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ 。

#### 5.1.4 扫查器轨道

5.1.4.1 轨道的长度应按照待检测管线的管径制作，轨道尺寸应适应扫查器要求。

5.1.4.2 轨道安装要保证轨道的周向方向与管表面平行，其定位误差应不超过 $\pm 0.5\text{mm}$ 。大管径的管道，至少要测量六个点位置，保证所测点到焊缝中心线距离的一致性。轨道安装时，确保能够对轨道进行微调，位置调整完成后锁紧轨道。需对安装完成的轨道进行复检。

## 第2节 系统复验

### 5.2.1 灵敏度复验

5.2.1.1 在每次开始扫查前、扫查结束后以及管理方选定的时间间隔，需要利用对比试块对整个检测系统进行复验。对于每一个标准人工反射体，系统灵敏度复验时对应通道指示信号的波幅应为满屏高度的70%~99%，两侧相邻区域反射体的波幅应为主反射体的-6 dB~-14dB。TOFD通道的直通波波幅应为满屏高度的40%~80%；若校验信号超出该范围，则系统需要重新校准。

5.2.1.2 每班次检测过程中，在首次20条焊缝每条焊缝扫查结束后都应进行系统复验，其它焊缝每间隔2小时或完成10条焊缝的检测后，应利用参考试块进行复验，校验方法同5.2.1.1。对于海底管线进行检测，在每次扫查结束后都进行系统复验。若校验信号超出该范围，则系统需要重新校准，对于发现缺陷的检测结果需重新判读，若无法重新判读的，应重新检测。

5.2.1.3 AUT检测系统应对以下任意一种情况进行灵敏度校验，若不能达到系统设置要求，则应调整参数，重新进行系统校准。

- (1) 对比试样与原试样非同一试样；
- (2) 检测对象板厚发生变化；
- (3) 检测系统元器件替换；
- (4) 焊缝返修前后的检测，返修可能影响坡口形状。

### 5.2.2 圆周位置精确度校验

5.2.2.1 在项目开工之前，每月应对检测结果显示中距离标识的位置精确度进行校验。

5.2.2.2 扫查器由零位置开始扫查，该初始零位置应与对接接头零点位置重合，扫查至圆周1/4、1/2、3/4位置时，编码器所显示的圆周位置应与被检对接接头的实际位置相对应。显示圆周位置与实际位置的误差应小于10mm，否则应重新校准编码器。

5.2.2.3 每次校验结果应予以记录。

### 5.2.3 温差校验

5.2.3.1 校准试样与检测对象的温差会导致波束折射角的偏移，使波束焦点位于对应分区之外，因此实际检测过程中需要校验对比试块、检测对象的温度，其温度变化不应大于±10摄氏度。

5.2.3.2 AUT检测系统必须自带测温系统。

## 5.2.4 耦合

5.2.4.1 耦合通道设置应尽量避免焊缝根部余高的影响。通过耦合通道波束角度设置，使波束的底面反射点位于焊缝根部区域之外。

5.2.4.2 在一次扫查中，耦合监视通道所显示的耦合不良区域在圆周距离上超过了允许的最小缺陷长度，整条焊缝需重新进行检测。

5.2.4.3 水耦合扫查时应避免水流在楔块端部积聚而形成水涡流，干扰近表面分区的检测信号。

CCS

## 第6章 验收标准

### 第1节 缺陷显示及评定

本节规定了缺陷显示的一般要求，并对缺陷显示评定的一般要求及评定方法进行了规定。

#### 6.1.1 缺陷显示的一般要求

6.1.1.1 检测结果应采用带状图方式显示，可增加B扫描图等显示方式，以便于操作者能够快速判断检测的焊缝是否合格。

#### 6.1.2 缺陷显示评定的一般要求

6.1.2.1 评定缺欠显示前应确认耦合通道无不良耦合状态显示。

6.1.2.2 评定缺欠前应对焊缝几何反射信号的显示加以识别，避免误判。

6.1.2.3 可以通过B扫、TOFD显示监测根部成形不好，错边等。

6.1.2.4 TOFD作为监视信号，不作为最终判定的依据，应使用脉冲反射信号进行最终的评判。

6.1.2.5 焊缝缺欠评定和检测报告出具应在后续检测开始之前完成。

#### 6.1.3 评定方法

6.1.3.1 对缺欠显示进行评定应综合带状图、B扫描及TOFD等方法，一般应按照下列方法进行评定：

(1) 缺欠显示在带状图中，或在带状图、B扫描、TOFD通道上均有显示时，应评定带状图中大于等于满幅度40%的相关显示。

(2) 缺欠显示在B扫描、TOFD通道上有显示，而在带状图中无显示或显示的幅度小于满幅度的40%时，可追加超声或者射线的方法对其复验并按照国内相关标准测量。

6.1.3.2 在带状图中可以通过周向位置标尺迅速估计缺陷的周向位置。

6.1.3.3 在带状图中通过缺陷所处的分区来评估缺陷的深度，从受影响的分区数来估计缺陷的高度。

6.1.3.4 在带状图中缺陷在焊缝中的位置由缺陷信号的渡越时间来确定。

## 第2节 验收标准

本节规定了AUT检测后所采用的验收准则的一般原则

### 6.2.1 验收标准

6.2.1.1 验收标准由检验方和业主根据具体的要求制订或参照国内外相关验收标准执行，并报CCS认可。

6.2.1.2 按照所提供的缺欠接收准则，对焊接缺欠的指示必须要进行评估。

6.2.1.3 焊缝缺欠显示超出标准要求时，应向业主作出书面报告。



## 第7章 报告和存档

### 第1节 检测记录及报告

本节规定了检测记录资料及打印文件的内容、数据文件存储格式；对检测报告的内容、格式及出具检测报告的时间进行了规定。

#### 7.1.1 检测记录

7.1.1.1 一套完整的检测记录资料，至少应包括校准图、校准数据表、扫查图、检测报告等，并能提供所有校准扫查及每条焊缝检测数据的硬拷贝记录、电子形式的检测数据记录及焊缝质量评估记录。

7.1.1.2 应在每条焊缝检测后即刻存储数据文件。数据的存储格式应和检测时的数据格式相同，用于进行检测数据的判读。

7.1.1.3 完整检测记录的带状图打印文件上应包括参考点、扫查方向、检测日期和时间，以及操作者的姓名等。对每个通道所确定的检测区域应予以记录。拷贝还应有足够的分辨率和对比度，以便于对缺陷评定的结果进行追溯。

#### 7.1.2 检测报告

7.1.2.1 检测报告作为检测结果的永久性记录，至少应包括：工程名称、焊接接头编号、坡口形式、材质、规格、验收标准、检测人员(级别)、审核人员(级别)、检验日期、评定结论及检测单位盖章等。

7.1.2.2 检验结果应按标准的超声报告形式进行记录。

7.1.2.3 检测报告应在焊缝检测完成后及时给出，检测报告以日期或按要求为序编排以备查。

### 第2节 报告存档

本节对扫查记录存储介质及格式的选择进行了规定，对扫查记录及检测报告的保存周期及管理变更也做了进一步规定。

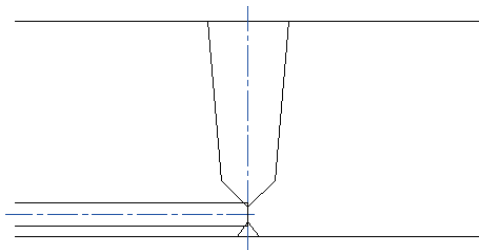
#### 7.2.1 具体要求

7.2.1.1 扫查记录(图像)应保存在光盘、磁盘等介质中。

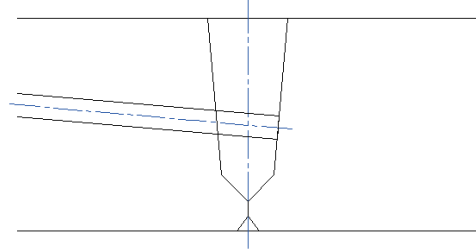
7.2.1.2 档案记录格式应满足雇主和检测公司（或甲乙）双方合同要求。

7.2.1.3 扫查记录和报告的保管及保存期应按CCS相关要求执行

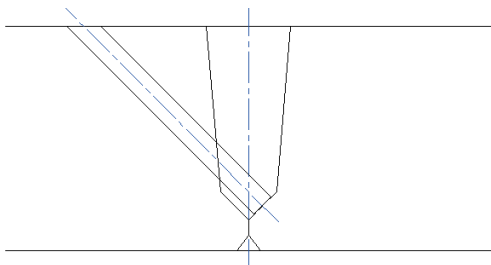
## 附录A 试块上人工反射体



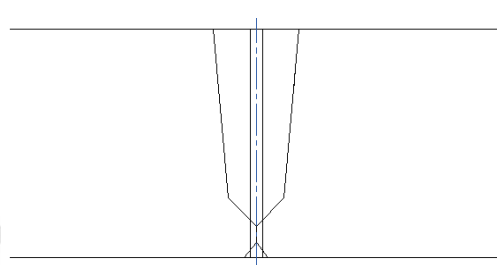
图A1 钝边处设置 $\Phi 2-\Phi 3\text{mm}$ 的平底孔



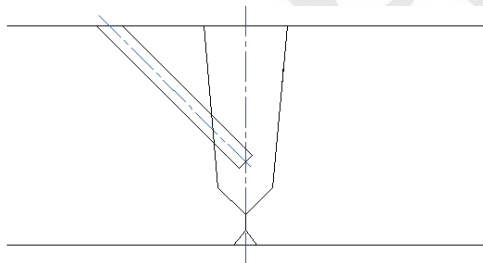
图A2 填充区设置 $\Phi 2-\Phi 3\text{mm}$ 的平底孔



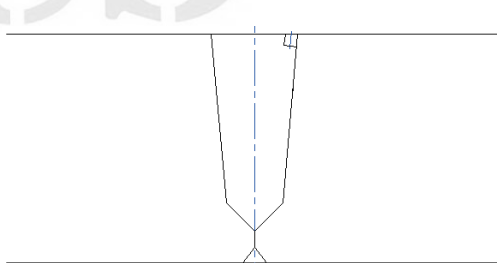
图A3 热焊区设置 $\Phi 2-\Phi 3\text{mm}$ 的平底孔



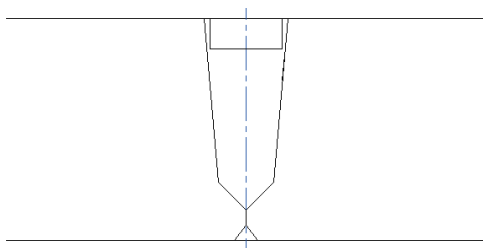
图A4 沿焊缝中心线的 $\Phi 2\text{mm}$ 通孔  
或 $5\text{mm}\times 1\text{mm}$ 通槽



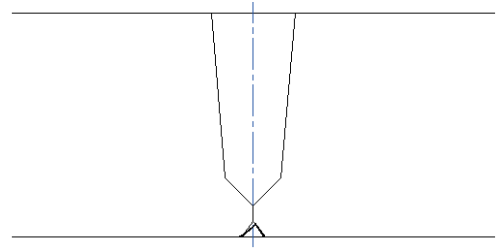
图A5 焊接中心线设置 $\Phi 1.5$ 平底孔



图A6 模拟咬边和外表面未熔的  
 $1\text{mm}\times 1\text{mm}\times 10\text{mm}$ 方槽



图A7 外表面 $6\text{mm}\times 2\text{mm}\times 2.5\text{mm}$ 横向槽



图A8 根焊区设置 $\Phi 2\text{mm}-\Phi 3\text{mm}$ 的平底孔



## 附录B 试块与支架、导带的安装

### B1.1 试块安装要求

B.1.1.1 试块支架两端留有150mm长度。支架的总宽度应大于500mm。使用支架的长度（或弧长）不小于1000mm。

B.1.1.2 试块在支架的一侧安装焊导带，焊导带内边缘距试块模拟中心线的距离应满足订货方的要求。

B.1.1.3 在固定焊导带时，试块支架上加工条孔，以便在轨道磨损后可以将轨道由焊缝模拟中心线一侧微量调动，以补偿磨损带来的误差。

B.1.1.4 导带可用螺钉固定，螺钉长度露出螺母高3mm。导带与支架之间的垫块高度为 $18\pm 0.1\text{mm}$ 。

B.1.1.5 所有缺陷引出线均应引到支架上，试块模拟中心线应在试块上明显可见。

### B1.2 导带的安装

安装导轨时，挡块高度一致，其公差为 $\pm 0.1\text{mm}$ ，保证导带与试块表面平行。并且导带边缘与焊缝中心线参考线相平行，其距离应根据业主要求进行精确定位，其精度达到 $\pm 0.5\text{mm}$ ，见图3.2.2.8。

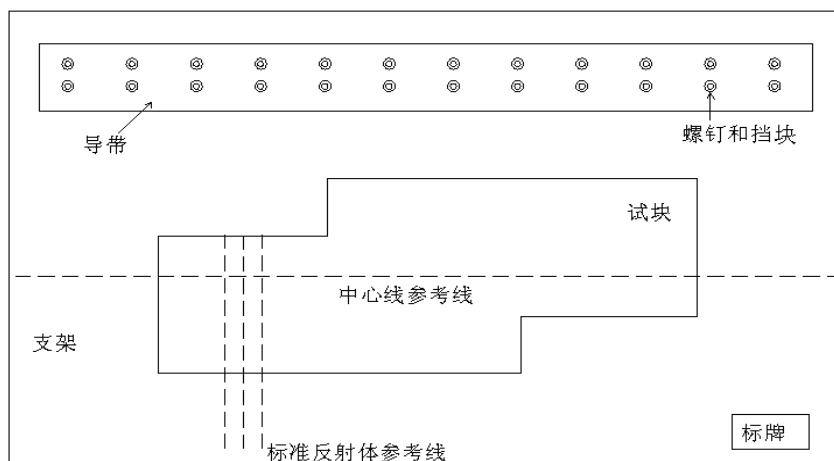


图3.2.2.8 试块安装后示意图

## 附录C 编码器校准步骤

C.1.1.1 在扫描器上定一个参考点、作好标记，这一参考点可以在探头支架的一侧或扫描器顶面上。

C.1.1.2 在管子上画一道与这一参考点相对的线，这条线用以精确地测量扫描器的位移。

C.1.1.3 测出探头绕管子移动的距离，为了得到平均分辨率，最好在整個圆周范围内进行校准（扫描检测时是在整个圆周上进行的）。所以需要测出管子外圆周长。无法测量管子外圆周长时，可用管子直径按以下公式进行计算：周长 =  $\pi \times$ 直径。

C.1.1.4 需要对电机和编码器两栏中键入参考分辨率值，这一数值将用来计算确切的编码器分辨率，编码器分辨率设为每mm为N个计数。

C.1.1.5 使用操作手柄，将参考点和管子上的线准确地对齐，将扫描器当前位置设成0点。使用操作手柄让扫描器沿检测方向绕管子行走一圈回到起点。应将扫描器准确地停在管子划线处。

C.1.1.6 按下列公式，根据位移和管子周长计算分辨率。

$$\text{分辨率} = \frac{\text{总计数}}{\text{实际距离}}$$

由于总计数是每个单位计数的数目函数，完整的公式为

$$\text{分辨率} = \frac{\text{位移起点到终点的总位移} \times N / \text{mm}}{\text{实际距离}}$$

所得数值即为这一机械配置的分辨率。

## 附录D 坡口检测工艺设计与案例

针对某一特定检测对象，需要选择合适的探头，进行合理的检测参数设计，从而保证检测的有效性。

### D.1 坡口检测参数设计的一般原则

- D.1.1 按照2mm~3mm的范围划分，将整个焊缝区域分为多个分区；
- D.1.2 每个分区内坡口位置应有一个独立的波束焦点；
- D.1.3 在避免焊缝盖帽区域影响探头移动的前提下，探头应尽可能靠近焊缝；
- D.1.4 保证入射波束尽量垂直于坡口方向；
- D.1.5 可以采用脉冲回波方式和串列方式。

以CRC坡口形式为例，根据焊缝的坡口形式，将焊缝区域分为填充区、热焊区、钝边以及根部区域，见第四章所描述。根据各个不同的分区位置，设置不同角度的波束进行覆盖，分析各个区域波束的参数设置。

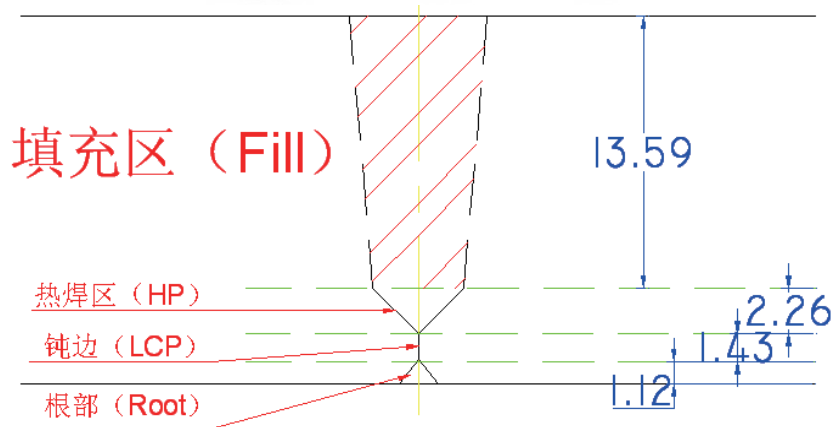


图 D1 CRC坡口形式

填充区：对于CRC坡口形式的填充区，由于填充区坡口方向与垂直方向夹角一般不大，一般采用串列方式进行检测，声束入射角度 $\theta$ 一般选择 $45^\circ$ 入射，该角度根据探头、板厚等参数可进行适当调整；接收波束角度为 $\theta + 2a$  ( $a$ 为坡口角度)，为了避免温度变化对于大角度声束的影响，发射、接收波束角度一般不大于 $70^\circ$ ；若接收波束角度大于 $70^\circ$ ，也需要对发射波束角度进行调整。其中，靠近上表面的第一个分区由于位置限制，很难采用串列的方式进行检测，因此一般采用脉冲回波方式检测。

热焊区：对于CRC坡口形式的热焊区，一般采用脉冲回波方式进行检测。由于热焊区坡口方向一般与垂直方向成 $45^\circ$ 左右夹角，因此，选用合适角度入射的二次波可以使波束完全垂直于坡口方向，达到最优的检测效果。

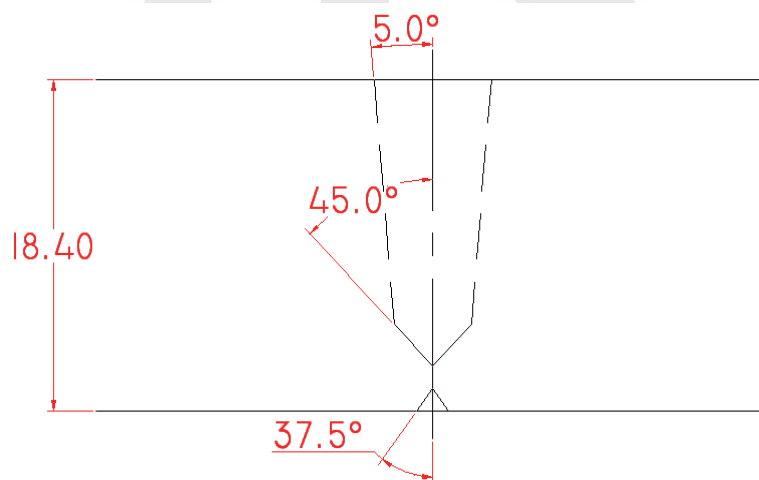
钝边区域：对于CRC坡口形式的钝边区域，一般采用脉冲回波方式，使用 $70^\circ$ 入射的一次波进行检测。由于钝边区域坡口方向为垂直方向，入射波束无法完全垂直于坡口方向，因此，采用 $70^\circ$ 大角度波束进行检测。

根部区域：对于CRC坡口形式的根部区域，一般采用脉冲回波方式进行检测。由于根部区域坡口方向与垂直方向夹角一般为 $30^\circ$ 以上，采用适当角度的波束入射可以完全与坡口方向垂直，达到最好的检测效果。

## D.2 CRC坡口焊缝检测参数设计案例

### D.2.1 试样描述

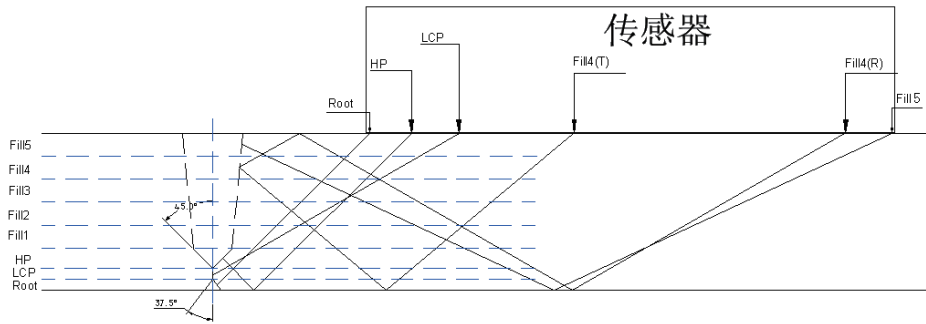
管对接焊缝，其管壁厚度为 $18.4\text{mm}$ ，填充区坡口方向为 $5^\circ$ ，热焊区坡口角度为 $45^\circ$ ，根部坡口角度为 $37.5^\circ$ 。



图D2 焊缝坡口示意图

### D.2.2 检测方案

以该CRC坡口焊缝为例，将填充区分分为5个区，热焊区、钝边区域以及根部区域各为一个区。设计了以下检测方案。



图D3 检测方案

填充5区：填充 5 区为最靠近表面的分区，采用脉冲回波法，采用 $65^\circ$ 二次波检测；

填充 4 区：串列法，采用 $45^\circ$ 二次波入射， $55^\circ$ 接收；

填充1、2、3区可参照填充4区检测，图中未显示；

热焊区：脉冲回波法，采用 $45^\circ$ 二次波检测；

钝边区域：脉冲回波法，采用 $70^\circ$ 一次波检测；

根部区域：脉冲回波法，采用 $52.5^\circ$ 一次波检测。

通过以上设置，可以实现波束对于焊缝坡口区域的覆盖。此外，还应辅以相应的体积通道和TOFD设置。

## 附录E 钢管中声速的测定

### E.1 总则

E.1.1 本附录规定了钢管中横波声速的测定方法。

E.1.2 本附录规定的横波声速测定方法为常规测定方法，除本方法外，也可以选用其它方法和设备测定钢管中的横波声速。

E.1.3 在管材制造过程中，制造工艺和选用材料都可能造成声速的变化，由于AUT技术需要精确控制声束焦点的位置，因此，需要测定检测对象中的横波声速。

E.1.4 部分管道钢材存在各项异性的情况，声速的测定需要在多个方向进行。

### E.2 设备

E.2.1 声速测定需要准备以下设备：

E.2.1.1 千分尺或游标卡尺

E.2.1.2 横波直探头（5MHz， $\Phi 6\sim 10\text{mm}$ ）

E.2.1.3 横波耦合介质(蜜或其它非牛顿流体介质)

E.2.1.4 超声脉检测仪，接收器不低于-6dB衰减，带宽一般为1MHz~10MHz，能够显示射频（RF）信号，分辨率至少10ns。

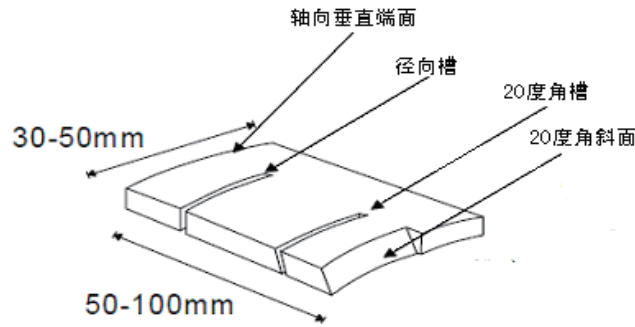
### E.3 样件准备

E.3.1 试样应在待检管材上截取，声速测定的结果只能用于相同型号的管材检测。

E.3.2 管材内部可能存在各项异性，因此测量得到的声速必须指明声束的传播方向，且每个检测平面至少取三个读数，取其平均值。

E.3.3 管材内部可能存在各项异性，至少应加工两个平行表面作为评定平面，针对管道环焊缝检测，沿径向制作一对平行面（垂直于外表面）；与外表面垂直方向成 $20^\circ$ 角制作另一对平面。若需要更多的数据点，则可另外机械加工平行平面进行测定。

E.3.4 样件尺寸应至少为 $50\text{mm}\times 50\text{mm}$ （ $2\times 2\text{in.}$ ），根据需要也可适当增大试样尺寸。

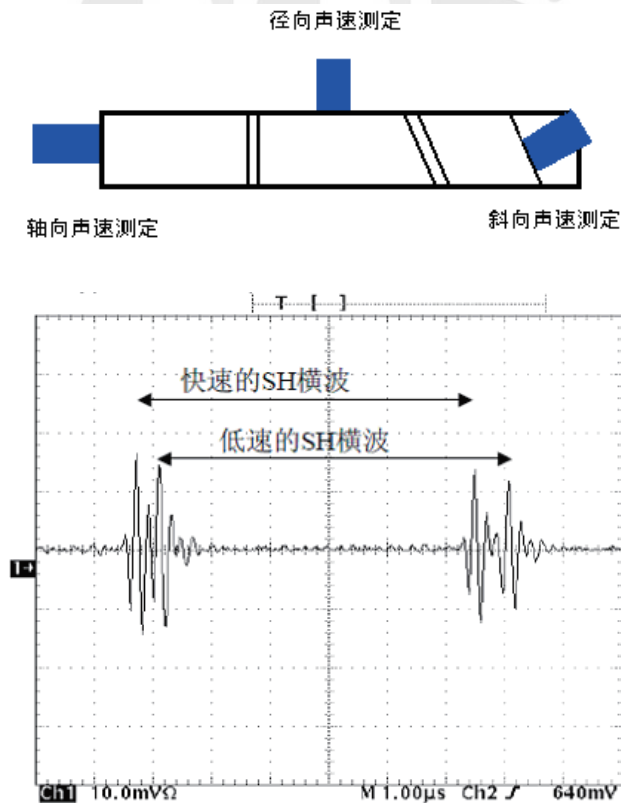


图E3.1 试样尺寸

#### E.4 测量过程

E.4.1 用千分尺或游标卡尺测量所加工的两个平行面之间的厚度，测量3次，取其平均值。

E.4.2 将横波直探头置于各加工平面上和外表面上，通过耦合剂耦合，得到清晰回波。若材料存在各向异性，则可能出现二次折射的两个波峰。读取先出现的两个信号的时间间隔，并记录。图E4.1 是二次折射的举例。



图E4.1 二次折射举例

E.4.3 用下列公式计算三个方向的声速：

$$V = 2d/t$$

式中：V=声速

d=试件厚度（直接测量）

t=时间间隔（用脉冲回波测量）

#### E.5 允许误差

为保证速度的测定误差不大于20m/s(780in/s)，样件的厚度测量必须精确到±0.1mm(0.004in.)  
时间测量必须精确到±25ms。

E.6 将测定声速的数值绘成二维极坐标曲线，通过该曲线，预估各个角度不同的声速。

E.7 测定声速时，测定点的温度值也应记录下来。

CCS