



# 中国机械工程学会无损检测分会 UT培训讲义

本讲义由学会常务委员 晏荣明 编写  
(仅供参考)

中国机械工程学会无损检测分会 深圳市无损检测人员培训中心

电话：021-65550277

电话：13538291001

邮箱：chsndt2008@163.com

邮箱：[yanrongming@126.com](mailto:yanrongming@126.com)

# 第六章 超声检测应用

## **CHAPTER 6 APPLICATIONS OF ULTRASONIC TESTING**

# 内容 CONTENTS

- 板材检测 **THE UT FOR PLATES**
- 铸件检测 **THE UT FOR CASTINGS**
- 锻件检测 **THE UT FOR FORGINGS**
- 焊接件检测 **THE UT FOR WELDING**
- 棒材检测 **THE UT FOR BARS**
- 管材检测 **THE UT FOR PIPES**

# 板材检测 **THE UT FOR PLATES**

- 制造工艺及其相关不连续性  
**Process and Relevant Discontinuities**
- 检测方法 **Testing Techniques**
- 相关标准 **Relevant Standards**

# 制造工艺及其相关不连续性

## Process and Relevant Discontinuities

- 板材分类：  
厚度 $<4\text{mm}$ ：薄板；厚度 $4\text{mm}\sim 40\text{mm}$ ：中厚板；  
厚度 $>40\text{mm}$ ：厚板
- 普通钢板工艺：  
连续浇注  
钢坯轧制 板坯 轧制
- 复合板工艺：爆炸、堆焊

# 制造工艺及其相关不连续性

## Process and Relevant Discontinuities

名称	形成原因	规律	回波特征
● 裂纹	轧制工艺不合理	主要位于表面，通常与表面垂直	波幅高
折叠	板材局部表面已氧化的金属凸出部位被压并嵌入板材表面，未与基体连接。	通常开口于表面并与表面倾斜	因折叠离表面很近，直探头检测时，若折叠在底面则底波前移、若在扫查表面则始波变宽。
分层	板坯中的气孔、夹渣、缩孔等被轧扁	沿轧制方向分布与表面平行，呈平面状	回波陡直、尖锐，单一波峰，波幅很高，底波明显下降或消失
白点	残留在锻件中的氢原子形成氢气析出，体积膨胀，引起小的裂纹。	通常出现于厚度较大的板材，位于厚度截面的中心	一定深度范围内多个波峰，波形密集尖锐活跃，底波明显下降；移动探头时回波起伏变化。

# 检测方法 **Testing Techniques**

- 板材超声衰减较小；不连续性的取向多数平行于表面，所以板材检测以直束纵波法为主，斜束横波法为辅；板材主体部分一般为抽查，边缘或坡口线两侧为全检。

# 检测方法 **Testing Techniques**

- 中厚板、厚板检测方法
- 薄板检测方法
- 复合板检测方法

# 检测方法 **Testing Techniques**

## ——中厚板、厚板检测方法

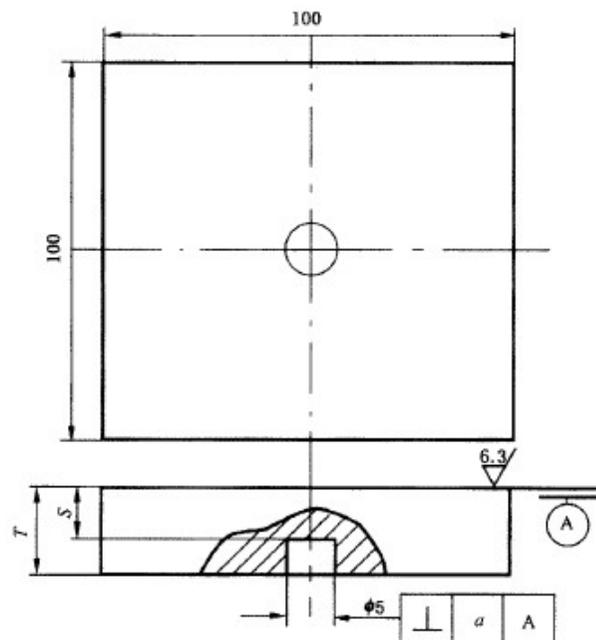
- 穿透法：灵敏度低，少用
- 脉冲反射法：
  - 接触法单晶纵波
  - 接触法双晶纵波
  - 水浸法纵波
  - 接触法单晶横波

# 检测方法 **Testing Techniques**

## 接触法单晶纵波检测

- 检测条件：频率：接触法，2~5MHz
- 调整仪器：
  - 定标：对比试块、工件
  - 灵敏度：对比试块

# 检测方法 Testing Techniques

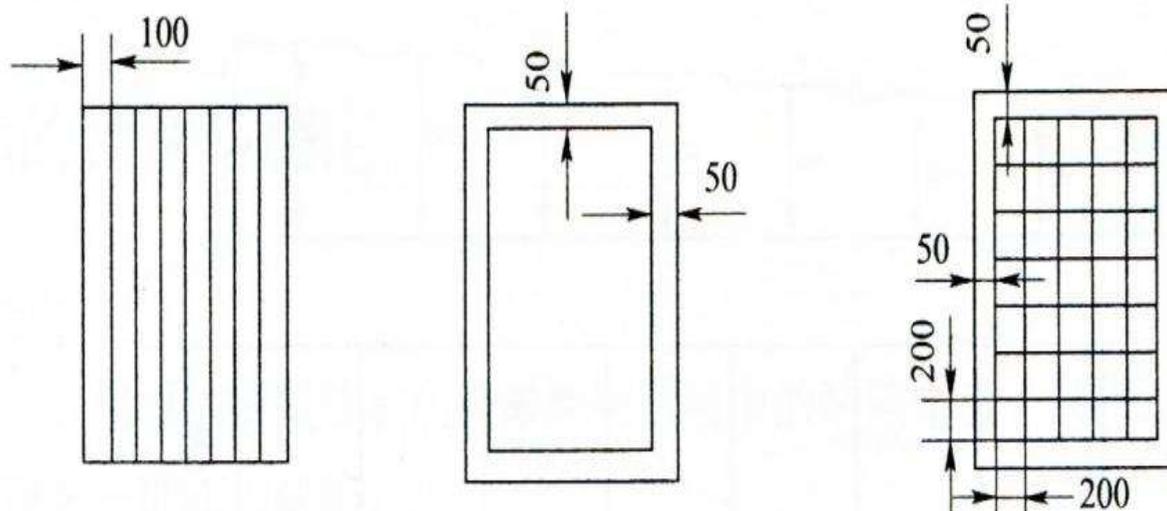


试块编号	被检验钢板厚度	检验面到平底孔的距离 S	试样厚度 T
1	>13~20	7	≥15
2	>20~40	15	≥20
3	>40~60	30	≥40
4	>60~100	50	≥65
5	>100~160	90	≥110
6	>160~200	140	≥170

# 检测方法 Testing Techniques

## 接触法单晶纵波检测

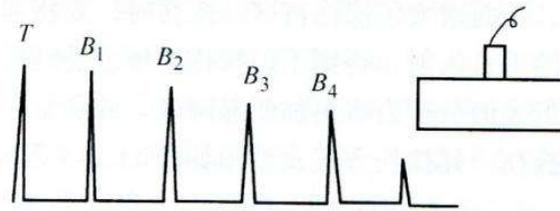
- 扫查方式：全面扫查（100%）；格子扫查（按200mmX200mm格子，边缘50mm内100%）；边缘扫查（边缘及坡口两侧50mm内100%）；列线扫查（相隔100mm列线）
- 扫查方向：与压延方向垂直
- 扫查速度 <math><200\text{mm/s}</math>



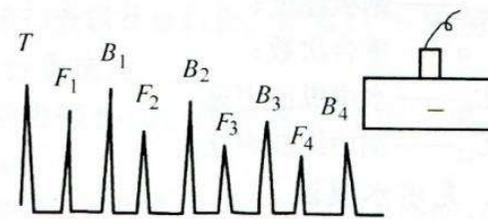
# 检测方法 Testing Techniques

## 接触法单晶纵波检测

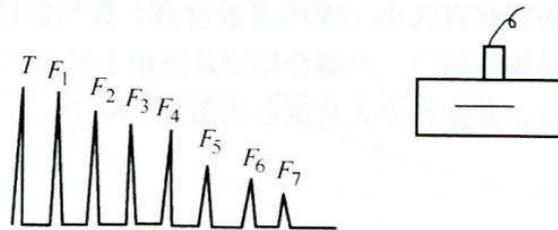
- 检测波形



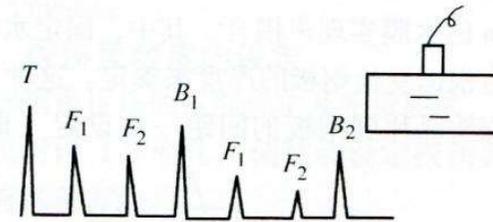
a) 钢板内只有底波B的多次反射，无缺陷



b) 缺陷F和底波B同时存在



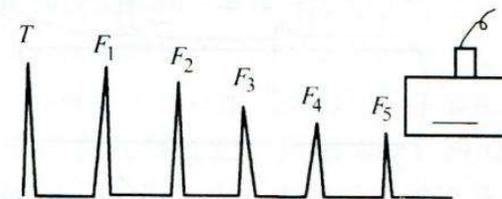
c) 只有缺陷波的多次反射，无底波



d) 一次底波内有二次缺陷波出现



e) 无缺陷也无底波



f) 只有缺陷波的多次反射波，无底波

# 检测方法 **Testing Techniques**

## 接触法单晶纵波检测

- 不连续性的评定 **Discontinuity evaluation**
- 不连续性第一次回波  $F1 \geq 50\%$ ;
- 第一次底波  $B1 < 100\%$ ，不连续性第一次回波与第一次底波之比  $F1/B1 \geq 0.5$ ;
- 第一次底波  $B1 < 50\%$ 。

# 检测方法 Testing Techniques

## 接触法单晶纵波检测

- 质量分级Quality level

GB/T2970: 钢板质量分级评定指标:

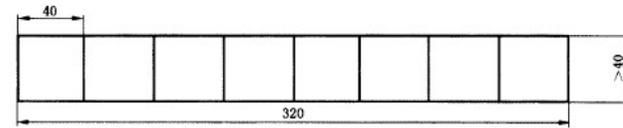
- ①单个缺陷的指示长度
- ②单个缺陷的指示面积
- ③缺陷的密集性

级别	不允许存在的单个缺陷的指示长度/mm	不允许存在的单个缺陷的指示面积/cm <sup>2</sup>	在任一1 m×1 m 检验面积内不允许存在的缺陷面积百分比/%	以下单个缺陷指示面积不记/cm <sup>2</sup>
I	≥80	≥25	>3	<9
II	≥100	≥50	>5	<15
III	≥120	≥100	>10	<25
IV	≥150	≥100	>10	<25

# 检测方法 Testing Techniques

## 接触法双晶纵波检测

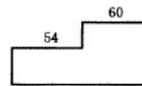
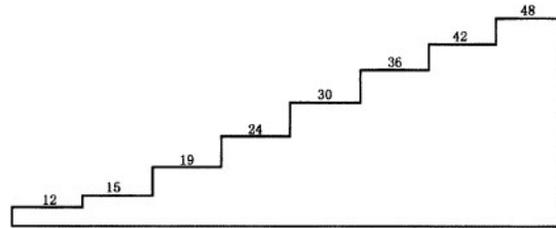
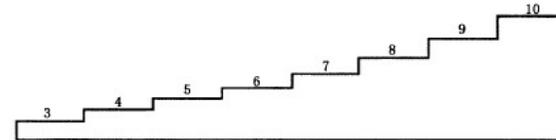
- 检测条件：频率：2~5MHz



- 调整仪器：

定标：对比试块、工件

灵敏度：对比试块



- 扫查方向：隔声层与压延方向平行

# 检测方法 Testing Techniques

## 水浸法纵波

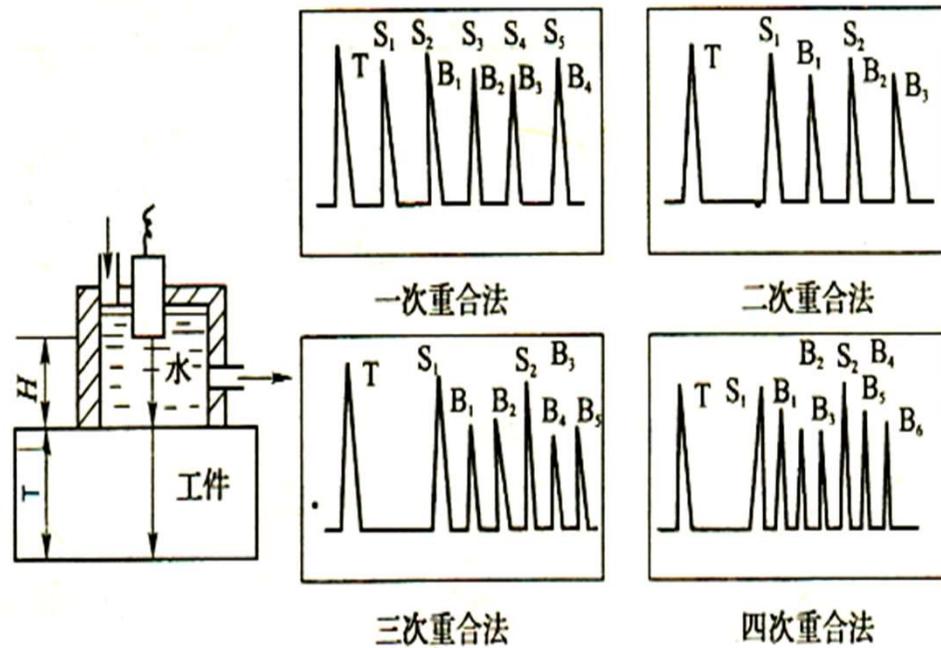
- 检测条件：频率：10MHz

- 调整仪器：

定标：对比试块、工件

灵敏度：对比试块

$$H = n \frac{c_{\text{水}}}{c_{\text{钢}}} T \approx n \frac{T}{4}$$



# 检测方法 **Testing Techniques**

## 横波检测

- 应用场合：需要发现与表面倾斜的不连续性。
- 扫查：入射方向与压延方向垂直，180度两方向。

# 检测方法 **Testing Techniques**

## ——薄板检测方法

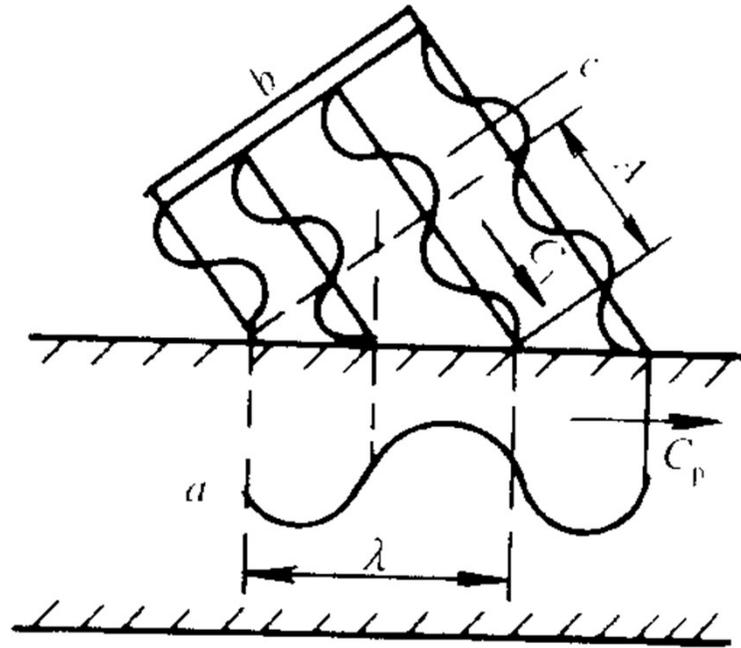
- 穿透法:  
多用脉冲穿透法检测

# 检测方法

## Testing Techniques——兰姆波法

- 兰姆波特特性：频散波、整板振动、对称及反对称模式、多次模式

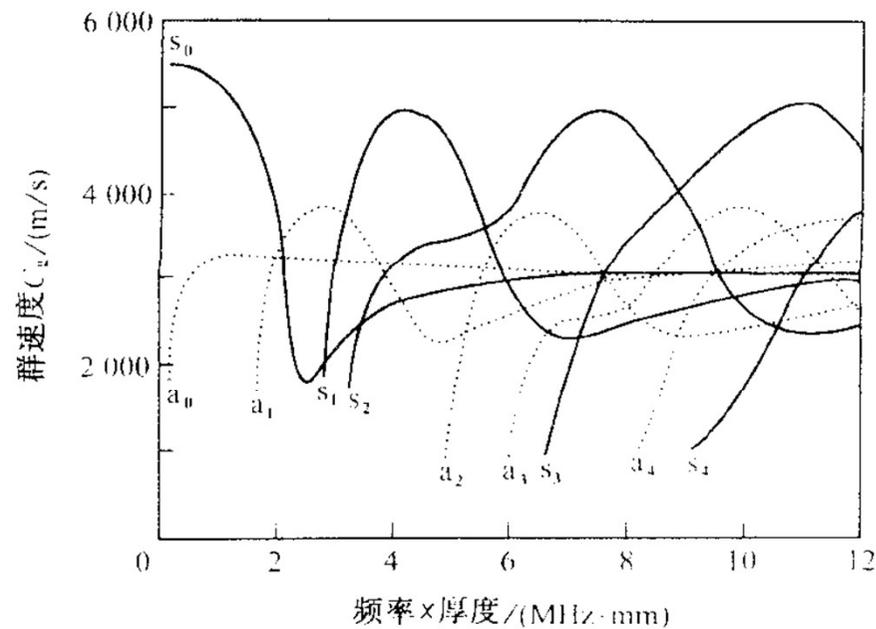
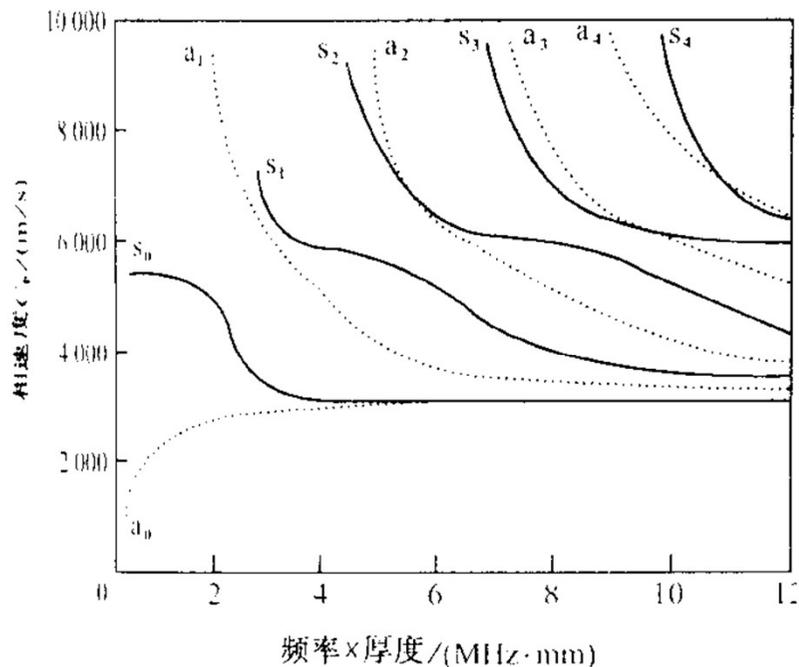
- 兰姆波的激励：



# 检测方法

## Testing Techniques——兰姆波法

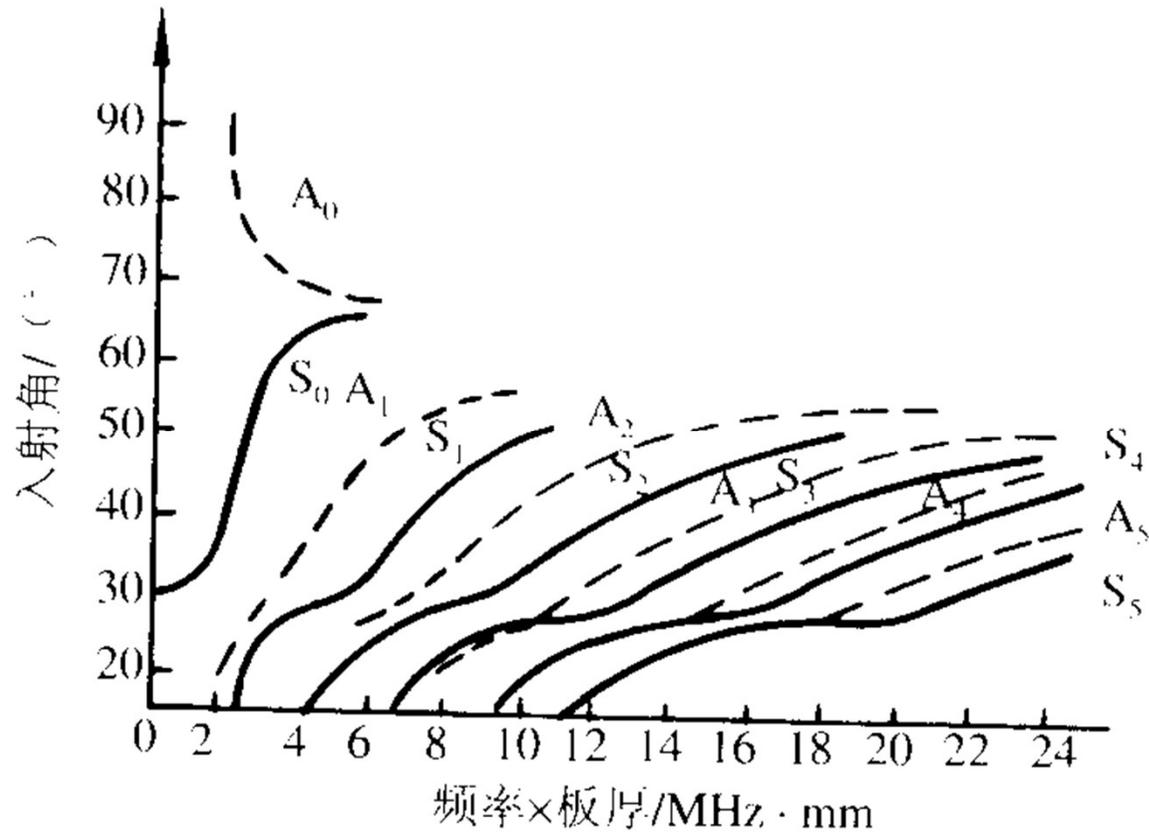
- 相速度、群速度



# 检测方法

## Testing Techniques——兰姆波法

- 入射角



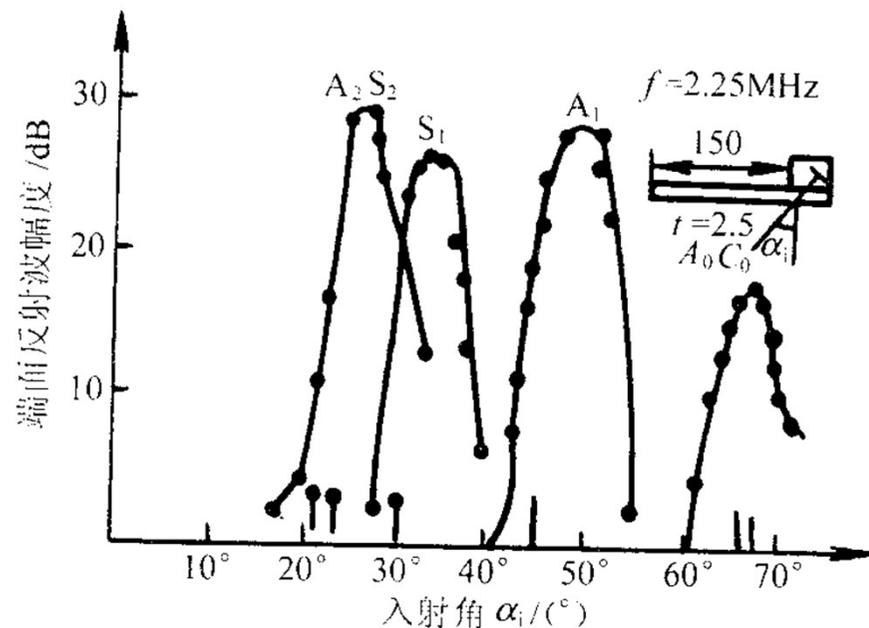
# 检测方法

## Testing Techniques——兰姆波法

- 模式选择

计算并绘制相速度和群速度曲线

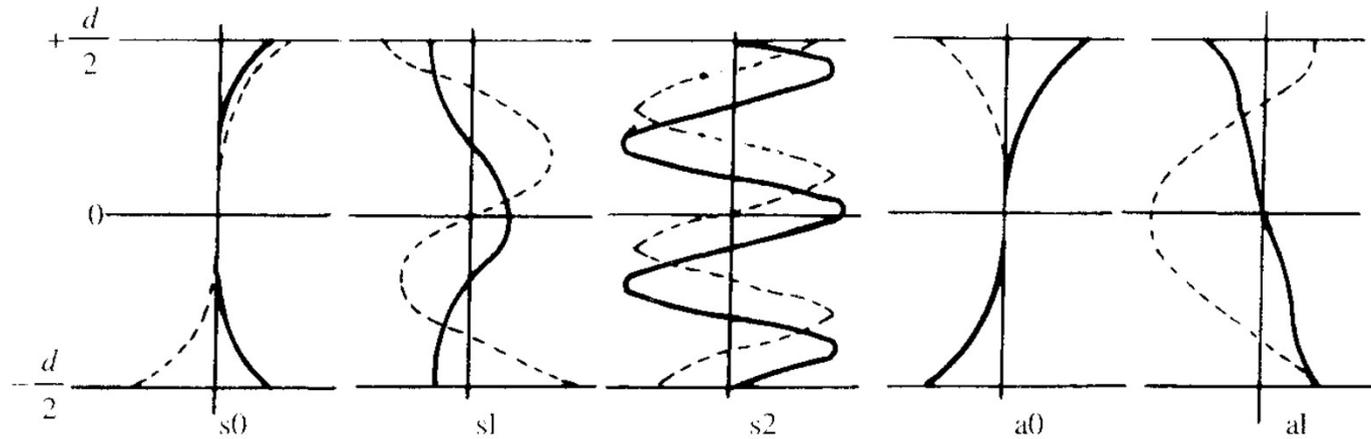
绘制入射角与反射波幅度的关系曲线



# 检测方法

## Testing Techniques——兰姆波法

- 计算u、v分量



# 相关标准 Relevant Standards

- 《厚钢板超声检验方法》（GB/T2970—2004），适用于厚度不小于6mm的锅炉、压力容器、桥梁、建筑等用途钢板的超声检测，奥氏体钢板也可参考本标准。
- 《承压设备无损检测》（NB/T47013.3-2015），第三部分超声检测中的“承压设备用钢板超声检测方法和质量分级”，适用于板厚为6mm~250mm的碳素钢、低合金钢制承压设备用钢板超声检测和质量分级。铝及铝合金、钛及钛合金、镍及镍合金、奥氏体不锈钢、奥氏体-铁素体双相不锈钢钢板可参考执行。

# 铸件检测

## THE UT FOR CASTINGS

- 制造工艺及其相关不连续性  
**Process and Relevant Discontinuities**
- 检测方法 **Testing Techniques**
- 相关标准 **Relevant Standards**

# 制造工艺及其相关不连续性

## Process and Relevant Discontinuities

- 铸造工艺

把熔化的金属或合金注入铸型（模型）中，冷却凝固后，形成所需形状结构与尺寸的金属毛坯或零件。按工艺方法和模型种类的不同，铸造可分为砂型铸造、型模铸造、离心铸造、压力铸造、精密铸造等。

- 铸件的特点

晶粒粗大，组织不致密；      组织不均匀  
形状复杂表面粗糙；      缺陷形状复杂

# 制造工艺及其相关不连续性

## Process and Relevant Discontinuities

- 裂纹
- 冷隔
- 缩孔
- 疏松
- 气孔
- 夹渣
- 夹杂
- 偏析

类型	名称	形成原因	特点	回波特征
体 积 型	气孔	熔融金属凝固过程中未及 时逸出的气体形成孔洞	形状多为圆球或椭球状： 内壁光滑，内含气体；通 常位于铸件上部；单个或 密集分布	因其形状的特点，无论声波从哪个方向入 射，均能获得较好的反射，所以方向性不 明显；因其内含物质为空气，与铸件的声 阻抗差别很大，所以反射波很高；单个气 孔反射回波形状单一，只有一个波峰，而 密集型气孔则有多个波峰
	缩孔	在浇冒口最后凝固处，由 于冷却时产生收缩又得不 到液态金属的补充，形成 较大而集中孔洞	形状不规则；内壁粗糙， 伴有杂质和气孔；位于铸 件中心最后凝固部位	回波较高，方向性不明显，多个波峰
	疏松	与缩孔的情况相似，形成 小而分散的孔隙		回波较低，方向性不明显
	夹渣	冶炼过程中脱氧剂，合金 元素等与气体的反应生成 物，在熔融金属凝固之前 未及时浮出，留在铸件中	形状不规则；位于铸件头 部及中心	回波较高，方向性不明显由于夹渣形状 的特点，无论声波从哪个方向入射，均能 获得一定的反射，但不同方向入射时回波 高差别很大，方向性很明显；虽然夹渣没 有很好的反射面，但由于夹渣与基体材料 的声阻抗差别很大，所以反射回波较高
	夹杂	冶炼过程中炉体上的沙子 剥落进入铸件、加入的合 金未熔化	形状不规则；位于铸件中 心及底部	回波较高，方向性不明显
	偏析	冶炼过程中形成的成份不 均匀		回波较低
平 面 型	裂纹	冷却凝固时，由于冷却速 度过快，收缩应力超过材 料强度极限	开口于表面；常出现在工 件截面厚度突变处	回波很高，方向性很明显
	冷隔	浇注时，由于飞溅，浇注 中断或来自不同方向的两 股合金流相遇而形成的金 属膜	多与表面垂直	回波很高，方向性很明显

# 检测方法 Testing Techniques

- 超声衰减严重

铸件的晶粒粗大，导致衰减十分严重，减低了穿透力，使大尺寸铸件的检测变得困难。

- 检测信噪比低

铸件组织不均匀，晶粒粗大，产生严重的散射；同时，铸件粗糙的表面也会引起超声波散射。结果产生很高的草状杂波信号，降低了信噪比。

- 不连续性定位精度差

铸件组织的晶粒粗大，且各向异性，声波传播时会发生声束弯曲，尤其对大尺寸工件，声束弯曲造成的偏差更明显，影响了定位精度。

# 检测方法 **Testing Techniques**

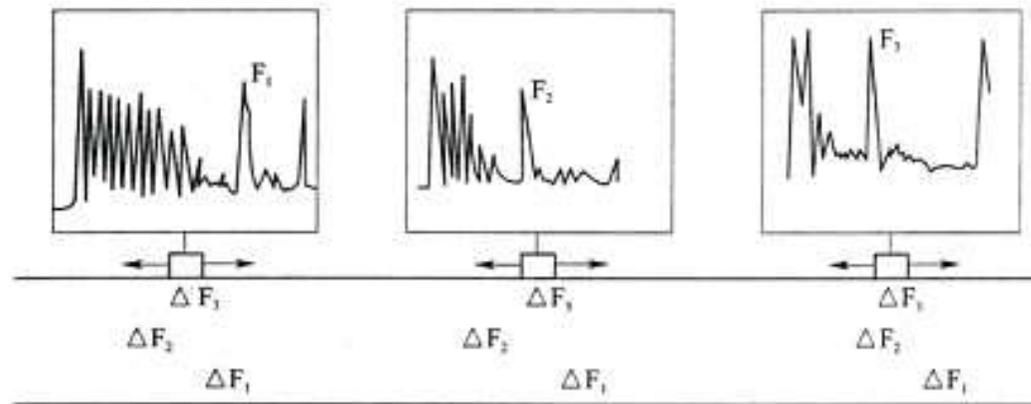
- 厚度大，表面光滑铸件：单晶纵波检测，观察**T~B1**
- 厚度不大，表面不光滑铸件：单晶纵波，观察**B1~B2**
- 近表面不连续性：双晶纵波
- 厚度薄，疏松铸件：观察多次回波
- 厚度特大（>300mm）铸件：分层检测

# 检测方法 **Testing Techniques**

- 频率选择：
  - 厚度小，已热处理：2~5MHz
  - 厚度大，未热处理：0.5~1MHz
- 检测技术：纵波法为主、横波法为辅
- 检测灵敏度：对比试块法  
在所选择孔径的平底孔试块上通过分别测量不同埋深平底孔的回波幅度，绘制距离波幅曲线，根据铸件的厚度确定检测灵敏度。

# 检测方法 **Testing Techniques**

- 分层检测：对于厚度大的铸件，应将其分成若干区域（如上、中、下三层），按照验收标准的要求分别调整检测灵敏度并实施扫查



# 检测方法 Testing Techniques

- 扫查：
  - 表面准备：尽量机加工；
  - 耦合剂：尽量使用粘度大的耦合剂
  - 方向：两互相垂直方向
- 不连续性的评定：应作记录并测定其位置、面积：
  - ①回波幅度到达规定的最小平底孔当量；
  - ②底波衰减 $\geq 12\text{dB}$ 者（1级区域 $\geq 6\text{dB}$ 者）。

壁厚/mm	最小平底孔当量直径/mm	底波衰减/dB,最小
$\leq 100$	2	12
$> 100 \sim 300$	3	
$> 300 \sim 600$	4	

# 相关标准 **Relevant Standards**

《铸钢件 超声检测 第1部分 一般用途铸钢件》  
(GB/T7233.1-2009)：质量评级

- 缺陷：点状缺陷和延伸性缺陷
- 点状缺陷：最大平底孔当量直径和在100mm\*100mm评定框内被记录的缺陷数量，同时还应考虑缺陷出现的位置（内层或外层）；
- 延伸性缺陷：最大平底孔当量直径、缺陷在厚度方向上的最大尺寸、不能测量宽度的缺陷的最大长度、单个缺陷的最大面积和缺陷的总面积，同时还应考虑缺陷出现的位置（内层或外层）。

# 相关标准 Relevant Standards

## 铸钢件点状缺陷允许限值

质量等级 <sup>a</sup>	评定的最小平底孔当量直径或横孔直径		100 mm×100 mm 评定框内缺陷允许限值 <sup>c</sup>	
	FBH <sup>b</sup> /mm	SDH <sup>b</sup> /mm	最大数量	最小距离/mm
1	1.5	3 <sup>d,e</sup> DAC-6 dB	6	12
2	1.5	3 <sup>d,e</sup> DAC-6 dB	12	10
3	2	3 <sup>d</sup>	12	8

<sup>a</sup> 1级通常用于焊接准备区,特殊外层的质量等级由需方指定。  
<sup>b</sup> FBH=平底孔,SDH=横孔。  
<sup>c</sup> 如果缺陷间距>15 mm,允许不计数量。  
<sup>d</sup> 斜探头(4 MHz~5 MHz,晶片尺寸接近10 mm)。  
<sup>e</sup> 直径0.75 mm的横孔可以用直径3 mm的横孔代替,把直径3 mm的横孔的距离波幅校正曲线降低50%。

# 锻件检测

## THE UT FOR FORGINGS

- 制造工艺及其相关不连续性

**Process and Relevant Discontinuities**

- 检测方法 **Testing Techniques**

- 相关标准 **Relevant Standards**

# 制造工艺及其相关不连续性

## Process and Relevant Discontinuities

- 锻造工艺  
对金属坯料加压力，产生塑性变形，形成所需形状、尺寸和组织性能的工件。分模锻、自由锻
- 锻件的特点  
组织致密，晶粒细
- 锻件超声检测特点：  
衰减小，穿透力强；信噪比高；灵敏度要求高。

# 制造工艺及其相关不连续性

## Process and Relevant Discontinuities

名称	形成原因	特点	回波特征
● 残余缩孔	铸件中的缩孔未切除彻底残余在锻件中	● 位于锻件的头部及截面中心、沿轴向有一定的延伸；体积较大，形状不规则；内壁粗糙，伴有杂质和气孔。	回波较高，方向性不明显，多个波峰。
疏松	铸锭凝固收缩时形成小而分散的空隙和孔穴，锻造时因变形量不足而未消除。	多存在于大型锻件	回波较低，方向性不明显。
分层	铸件中的气孔、夹渣、夹杂等体积型不连续性被锻造打成平面状。	与主锻打面垂直，沿变形方向分布。	方向性明显，声束与分层垂直时回波很高；反之很低。
折叠	已氧化的金属凸出部位被压并嵌入锻件表面，未与锻件连接。	常开口于表面，倾斜于锻造表面。	因折叠离表面很近，直探头检测时，若折叠在底面则底波前移、若在扫查表面则始波变宽。
裂纹	锻造温度过高、变形量过大、变形不均匀、冷却过快引起；热处理不当引起；冶金缺陷在锻造时扩大引起。	常开口于表面	方向性很明显
白点	残留在锻件中的氢原子形成氢气析出，体积膨胀，引起小的裂纹。	多在厚度较大的高碳钢、马氏体钢、贝氏体钢出现；多位于厚度截面的中心。	一定深度范围内多个波峰，波形密集尖锐活跃，底波明显下降；移动探头时回波起伏变化。

# 检测方法 **Testing Techniques**

- 纵波直探头检测 **Normal Beam Testing**
- 横波斜探头检测 **Angle Beam Testing**

# 纵波直探头检测

## Normal Beam Testing

国别	标准号	频率MHz	晶片直径mm
中国	GB/T6402	1~5	10~30
美国	ASTM A3388-80	2.25	19~29
日本	NDIS2411-80	2~2.5	20~28

# 纵波直探头检测

## Normal Beam Testing

- 扫查方向：与主流线垂直
- 扫查面：两互相垂直面。轴类、饼类、筒类零件
- 探头形式：单晶、双晶；
- 检测频率：0.5~10MHz

# 纵波直探头检测

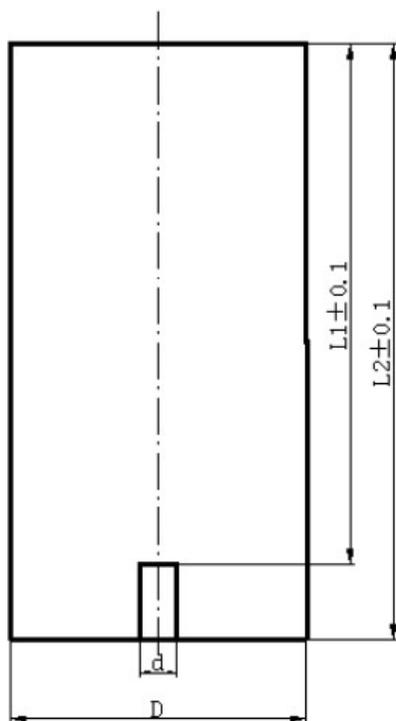
## Normal Beam Testing

- 灵敏度的调节：
  - ① 试块法
  - ② 算法（试块算法、底波算法）
  - ③ AVG曲线法

# 纵波直探头检测

## Normal Beam Testing

- NB/T47013: 单晶直探头检测时:  
用直径为2mm~4mm的平底孔试块CS-2



试块 编号	试块 规格	$d$	$L_1$	$L_2$	$D$	试块 编号	试块 规格	$d$	$L_1$	$L_2$	$D$
1	25/2	2	25	50	$\geq 35$	19	200/2	2	200	225	$\geq 100$
2	25/3	3	25	50	$\geq 35$	20	200/3	3	200	225	$\geq 100$
3	25/4	4	25	50	$\geq 35$	21	200/4	4	200	225	$\geq 100$
4	50/2	2	50	75	$\geq 50$	22	250/2	2	250	275	$\geq 110$
5	50/3	3	50	75	$\geq 50$	23	250/3	3	250	275	$\geq 110$
6	50/4	4	50	75	$\geq 50$	24	250/4	4	250	275	$\geq 110$
7	75/2	2	75	100	$\geq 60$	25	300/2	2	300	325	$\geq 120$
8	75/3	3	75	100	$\geq 60$	26	300/3	3	300	325	$\geq 120$
9	75/4	4	75	100	$\geq 60$	27	300/4	4	300	325	$\geq 120$
10	100/2	2	100	125	$\geq 70$	28	400/2	2	400	425	$\geq 140$
11	100/3	3	100	125	$\geq 70$	29	400/3	3	400	425	$\geq 140$
12	100/4	4	100	125	$\geq 70$	30	400/4	4	400	425	$\geq 140$
13	125/2	2	125	150	$\geq 80$	31	500/2	2	500	525	$\geq 155$
14	125/3	3	125	150	$\geq 80$	32	500/3	3	500	525	$\geq 155$
15	125/4	4	125	150	$\geq 80$	33	500/4	4	500	525	$\geq 155$
16	150/2	2	150	175	$\geq 85$						
17	150/3	3	150	175	$\geq 85$						
18	150/4	4	150	175	$\geq 85$						



# 纵波直探头检测

## Normal Beam Testing

- 例 某钢锻件厚度为300mm，用2.5P20直探头作纵波检测，验收标准规定直径为2mm平底孔当量以上的缺陷不能验收，如何用底波计算法调整检测灵敏度？（已知钢锻件纵波声速为5850m/s）。

# 纵波直探头检测

## Normal Beam Testing

第一步: 判断是否符合使用底波计算去调整灵敏度的条件

根据:  $N=D^2/4\lambda$  和  $\lambda=C/f$

得:  $N=D^2 f/4C=20^2 \times 2.5 \times 10^6 / 4 \times 5850 \times 10^3 = 42.7(\text{mm})$

可见:  $x > 3N$ , 符合使用底波计算去调整灵敏度的条件

第二步: 调整灵敏度

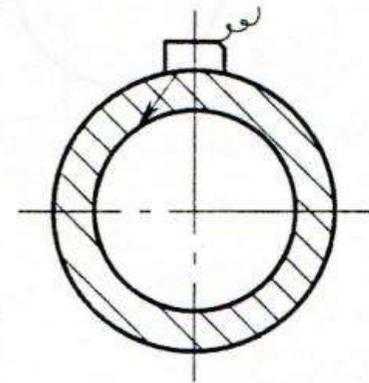
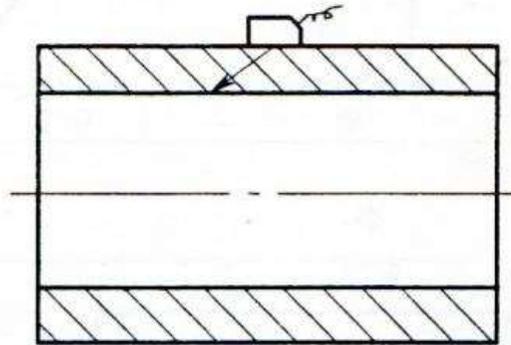
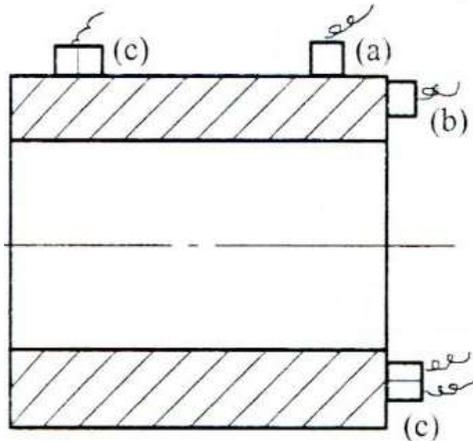
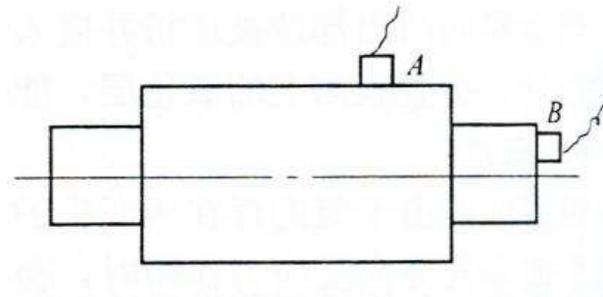
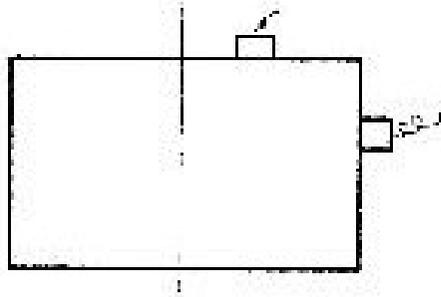
根据:  $\Delta dB = 20 \lg \frac{p}{p_B} = 20 \lg \frac{\pi d^2}{2\lambda x} = 20 \lg \frac{3.14 \times 2^2}{2 \times 2.34 \times 300} \approx -41 \text{dB}$

操作: 在工件表面质量完好处找到最大底波, 调整至基准波高, 然后增益41dB.

# 纵波直探头检测

## Normal Beam Testing

- 扫查



# 纵波直探头检测

## Normal Beam Testing

- 例 用直探头接触法探测某锻件，仪器时基线按深度1: 2定标，在30mm刻度处发现不连续性回波，其波幅为40dB，现有一个埋深为60mm，孔径为2mm的平底孔试块，用直探头探测该平底孔的波幅为35dB，已知工件与试块表面补偿为4dB，工件表面粗糙，试求该不连续性的当量。

-

# 纵波直探头检测

## Normal Beam Testing

- 因为时基线按照深度1: 2定标, 在30mm刻度处回波深度应为60mm, 所以, 试块的平底孔埋深与不连续性的埋深正好相同, 不连续性的波幅比平底孔高:  $40-35=5\text{dB}$ , 考虑到表面补偿, 所以不连续性的波幅应为:  $5\text{dB}+4\text{dB}=9\text{dB}$ , 所以, 该不连续性的当量为:  $\phi 2+9\text{dB}$

# 相关标准 Relevant Standards

项目	GB/T6402		NB/T47013.3		JB/T8467	
检测技术	脉冲反射法，接触法及液浸法，纵波， $d/D < 1.4$ 长度 $\geq 50$ mm时可增加横波		纵波、对筒形和环形工件加横波		脉冲反射法，接触法，纵波、横波	
检测频率 MHz	纵波	1~6	纵波	1~5	纵波	1~5，优先：2~2.5
	横波	1~2.5	横波	2~5	横波	未规定
探头类型	纵波	单晶和双晶	纵波	$t \leq 45$ : 双晶 $t > 45$ : 单晶	纵波	单晶和双晶
	横波	$35^\circ \sim 70^\circ$	横波	45为主，必要时其他角度	横波	$35^\circ \sim 70^\circ$
晶片尺寸 mm	纵波	直径10~40	纵波	双晶：面积 $\geq 150$ mm <sup>2</sup> 单晶： $\phi 10 \sim 40$	纵波	$\phi 10 \sim 40$
	横波	面积20~625mm <sup>2</sup>	横波	80~625mm <sup>2</sup>	横波	面积20~625mm <sup>2</sup>
试块	纵波	$\phi 2, 3, 5, 8, 12$ 平底孔试块，曲面试块为工件的曲率的0.7~1.1倍。	纵波	单晶：CS-2； 双晶：CS-3； 曲面试块：CS-4	纵波	$\phi 2, 3, 5, 8$ 平底孔试块
	横波	$\phi 3$ mm横孔	横波	长25mm，深1%t的轴向和周向60° V形槽	横波	平底孔试块、 $\phi 3$ mm横孔、切槽

# 横波斜探头检测

## Angle Beam Testing

- 折射角：45度
- 灵敏度调节：60度V形或矩形槽，槽深多数规定为工件厚度的一定的百分比，槽的长度为25mm。

# 焊接件检测

## THE UT FOR WELDING

- 制造工艺及其相关不连续性

**Process and Relevant Discontinuities**

- 检测方法 **Testing Techniques**

- 相关标准 **Relevant Standards**

# 制造工艺及其相关不连续性

## Process and Relevant Discontinuities

- 焊接工艺：通过加热或加压，用或不用填充材料，把两个分离的材料达到原子结合的方法。
- 分类：熔焊、压力焊、铅焊
- 接头形式：对接、角接、T型、搭接
- 剖口类型：V型、U型、X型

# 制造工艺及其相关不连续性

## Process and Relevant Discontinuities

类型	名称	形成原因	特点	回波特征
体 积 型	气孔	熔池中熔融金属凝固过程中未及时逸出的气体形成孔洞	形状多为圆球或椭球状；内壁光滑，内含气体；通常位于接头上部；单个或密集分布。	无论声波从哪个方向入射，均能获得较好的反射，所以方向性不明显；因其内含物质为空气，与金属的声阻抗差别很大，所以反射波很高；单个气孔反射回波形状单一，只有一个波峰，采用环绕扫查方式探测单个气孔时，反射波高大致相同，但探头位置稍一移动信号就消失。当探头作前后或左右移动扫查密集气孔时，由于气孔数量多，所以其回波为一簇反射波，会出现此起彼落的现象。
	夹渣	焊接过程中脱氧剂、合金元素等与气体的反应生成物，在熔融金属凝固之前未及时浮出，留在铸件中。	形状不规则；依其长短分为点状夹渣和条状夹渣；多位于接头中上部。	点状夹渣的回波信号与点状气孔相似。条状夹渣回波信号多呈锯齿状，一般波幅不高，主峰边上有小峰。探头平移时，波幅有变动，从不同方向探测，反射波幅不相同。
	夹杂	焊接过程中电极落入熔池未熔化	形状不规则；多位于焊接接头中心及底部	与夹渣类似
	未焊透	由于电流不足或速度过快等原因，在双面剖口的中间或单面剖口的根部未完全焊透。	在焊缝在轴线上，沿轴线方向延伸；在厚度方向上，对于双面剖口，未焊透位于焊缝的中间；对于单面剖口，位于焊缝的根部。	回波很高，通常焊缝两侧均能容易地发现。探头平移时，未焊透回波较稳定。从焊缝两侧检测时，能得到大致相同的反射波幅
	裂纹	冷却凝固时，由于冷却速度过快，收缩应力超过材料强度极限；有热裂或冷裂之分。	位于焊缝内部或开口于表面；方向：纵向或横向；弧坑裂纹位于起弧和收弧处。	裂纹的回波高度较大，波幅宽，会出现多峰。探头平移时，波幅有变动；探头转动时，波峰有上、下错动现象。
平面型	未熔合	相邻上下两层焊缝或接头与坡面之间未完全熔合	分为层间未熔合和坡面未熔合，分别位于层间或坡面。	对于坡面未熔合，方向性明显，从焊缝两侧探测时，反射波幅度差距大，有时只能从焊缝的一侧检测到，从焊缝另一侧就有可能漏检。当探头沿未熔合平移时，波形较稳定。

# 检测方法 **Testing Techniques**

- 横波斜探头检测 **Angle Beam Testing**
- 纵波直探头检测 **Normal Beam Testing**

# 横波斜探头检测 Angle Beam Testing

- 频率

- 角度

板厚T (mm)	折射角或K值
8~25	70° (K2.5, K2.0)
>25~50	70° 或60° (K2.5, K2.0, K1.5)
>50~100	45° 或60° ; 45° 和60° , 45° 和70° 并用 (K1或K1.5; K1和K1.5, K1和K2.0并用)
>100	45° 和60° 并用 (K1和K1.5或K2.0并用)

- 一次波法与二次波法

- 单探头法与双探头法

# 横波斜探头检测 Angle Beam Testing

## ——调整检测仪器

- 定标:

通常声程定标、深度定标、水平定标。

- 检测灵敏度:

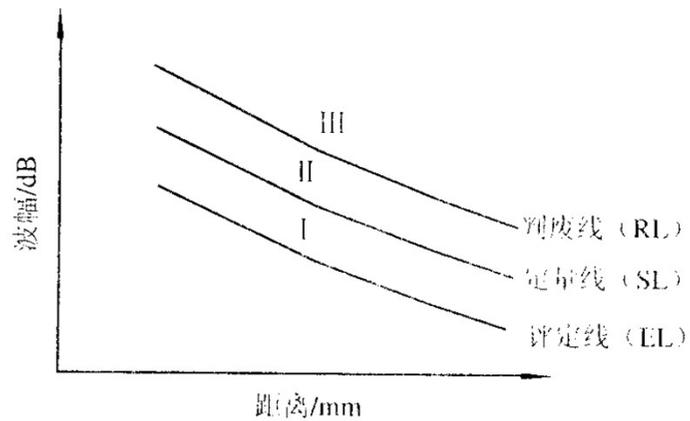
在参考试块上以人工反射体制作距离-波幅曲线，再考虑补偿确定

试块型式	工件厚度 $t/mm$	评定线	定量线	判废线
CSK-IIA	6~40	$\phi 2 \times 40-18dB$	$\phi 2 \times 40-12dB$	$\phi 2 \times 40-4dB$
	>40~100	$\phi 2 \times 60-14dB$	$\phi 2 \times 60-8dB$	$\phi 2 \times 60+2dB$
	>100~200	$\phi 2 \times 60-10dB$	$\phi 2 \times 60-4dB$	$\phi 2 \times 60+6dB$

# 横波斜探头检测 Angle Beam Testing

## ——调整检测仪器

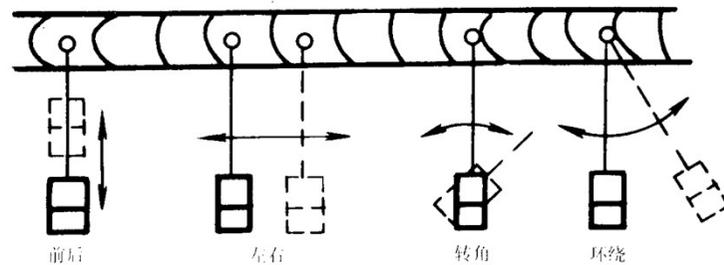
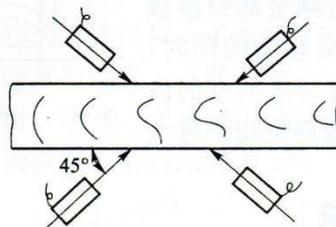
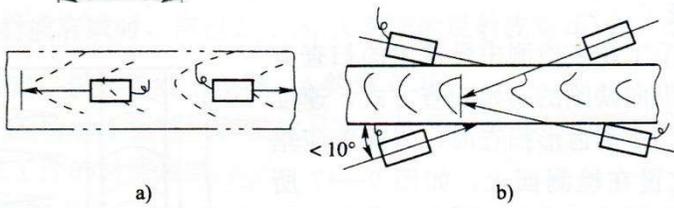
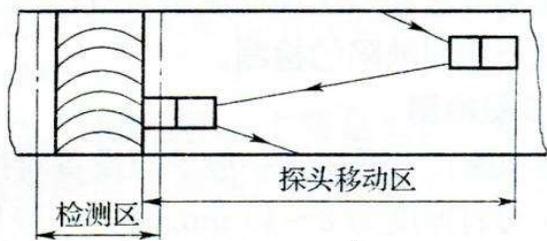
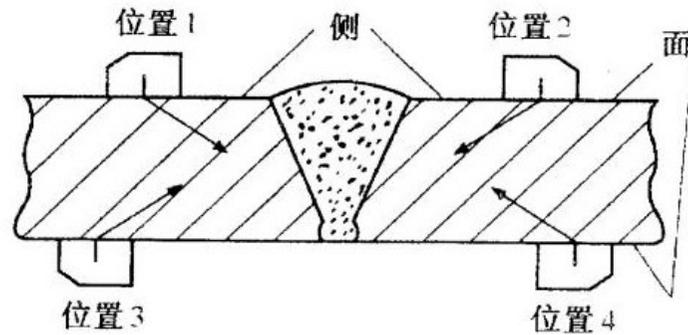
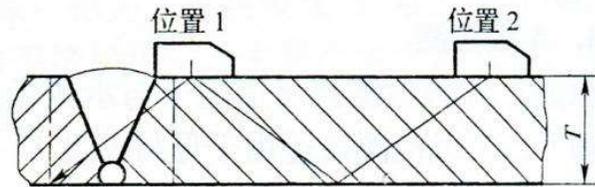
- DAC曲线



# 横波斜探头检测 Angle Beam Testing

## ——检验

- 扫查：前后、左右、摆动、环绕



# 横波斜探头检测 Angle Beam Testing

## ——检验

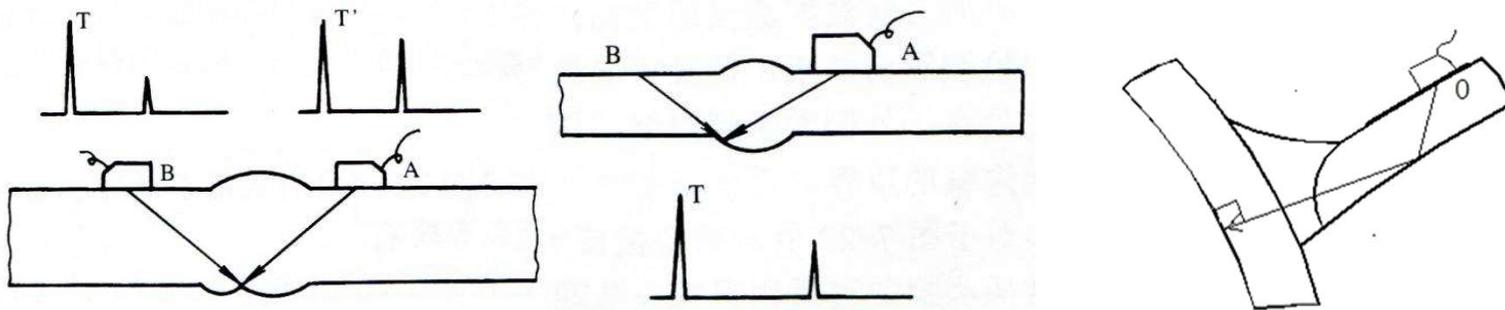
- 检测技术要求

检测技术等级	工件厚度 $t/mm$	纵向缺陷检测			横向缺陷检测		
		斜探头检测		直探头检测	斜探头横向扫查		
		不同折射角(K值)探头数量	检测面(侧) <i>或双面单侧</i>	探头移动区宽度	探头位置	不同折射角(K值)探头数量	检测面
A	$6 \leq t \leq 40$	1	单面双侧或单面单侧	$1.25P$	—	—	—
	$6 \leq t \leq 40$	1	单面双侧	$1.25P$	—	1	单面
B	$40 < t \leq 100$	1 或	双面双侧	$1.25P$	—	1	单面
		2	单面双侧或双面单侧				
	$100 < t \leq 200$	2	双面双侧	$0.75P$	—	2	单面
C	$6 \leq t \leq 15$	1 或	单面双侧	$1.25P$	—	1	单面
		2	单面单侧或双面单侧				
	$15 < t \leq 40$	2	双面双侧	$1.25P$	—	2	单面
	$40 < t \leq 100$	2	双面双侧	$1.25P$	单面(G或H)	2	单面
	$100 < t \leq 500$	2	双面双侧	$0.75P$	单面(G或H)	2	单面

# 横波斜探头检测 Angle Beam Testing

## ——检验

- 波形鉴别：表面波、焊纹回波、母材内反射体波



- 焊缝表面沟槽反射 焊角反射      Y节点焊缝主管内壁反射

# 横波斜探头检测 **Angle Beam Testing** ——不连续性评定

- 定位：确定三维坐标
- 定量：波幅量、指示长度
- 定性：缺陷类型

# 横波斜探头检测 **Angle Beam Testing** ——不连续性评定

- **JB/T47103.3**: 焊缝质量分为I、II、III共三个等级，其中I级最高，III级最低。
- 相邻两缺陷各向间距小于**5mm**时，两缺陷指示长度之和（含间距）作为单个缺陷的指示长度。
- 反射波幅在评定线以下均评为I级，
- 反射波幅位于**III**区的缺陷，无论其指示长度如何，均评定为III级。

# 横波斜探头检测 Angle Beam Testing

## ——不连续性评定

等级	工件厚度 $t$	反射波幅所在区域	允许的单个缺陷指示长度最大值	多个缺陷累计长度最大允许值 $L'$
I	$\geq 6 \sim 100$	I	单个缺陷指示长度最大不超过 $50 \leq 50$	—
	$> 100$		单个缺陷指示长度最大不超过 $75 \leq 75$	—
	$\geq 6 \sim 100$	II	$t/3$ , 最小可为 10, 最大不超过 30	在任意 $9t$ 焊缝长度范围内 $L'$ 不超过 $t$
	$> 100$		$t/3$ , 最大不超过 50	
II	$\geq 6 \sim 100$	I	单个缺陷指示长度最大不超过 $60 \leq 60$	—
	$> 100$		单个缺陷指示长度最大不超过 $90 \leq 90$	—
	$\geq 6 \sim 100$	II	$2t/3$ , 最小可为 12, 最大不超过 40	在任意 $4.5t$ 焊缝长度范围内 $L'$ 不超过 $t$
	$> 100$		$2t/3$ , 最大不超过 75	
III	$\geq 6$	II	长度超过 II 级	
		III	所有缺陷 (任何缺陷指示长度)	
		I	单个缺陷指示长度大于 60 ( $t$ 为 6~100) 或 单个缺陷指示长度大于 90 ( $t > 100$ )	—
<p>注 1: 当焊缝长度不足 <math>9t</math> (I 级) 或 <math>4.5t</math> (II 级) 时, 可按比例折算。当折算后的多个缺陷累计长度允许值小于该级别允许的单个缺陷指示长度时, 以允许的单个缺陷指示长度作为缺陷累计长度允许值。</p> <p>注 2: 用 6.3.13.4 规定的测量方法, 使声束垂直于缺陷的主要方向移动探头测得的缺陷长度。</p>				

# 横波斜探头检测 **Angle Beam Testing** ——记录与报告

## 记录与报告内容：

工件情况：名称、材质、厚度、坡口、热处理、表面状况等；

检测条件：仪器型号、探头型号、耦合剂、试块、检测频率、折射角、晶片尺寸等；

标准：检测标准、验收标准；

缺陷情况：位置、波幅、长度、性质、数量等；

工件草图：

# 纵波直探头检测

## **Normal Beam Testing**

- 母材声波经过区域检验
- 加强高磨平后检验

# 相关标准 **Relevant Standards**

- 《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》（**GB/T11345-2013**），适用于母材厚度不小于8mm的低超声衰减（特别是散射衰减小）金属材料熔化焊焊接接头手工超声检测技术。检测时焊缝及母材温度在0~60°C之间。本标准主要适用于母材和焊缝均为铁素体类钢全熔透焊缝。

# 棒材检测 **THE UT FOR BARS**

- 制造工艺及其相关不连续性

**Process and Relevant Discontinuities**

- 检测方法 **Testing Techniques**

- 相关标准 **Relevant Standards**

# 制造工艺及其相关不连续性

## Process and Relevant Discontinuities

- 裂纹
- 白点
- 折叠
- 夹杂
- 残余缩孔

# 管材检测 **THE UT FOR PIPES**

- 制造工艺及其相关不连续性

**Process and Relevant Discontinuities**

- 检测方法 **Testing Techniques**

- 相关标准 **Relevant Standards**

# 制造工艺及其相关不连续性

## **Process and Relevant Discontinuities**

- 热扎
- 冷扎
- 旋压
- 焊接

# 制造工艺及其相关不连续性

## **Process and Relevant Discontinuities**

- 裂纹
- 折叠

# 检测方法 **Testing Techniques**

- 接触法横波检测

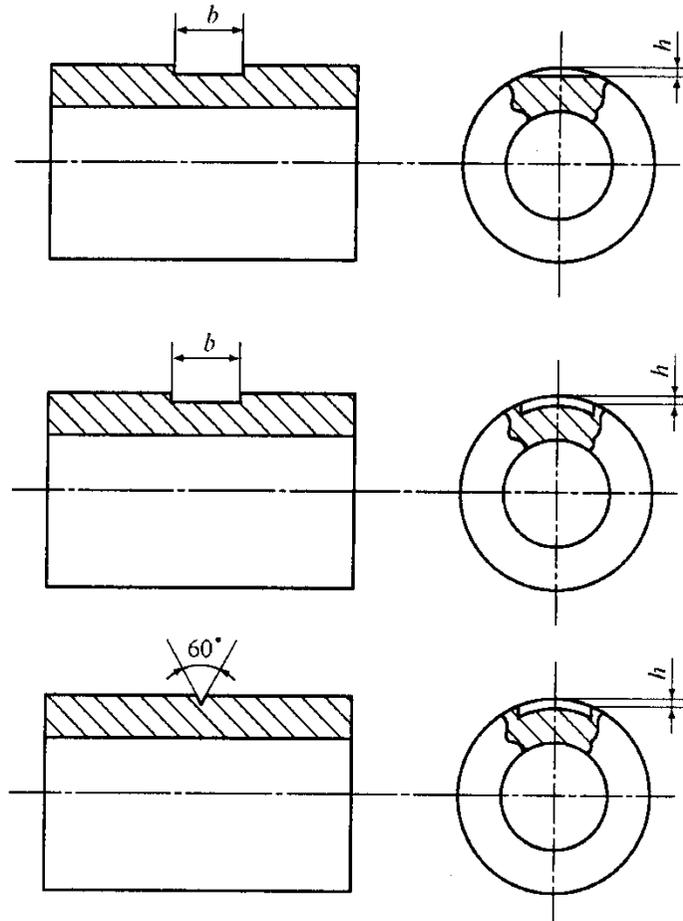
Contact Angle Beam testing

- 水浸法横波检测

Immersion Angle Beam testing

# 接触法横波检测

## Contact Angle Beam testing



# 水浸法横波检测

## Immersion Angle Beam testing

- 自动扫查
- 可用较高频率

# 相关标准 **Relevant Standards**

- API SPEC 5CT
- API SPEC 5D
- API SPEC 5L