

# 超声波探伤仪

## 焊缝检测

2022.4.28



# 讲义内容

- ▶ 超声波探伤物理基础
- ▶ 超声波探伤仪、探头及试块
- ▶ 焊缝超声波探伤

# 什么是超声波

超声波是声波的一种，是机械振动在弹性介质中传播而形成的波动，通常以其波动频率  $f$  和人的可闻频率加以区分超声波与其它声波种类：

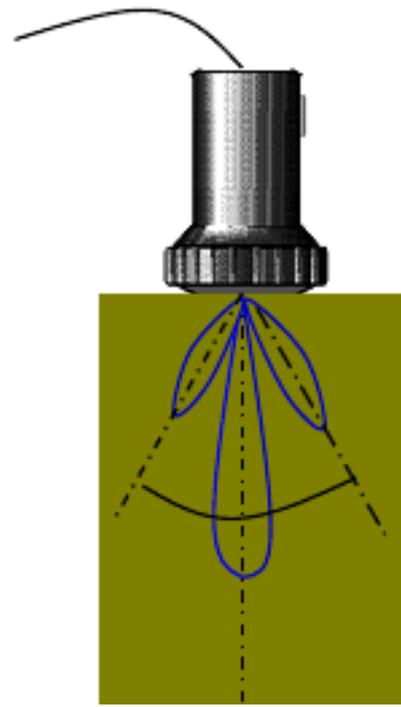


声波	波动频率	可闻频率
次声波	$f < 20\text{Hz}$	人耳不可闻
声波	$20\text{Hz} \leq f \leq 20\text{KHz}$	人耳可闻
超声波	$20\text{KHz} \leq f \leq 10^3 \text{ MHz}$	人耳不可闻
特超声波	$f > 10^3 \text{ MHz}$	人耳不可闻

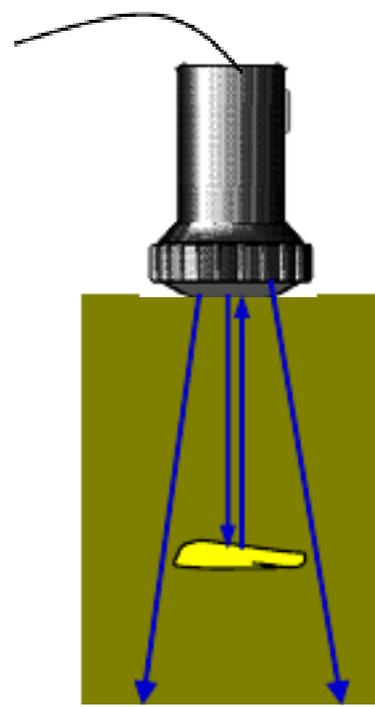
超声波探伤用的频率为  $0.25\text{MHz} \sim 15\text{MHz}$ ，金属材料超声波探伤常用频率为  $0.5\text{MHz} \sim 10\text{MHz}$ ，其波长约  $10\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$ 。



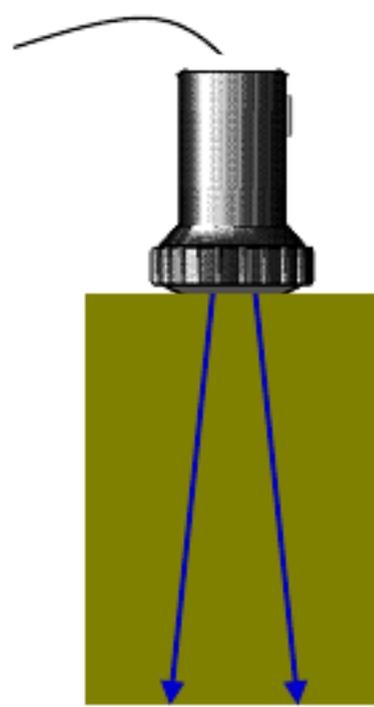
# 超声波特性



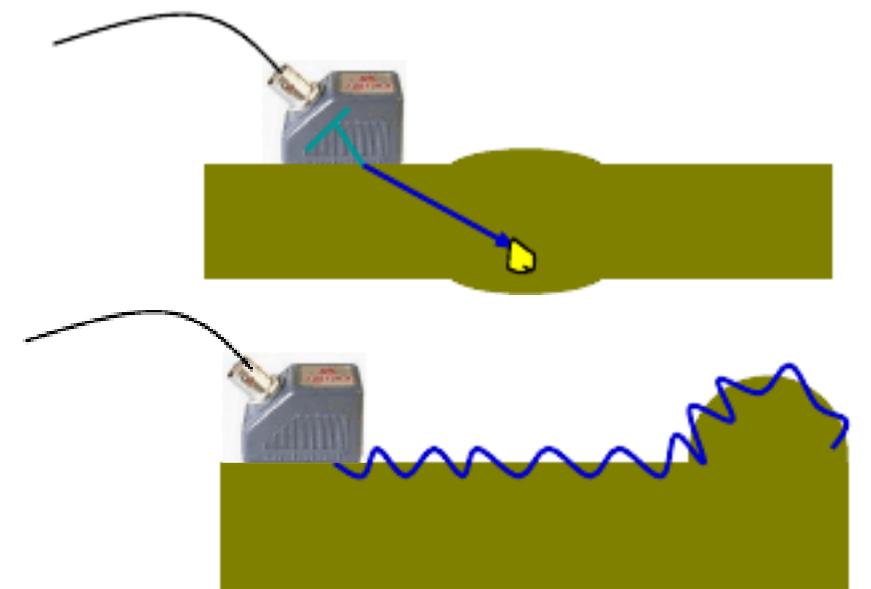
束射特性



反射特性



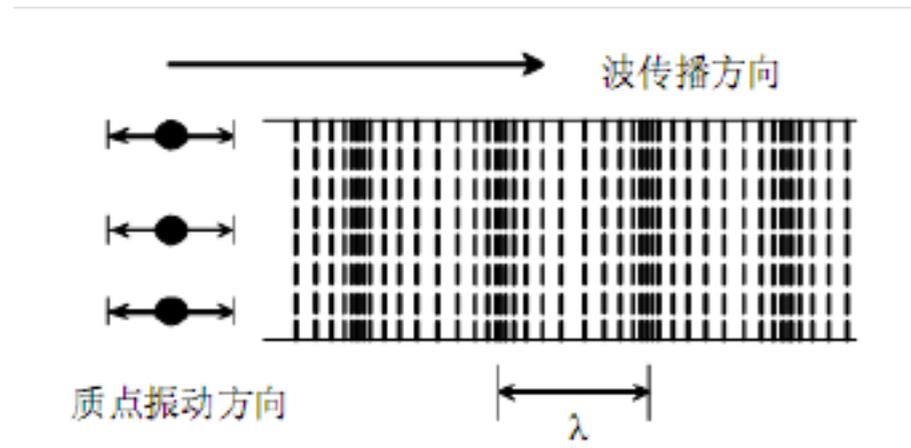
传播特性



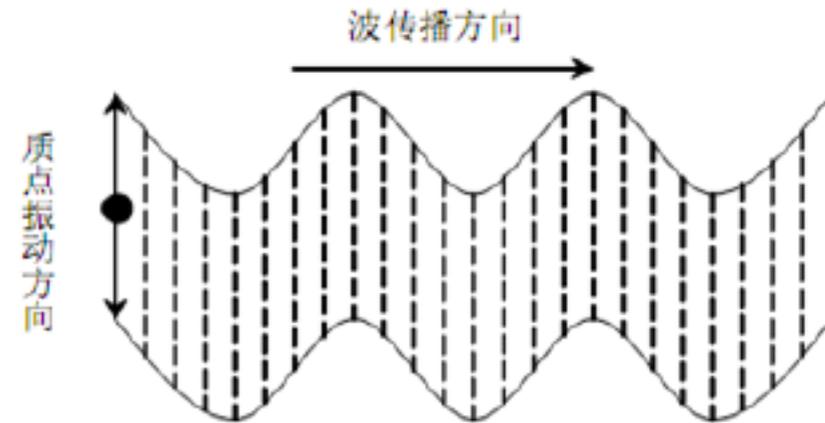
波型转换特性

► 人们正是利用了超声波的这些特性，发展了超声波探伤技术。

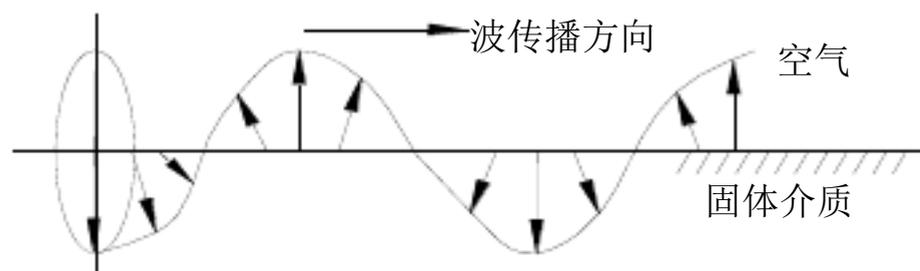
# 超声波的波型



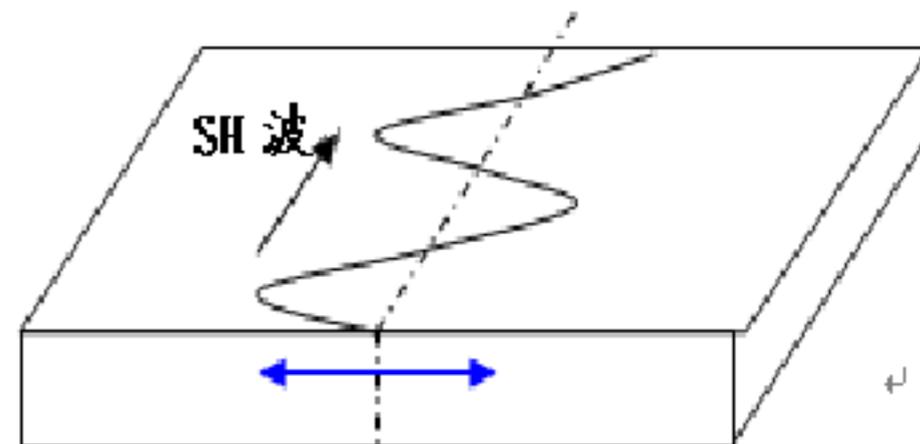
纵波



横波



表面波



板波

# 超声波声速

材料	纵波声速 (m/s)	横波声速 (m/s)
钢	5900	3230
水	1400	—
有机玻璃	2720	1460
铝	6260	3080
铜	4700	2260

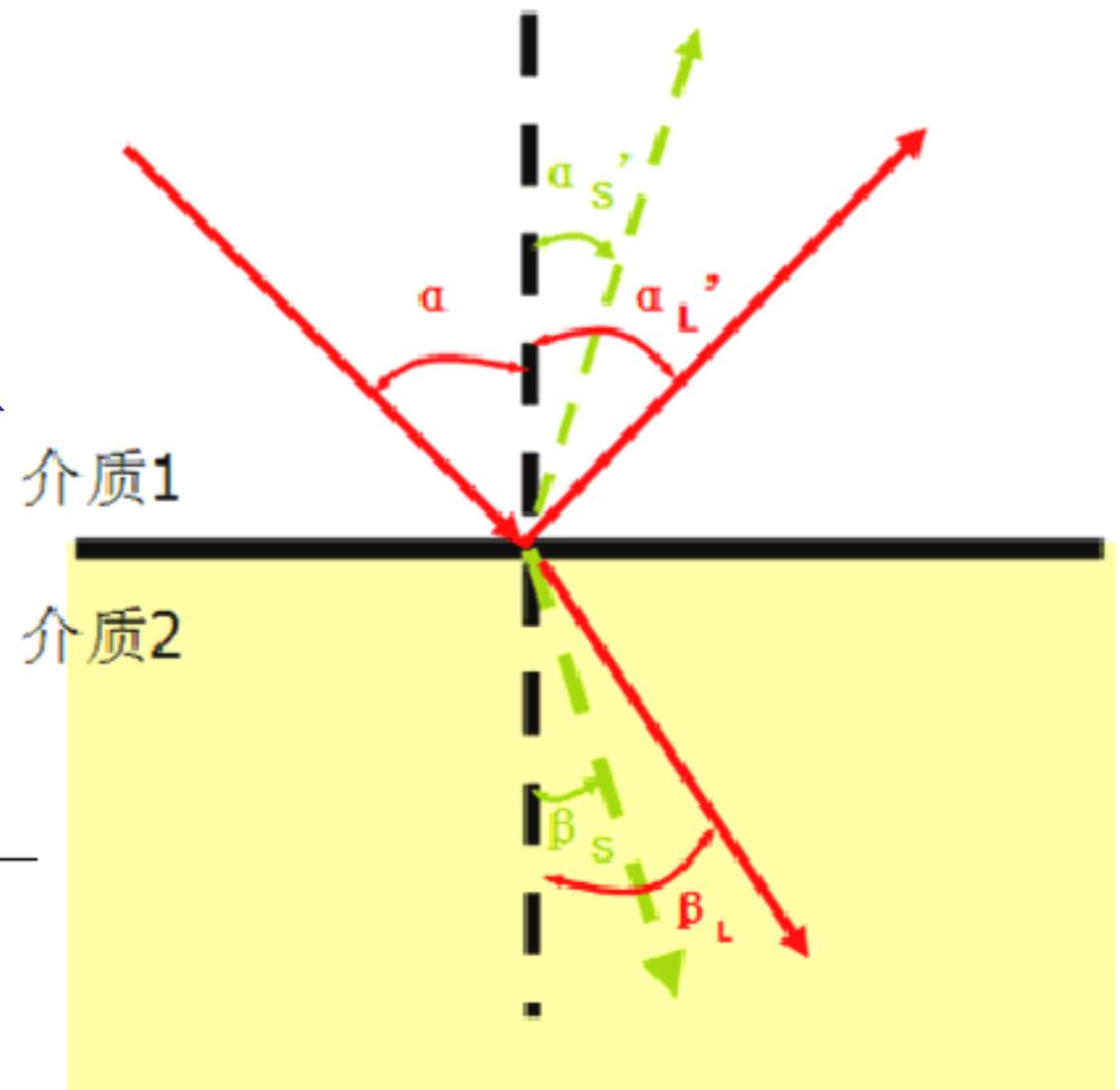


# 超声波的反射、折射、波形转换

## ► 入射纵波反射

折射波型转换纵波倾斜入射到不同介质的表面时会产生反射纵波反射横折射纵波折射横波，反射、折射角度符合一般的反射折射定律。

$$\frac{\sin \alpha}{c_{1L}} = \frac{\sin \beta_S}{c_{2S}} = \frac{\sin \beta_L}{c_{2L}} = \frac{\sin \alpha_S'}{c_{1S}}$$



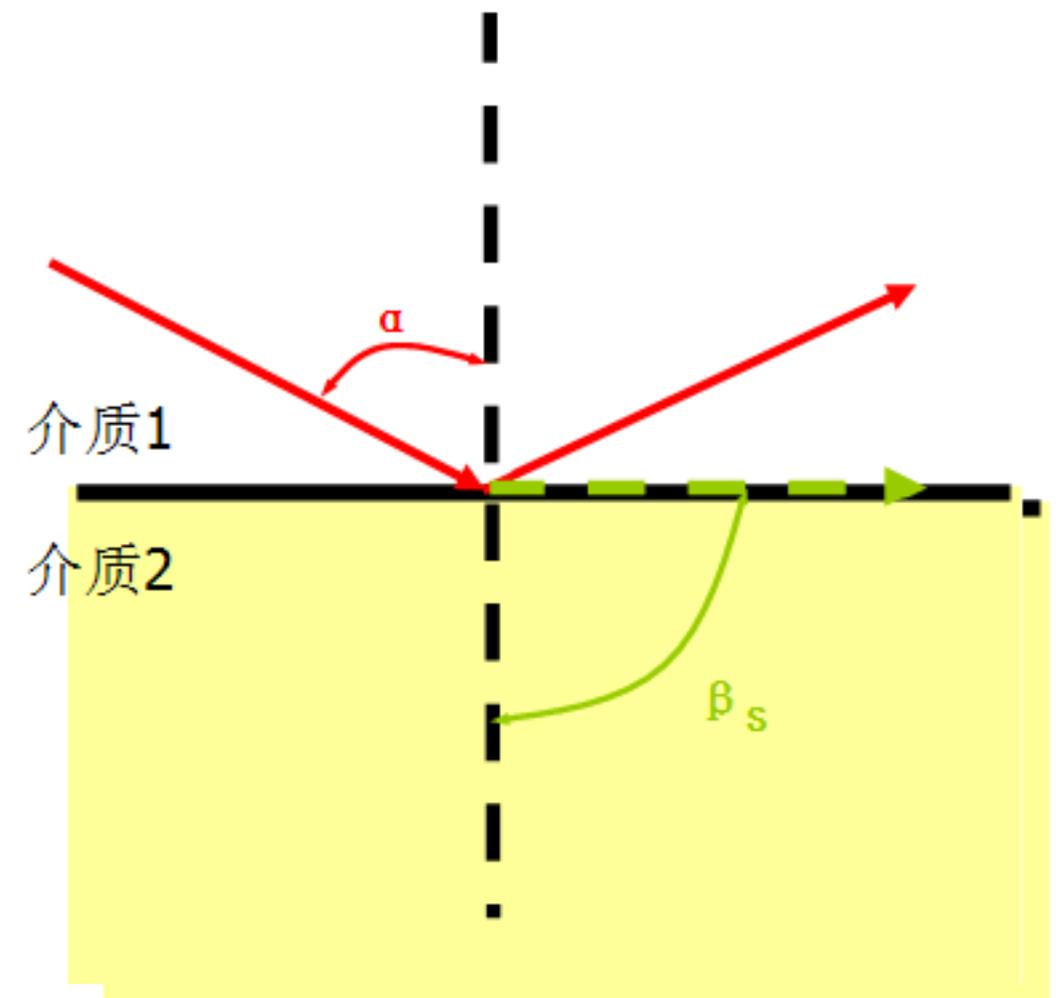
# 超声波的反射、折射、波形转换

## ► 第一临界角

当在第二介质中的折射纵波角等于90度时称这时的纵波入射角为第一临界角  $\alpha_1$ 。这时在第二介质中已没有纵波，只有横波。焊缝探伤用的横波就是经过界面波型转换得到的。

## ► 第二临界角

当纵波入射角继续增大时，在第二介质中的横波折射角也增大，当  $\beta_s$  达90度时，第二介质中没有超声波，超声波都在表面，为表面波。



# 超声波的反射、折射、波形转换

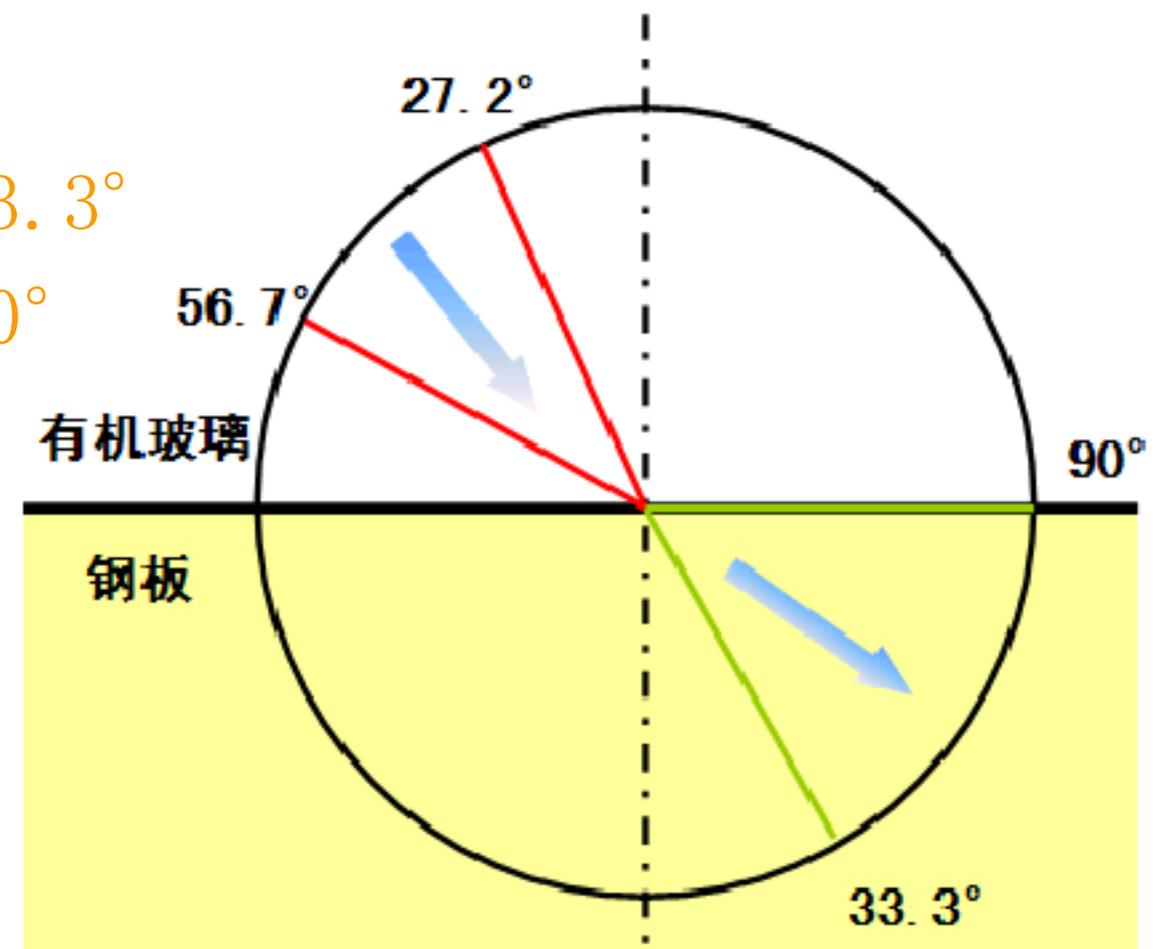
● 在有机玻璃与钢的介面：

第一临界角为  $\alpha = 27.2^\circ$  ，  $\beta_S = 33.3^\circ$

第二临界角为  $\alpha = 56.7^\circ$  ，  $\beta_S = 90^\circ$

用于焊缝检测的超声波斜探头的入射角必须大于第一临界角而小于第二临界角。

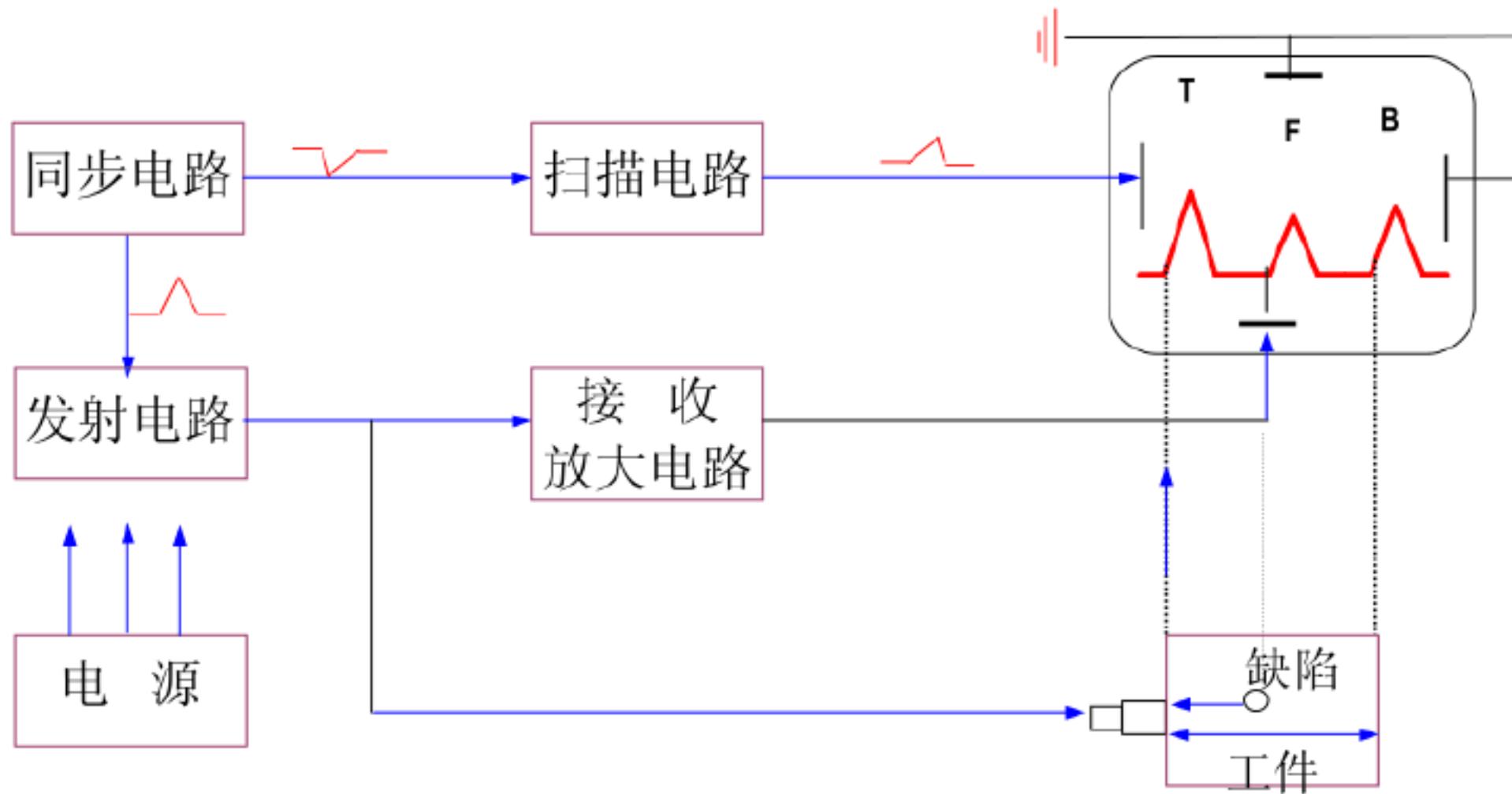
我国习惯：斜探头的横波折射角用横波折射角度的正切值表示，如K=2



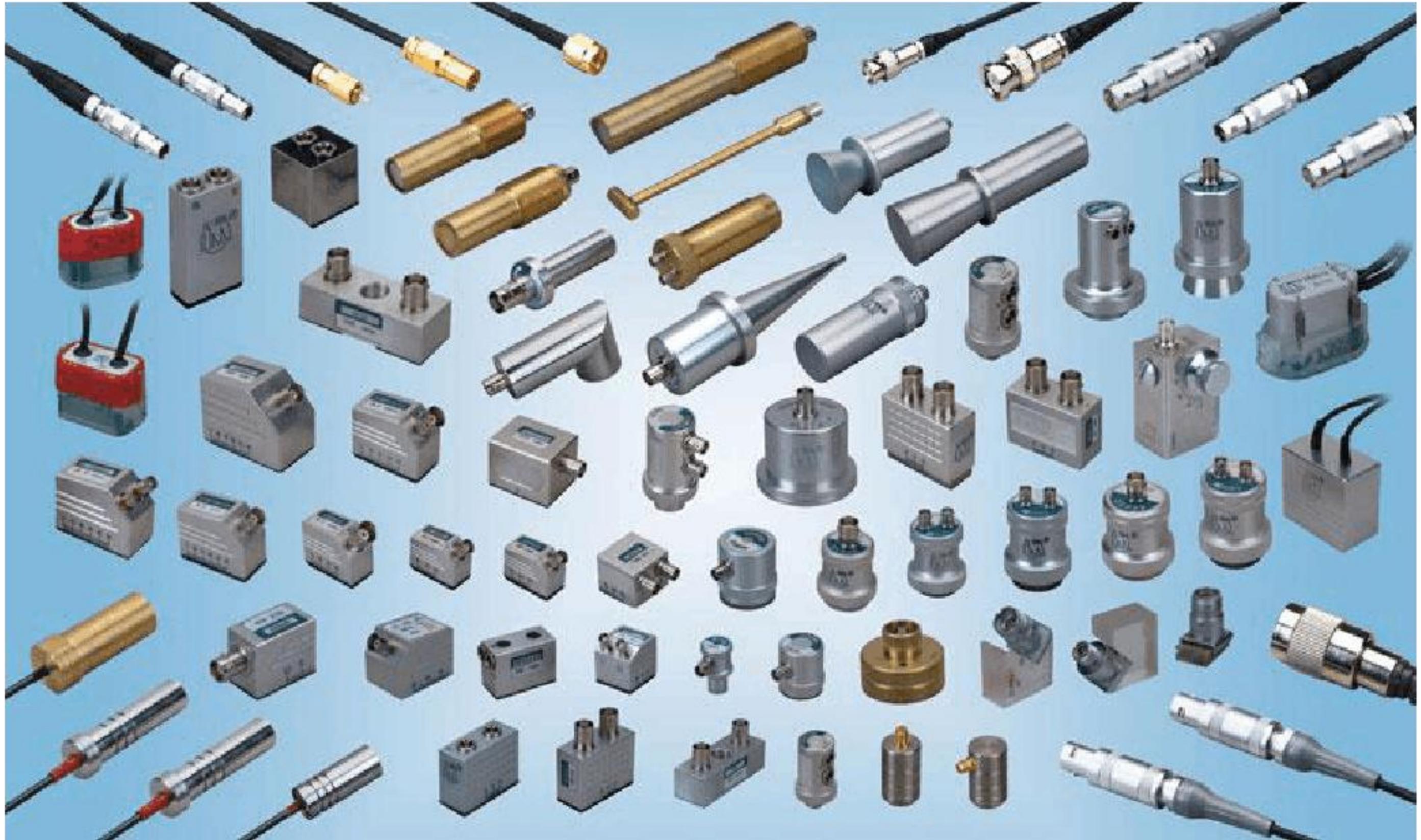
# 超声波探伤仪



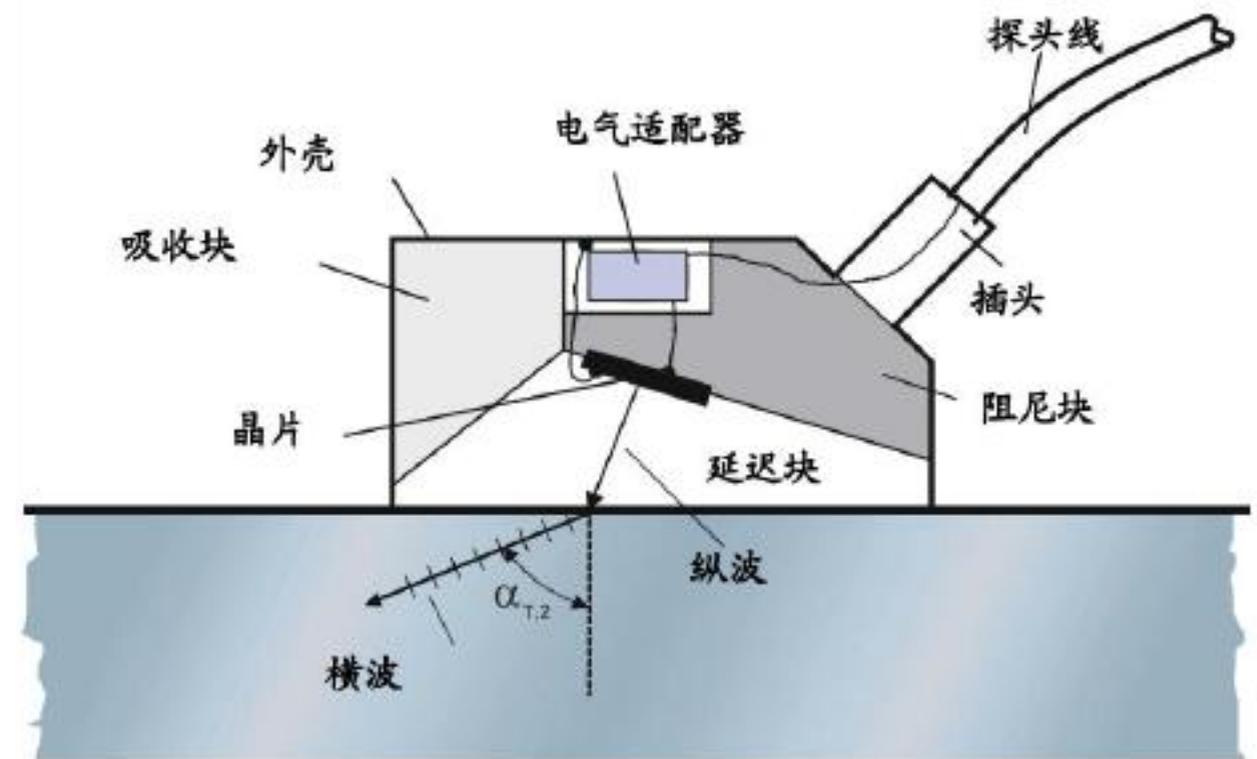
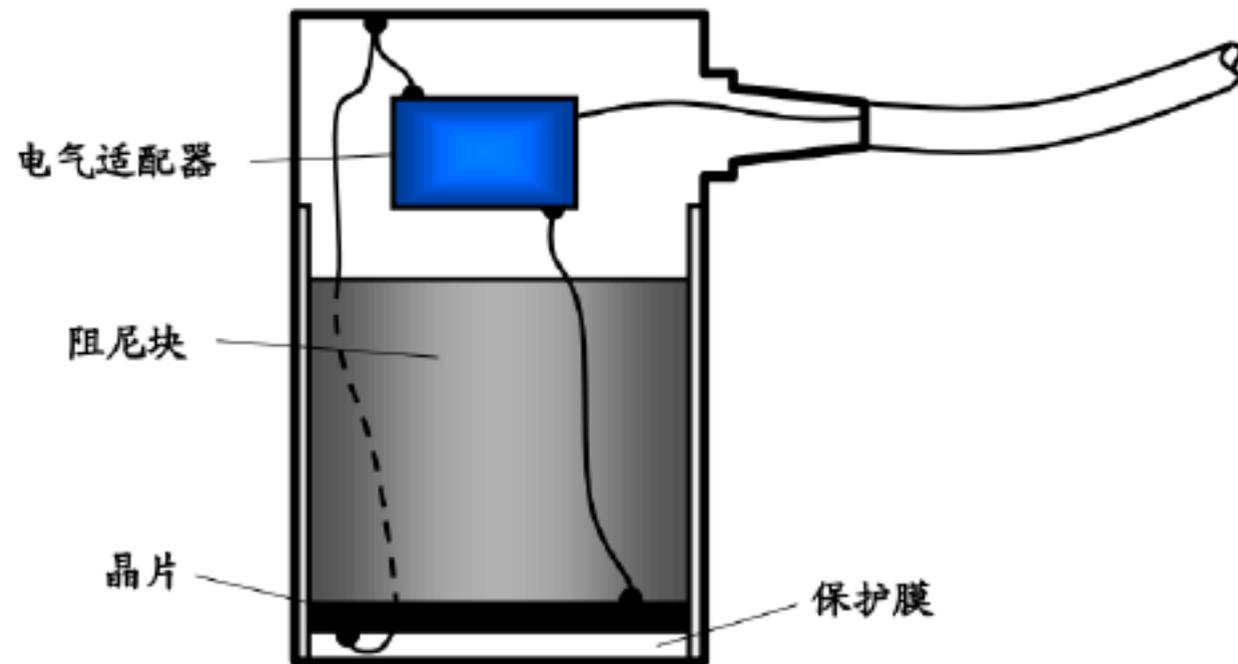
# 超声波探伤仪原理



# 超声波探头



# 超声波探头



# 超声波探头参数表示

基本频率

晶片材料

晶片尺寸

探头种类

特征

2.5 B 20 Z

直探头

园晶片直径 20mm

钛酸钡陶瓷

频率 2.5MHz

5 P 6×6 K 3 — K值为3

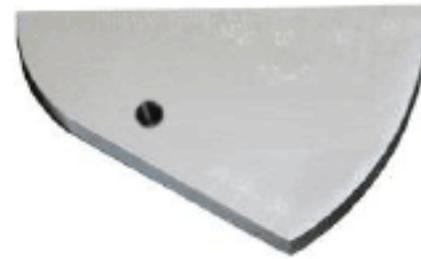
K表示折射角

矩形晶片 × 6mm

钛酸铅陶瓷

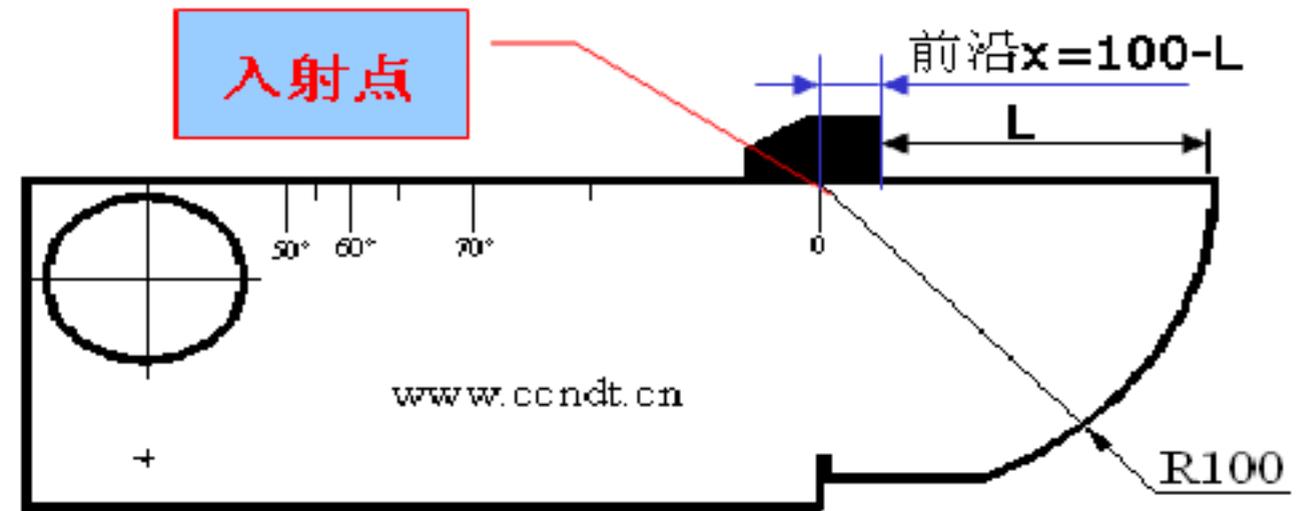
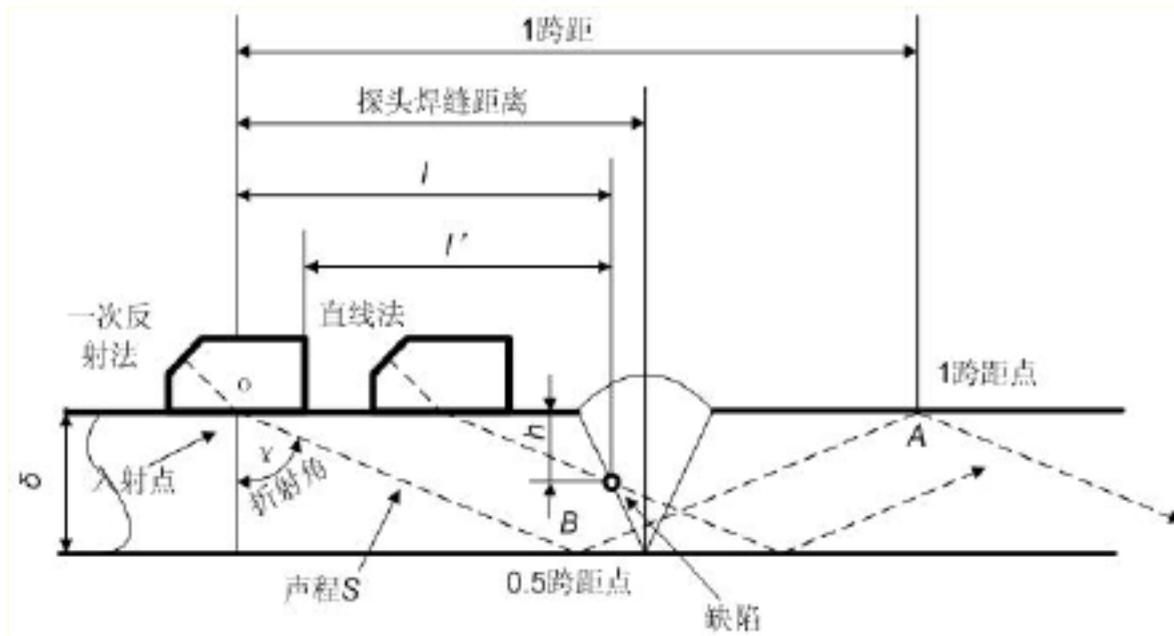
频率5MHz

# 超声波探伤用试块



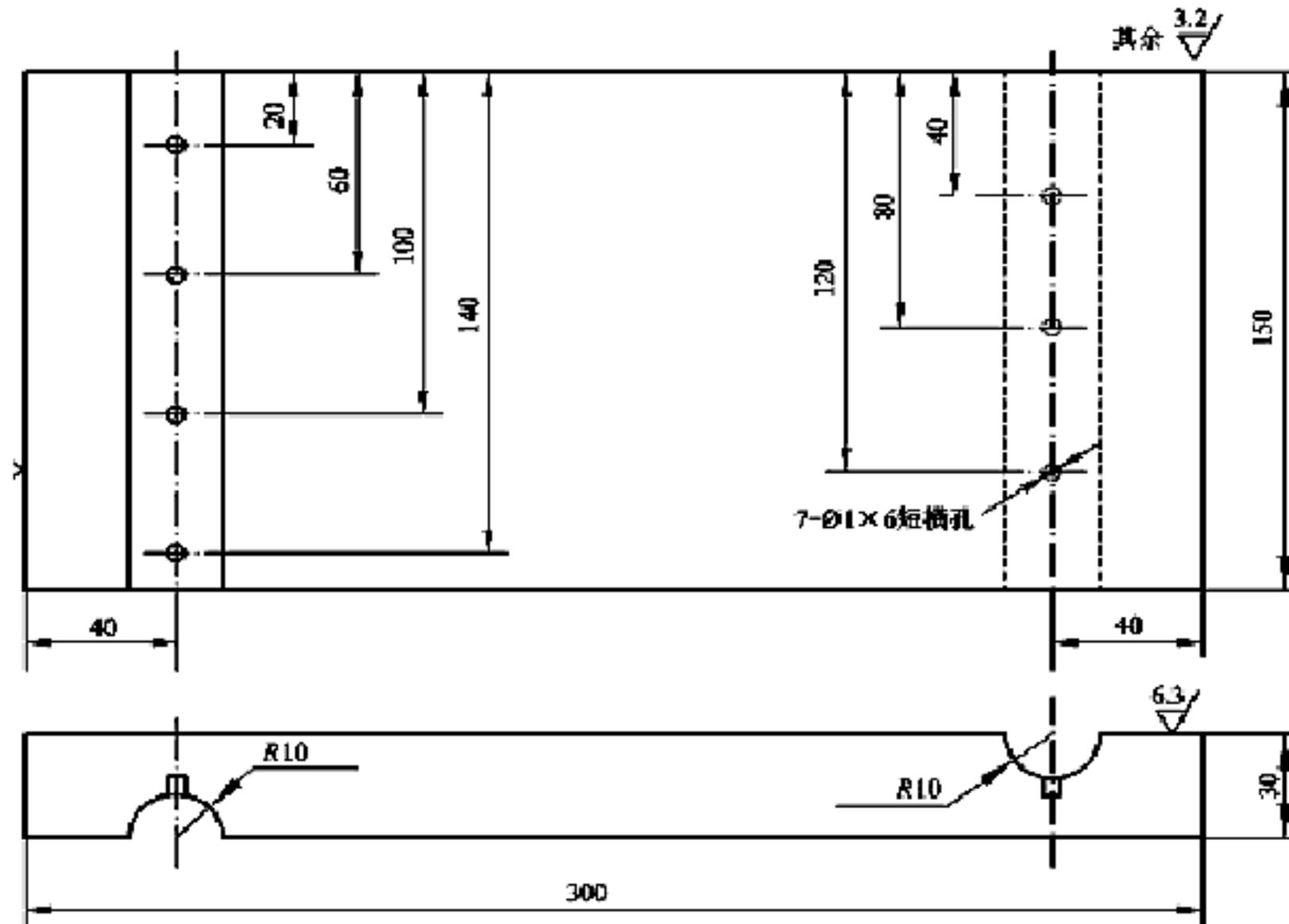


# 超声波探伤用试块



调节：探头的前沿、K值、声速

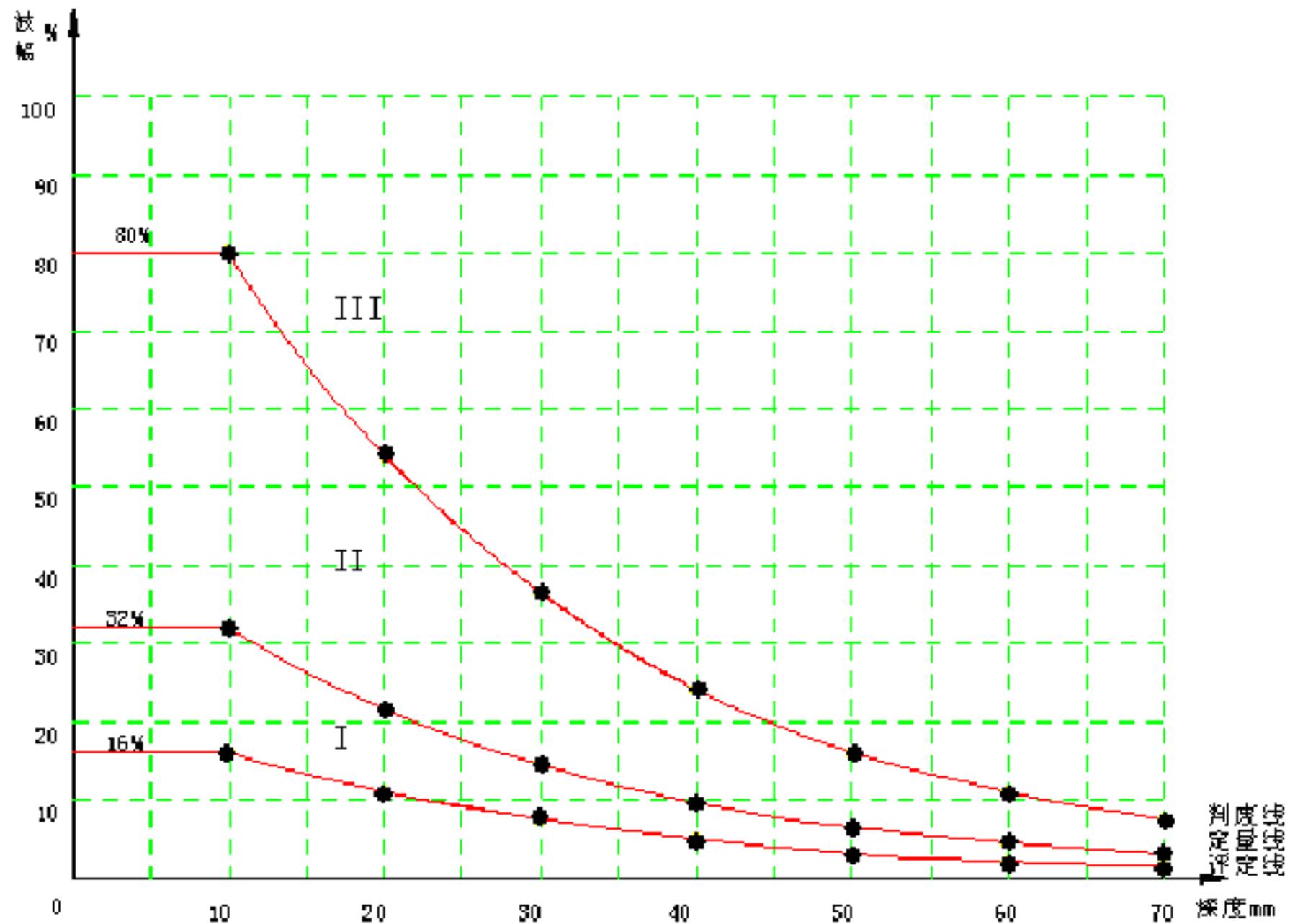
# 超声波探伤用试块



**CSK-III A**



# 距离-波幅 (DAC)曲线绘制



三条曲线生成后，按“增益”键，调节曲线的高度，使判废线达到屏幕的80%高度，进入探伤界面，进行探伤检测。

# 探测灵敏度的选定

□□ 探测灵敏度决定了检测缺陷的能力

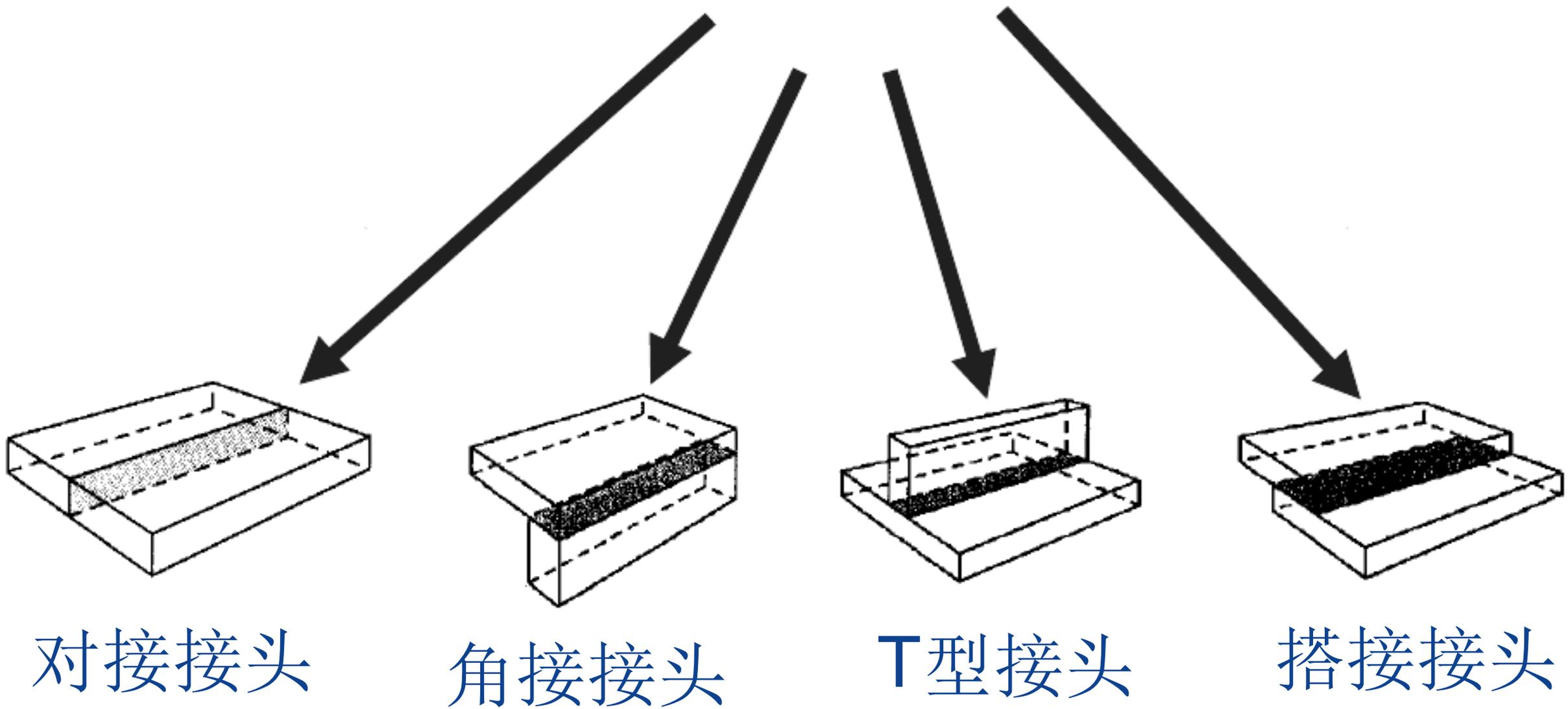
灵敏度高，检测缺陷的能力大，探伤时反射的杂波太多，影响缺陷波的识别；灵敏度低，检测缺陷的能力也低，会漏掉缺陷。

表 距离-波幅 (DAC) 曲线的灵敏度

DAC曲线	级别		
	A	B	C
板厚,mm	8~50	8~300	8~300
判废线	DAC	DAC-4dB	DAC-2dB
定量线	DAC-10dB	DAC-10dB	DAC-8dB
评定线	DAC-16dB	DAC-16dB	DAC-14dB

# 焊接接头类型

接头类型



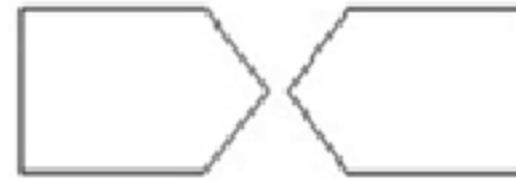
# 焊接坡口形式



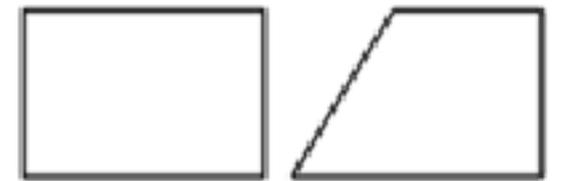
I型坡口



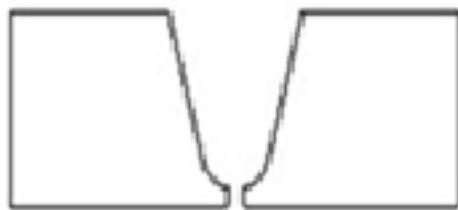
V型坡口



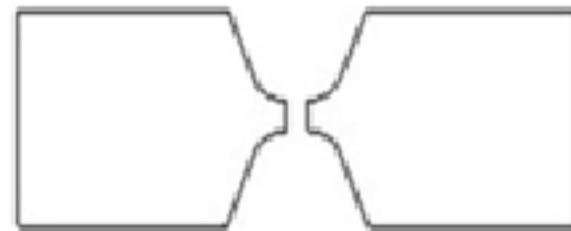
X型坡口



单边V型坡口



U型坡口

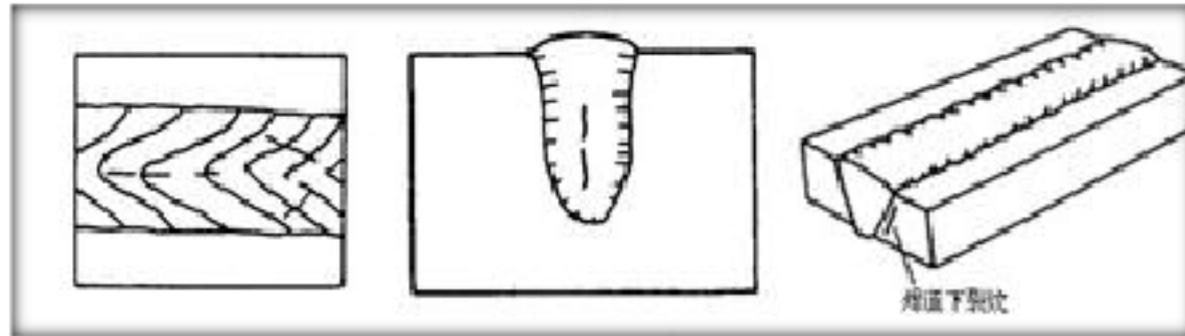


双面U型坡口

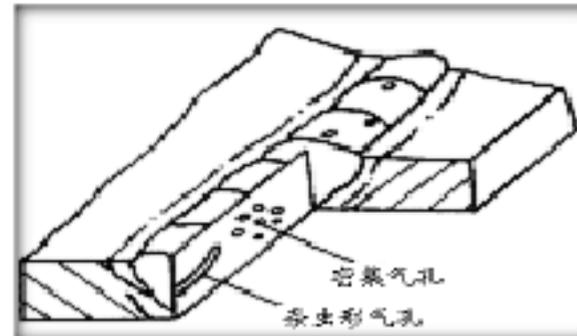


K型坡口

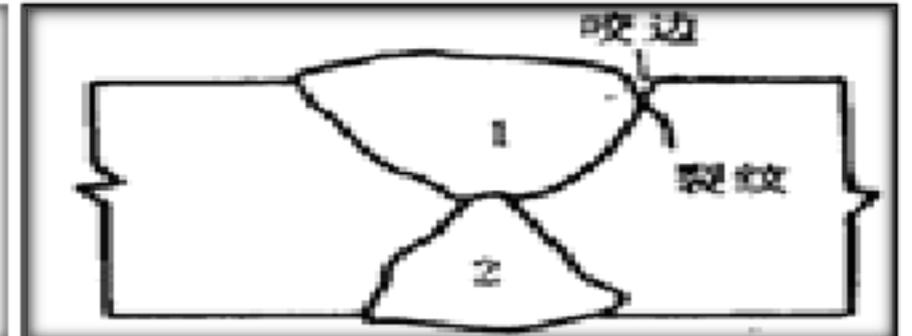
# 常见焊接缺陷



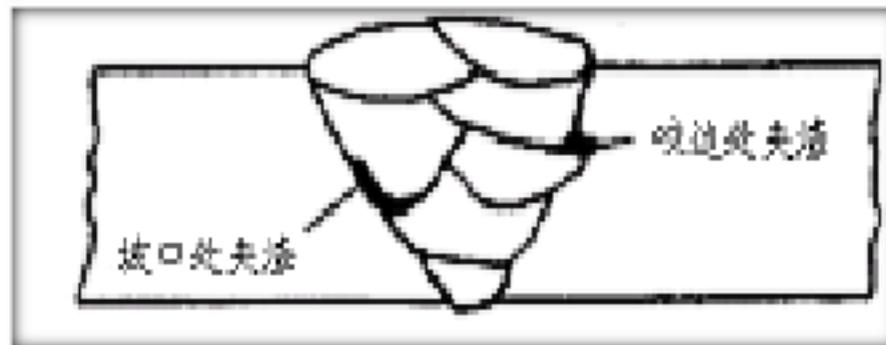
裂纹



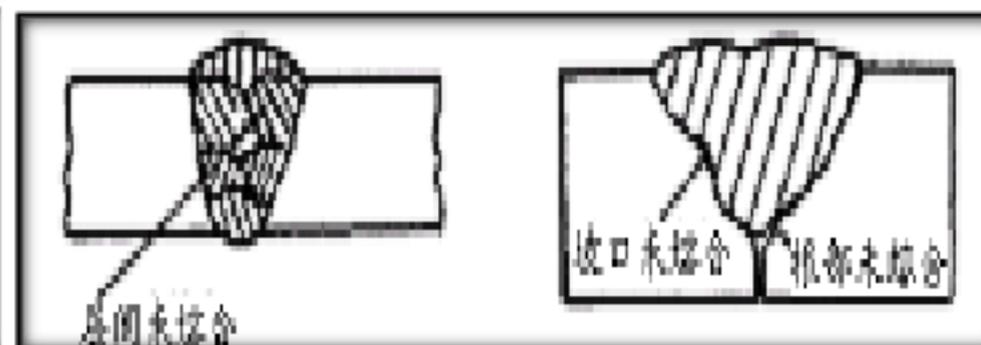
气孔



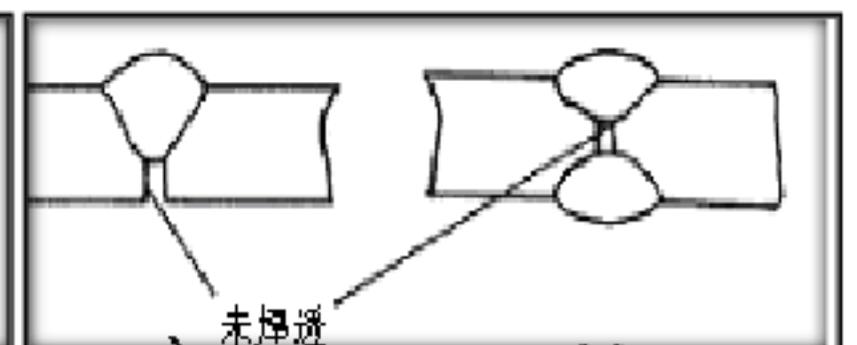
咬边



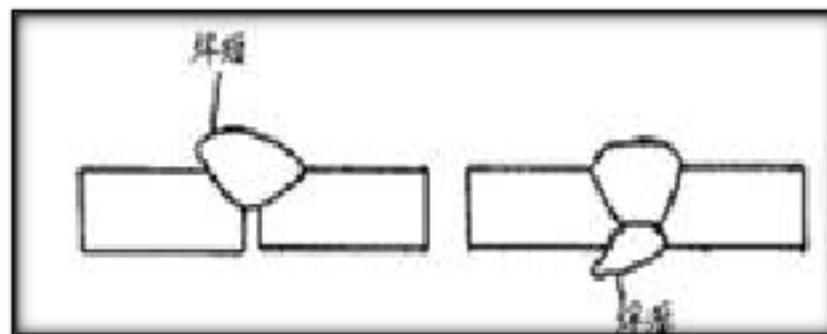
夹渣



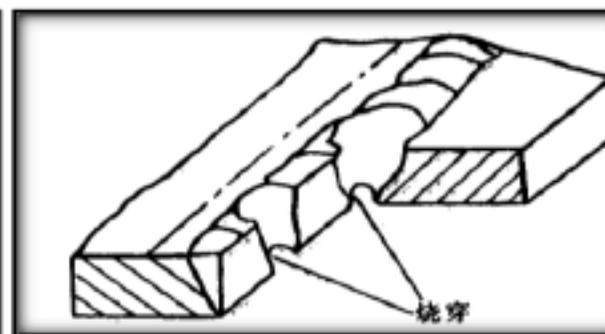
未熔合



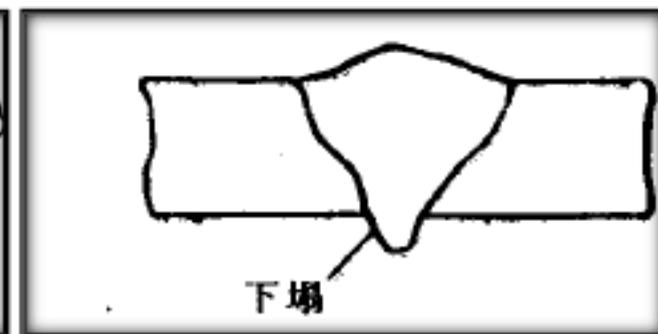
未焊透



焊瘤



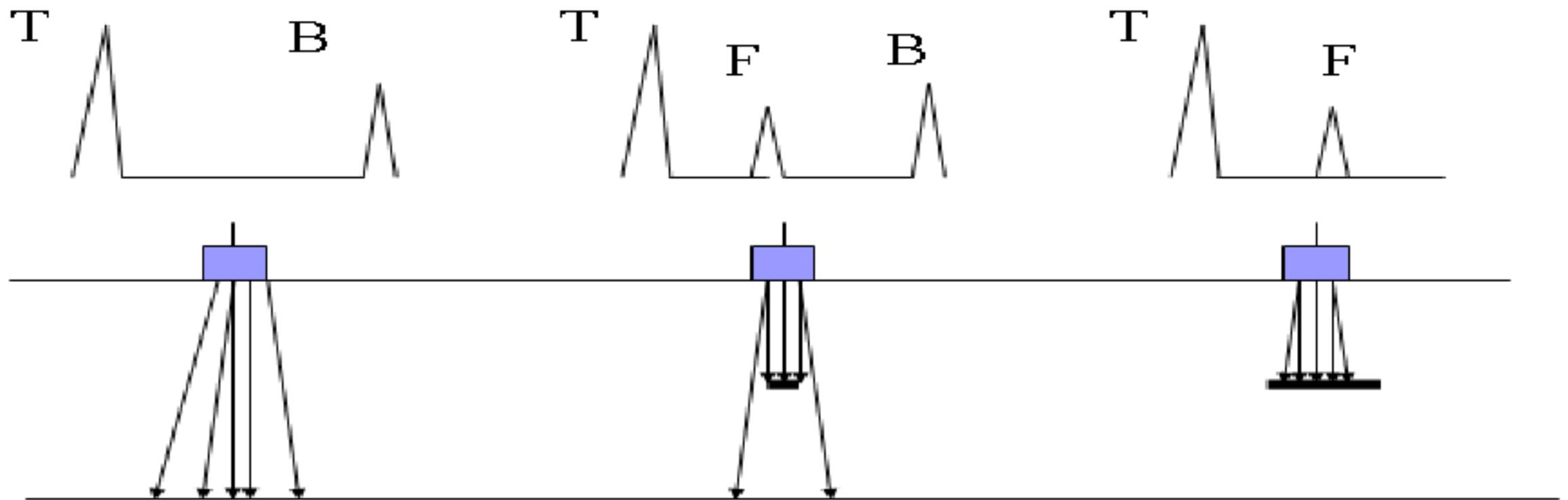
烧穿



下塌

# 超声波探伤基本方法—直接接触法

## 直探头

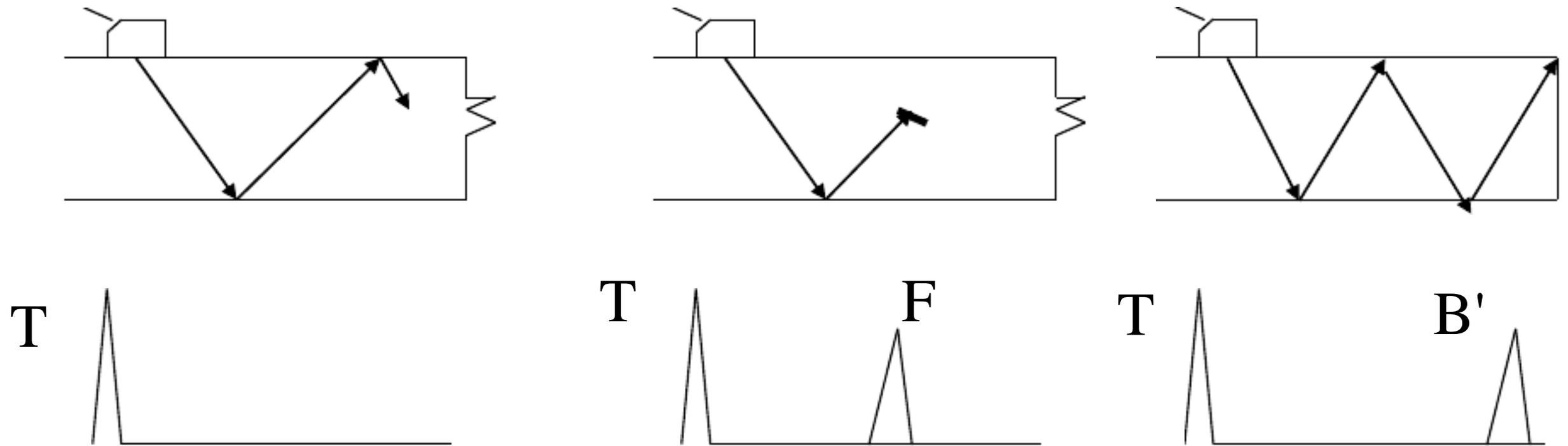


## 垂直入射法

——采用直探头将声束垂直入射工件探伤面进行探伤的方法。

# 超声波探伤基本方法——直接接触法

## 斜探头



## 斜角探伤法

——是采用斜探头将声束倾斜入射工件探伤面进行探伤的方法。

# 探测面的修整

□□ 采用二次波探伤，探测面修整宽度为：

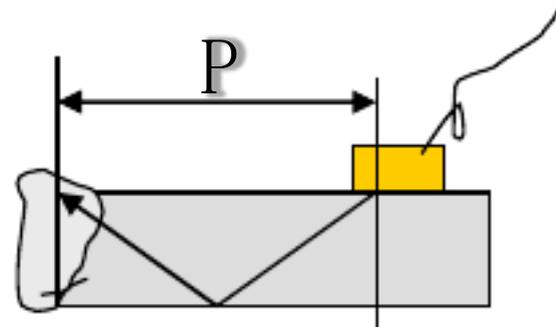
$$S \geq 2KT + 50 \quad (\text{mm})$$

□□ 采用一次波探伤，探测面修整宽度为：

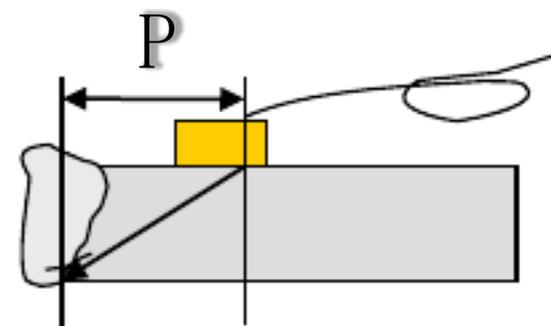
$$S \geq KT + 50 \quad (\text{mm})$$

式中：K——探头的K值；

T——工件厚度。



二次波探伤



一次波探伤

# 耦合剂的选用

? 耦合剂

- 流动性、粘度、附着力适当，易清洗；
- 声阻抗高，透声性好；
- 价格便宜；
- 对工件无腐蚀，对人无害，不污染环境；
- 性能稳定，不易变质，能长期保存。

常用耦合剂有

机油、水、水玻璃、甘油、浆糊等。



# 探头（K值）角度的选择

## 探头K值（角度）

- 使声束能扫查到整个焊缝（检测区）截面
- 使声束中心线尽量与主要危险性缺陷垂直
- 保证有足够的探伤灵敏度

## 推荐采用的斜探头K值

板厚（mm）	6~25	25~46	46~120	120~400
K值	3.0~2.0	2.5~1.5	2.0~1.0	2.0~1.0
$\beta$	72° ~60°	68° ~ 56°	60° ~45°	60° ~45°

注：条件允许时，尽量采用大K值探头。

# 探头频率的选择

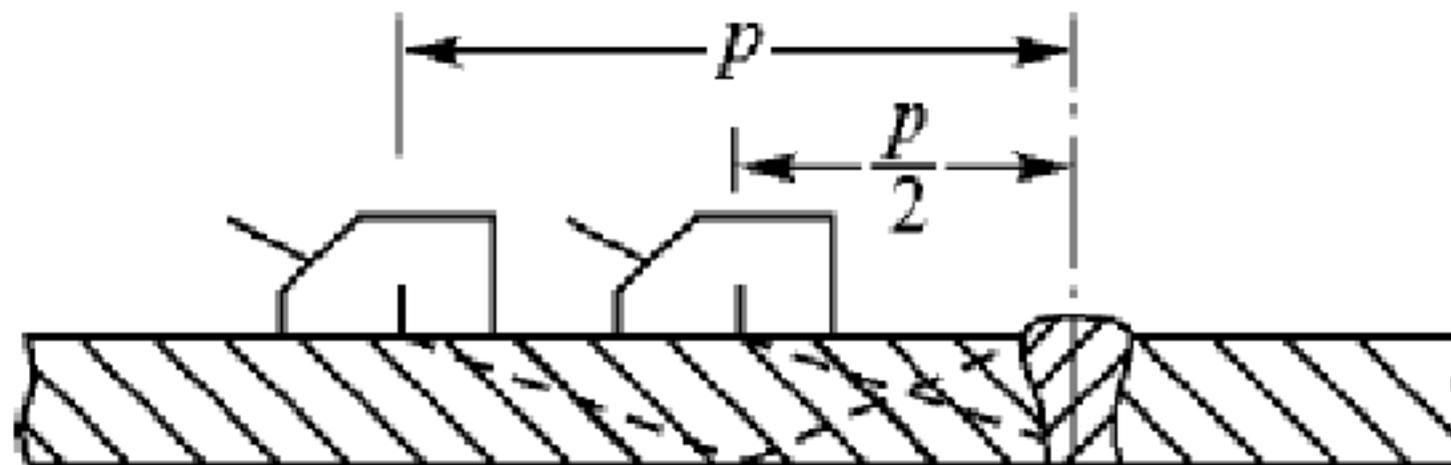
- 探测频率增高，则其波长减小，可检测的缺陷极限尺寸也小，一般为 $\lambda/2$ 。从这一角度出发，则频率增高，有利于缺陷检出。
- 另一方面，焊缝中的危险性缺陷大都与超声束入射方向成一定角度，在这种情况下，若频率过高，则缺陷的反射指向性也越好，回波反而不易被探头接收，故频率不宜太高。保证有足够的探伤灵敏度。

GB11345 标准规定：检验频率  $f$  一般在 2—5MHz 范围内选择，  
推荐选用 2—2.5MHz 公称频率检验。

# 检验等级- A

## A级检验

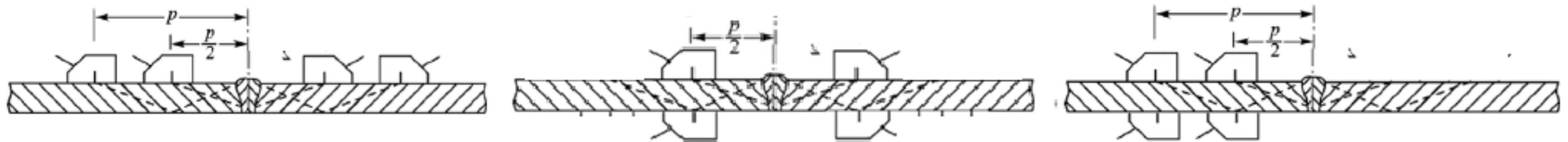
采用一种角度的探头在焊缝的单面单侧进行检验, 只对允许扫描到的焊缝截面进行探测. 一般不要求作横向缺陷的检验. 母材厚度大于50mm时, 不得采用A级检验。



# 检验等级-B

## B级检验

- 原则上采用一种角度探头在焊缝的单面双侧进行检验,对整个焊缝截面进行探测;
- 母材厚度大于100mm时,采用双面双侧检验;
- 受几何条件的限制,可在焊缝的双面单侧采用两种角度探头进行探测.条件允许时应作横向缺陷的检验。

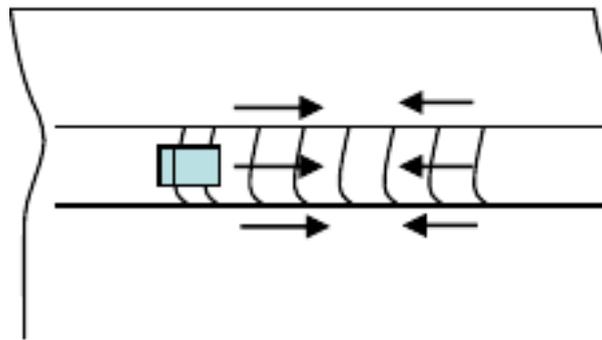


# 检验等级-C

## C级检验

至少要采用两种角度探头在焊缝的单面双侧进行检验.同时要作两个扫查方向和两种探头角度的横向缺陷检验.母材厚度大于100mm时,采用双面侧检验.其他附加要求是:

- 对接焊缝余高要磨平,以便探头在焊缝上作平行扫查;
- 焊缝两侧斜探头扫查经过的母材部分要用直探头作检查;
- 受焊缝母材厚度大于等于100mm,窄间隙焊缝母材厚度大于等于40mm时,一般要增加串列式扫查。



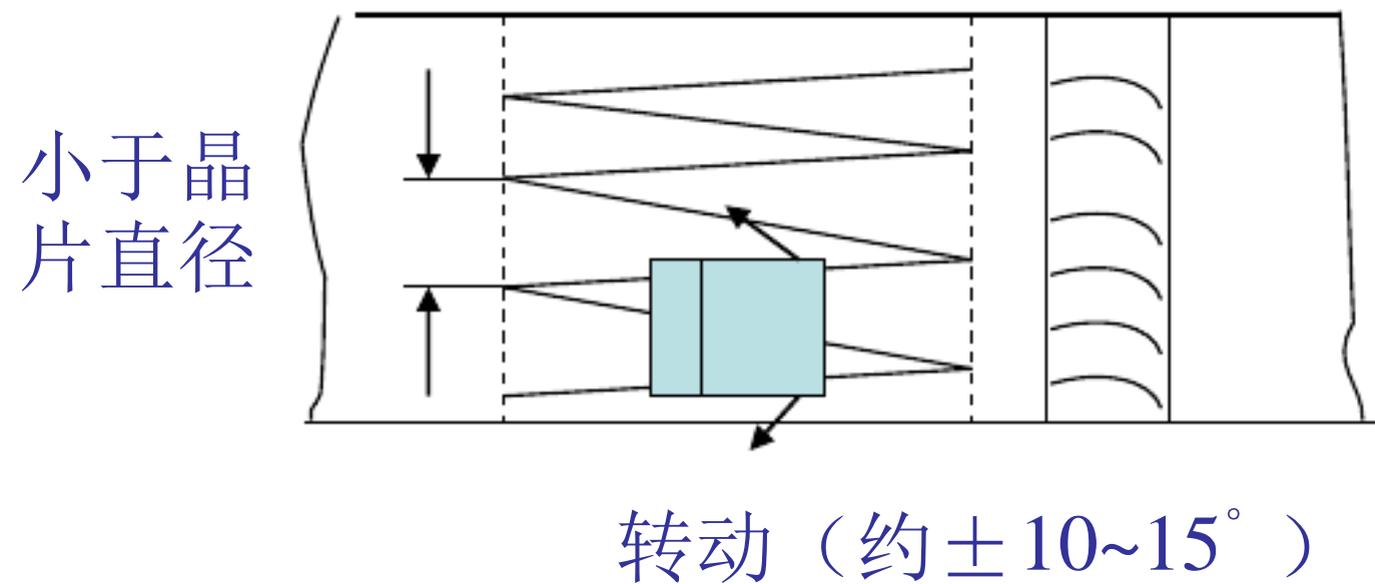
# 探伤面及使用折射角

板厚/mm	探 伤 面			探伤方法	使用K值
	A级	B级	C级		
≤25	单面 单侧	单面双侧 或 双面单侧		直射法 一次反射 法	2.5; 2.0
>25~50					2.5; 2.0; 1.5
>50~100	无A级			直射法	1 或 1.5 ; 1 和 1.5并用; 1和2.0并用
>100					双面双侧

# 探头移动方式

## ● 锯齿形扫查

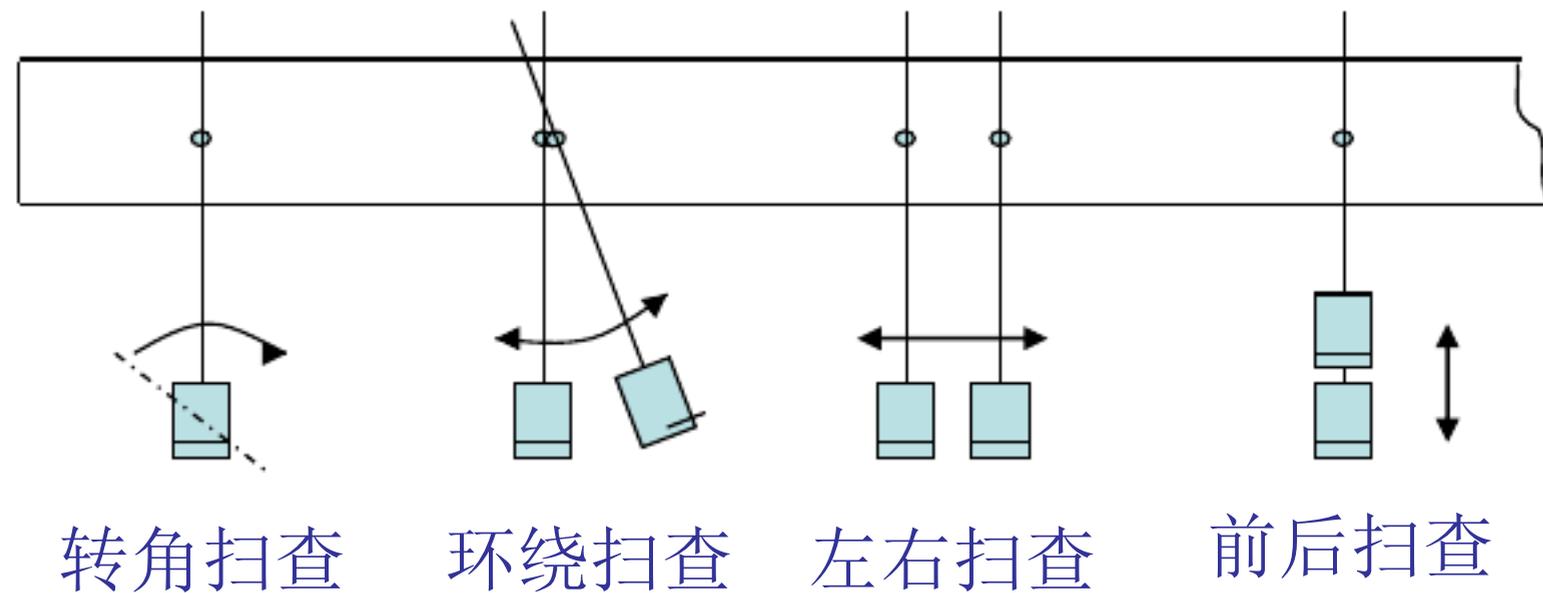
是最常用的一种扫查方式，一般在初始检测中使用，速度快，易于发现缺陷，保持探头垂直焊缝做前后移动的同时，还应做 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 左右转动。



# 探头移动方式

## ● 基本扫查

锯齿扫查发现缺陷后，采用以下扫查以确定缺陷大小、方向和性质。



转角扫查：推断缺陷的方向；

环绕扫查：推断缺陷形状；

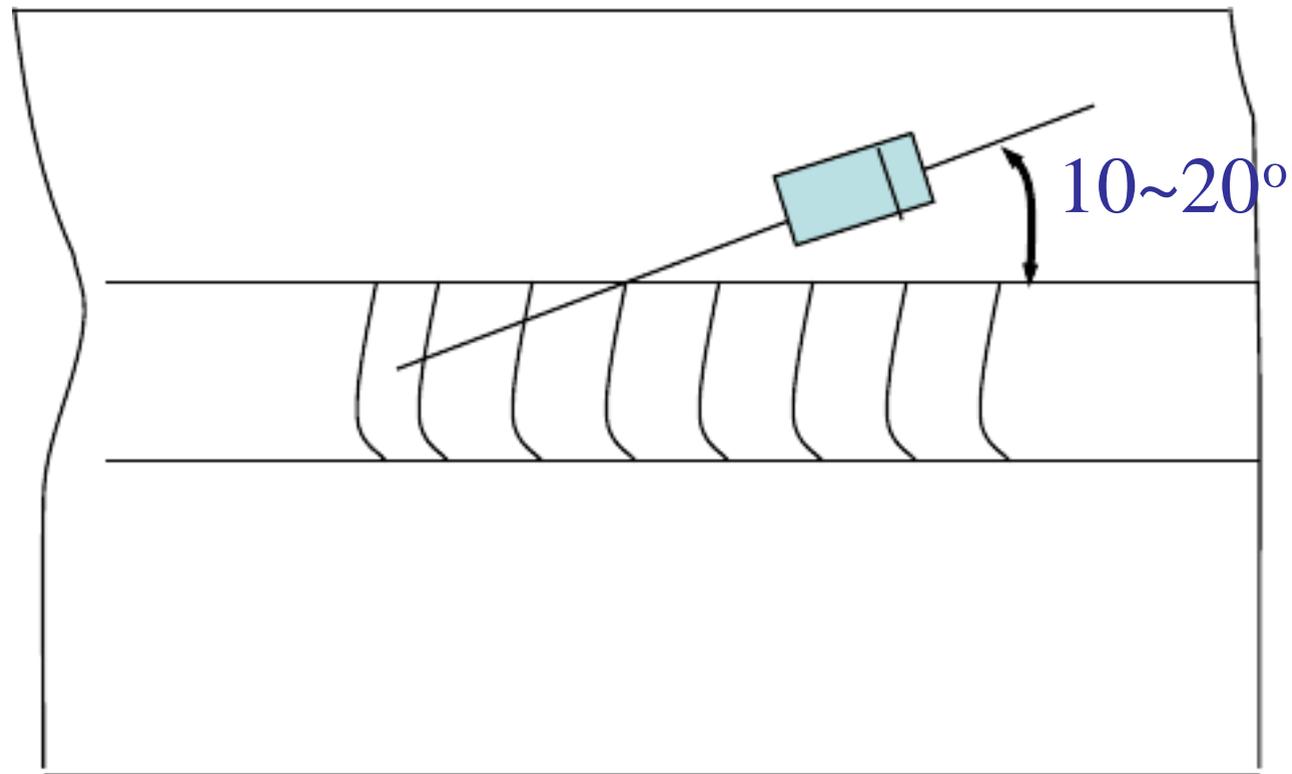
左右扫查：确定缺陷沿焊缝方向的长度；

前后扫查：确定缺陷水平距离或深度。

# 探头移动方式

## ● 斜平行扫查

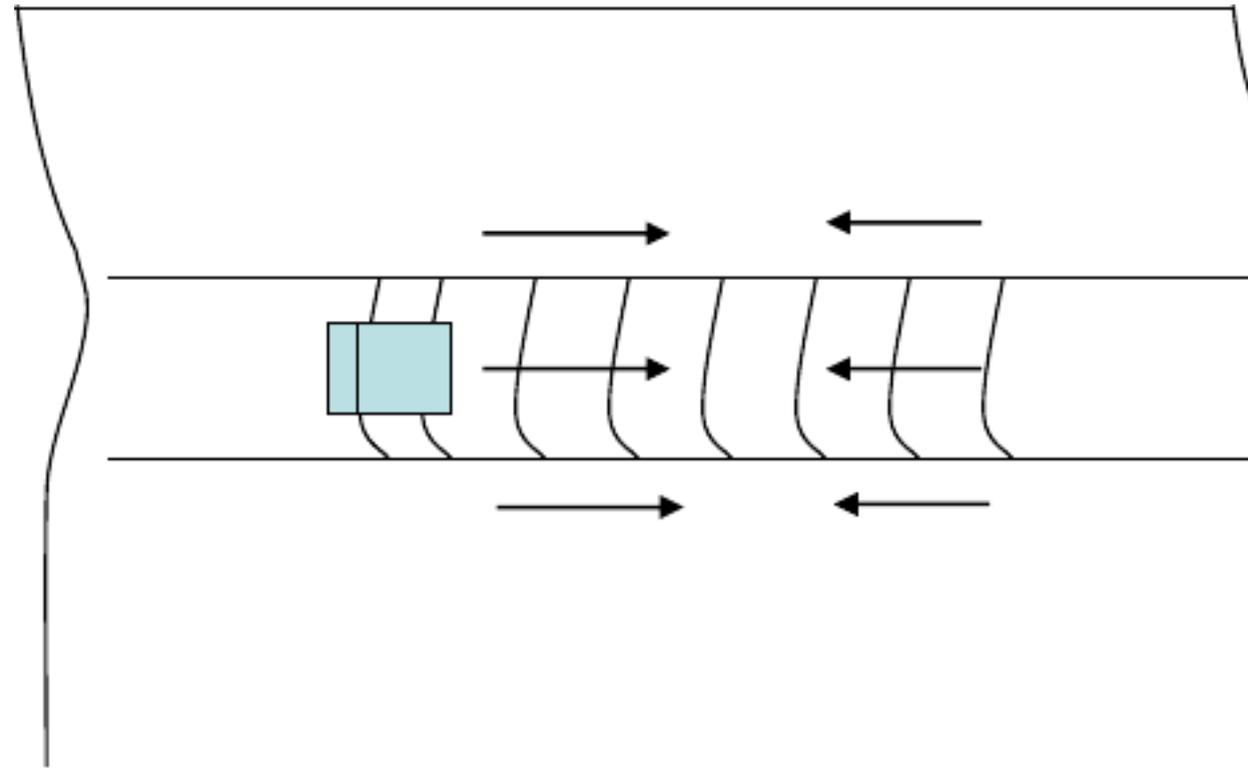
检测焊缝或热影响区横向缺陷。



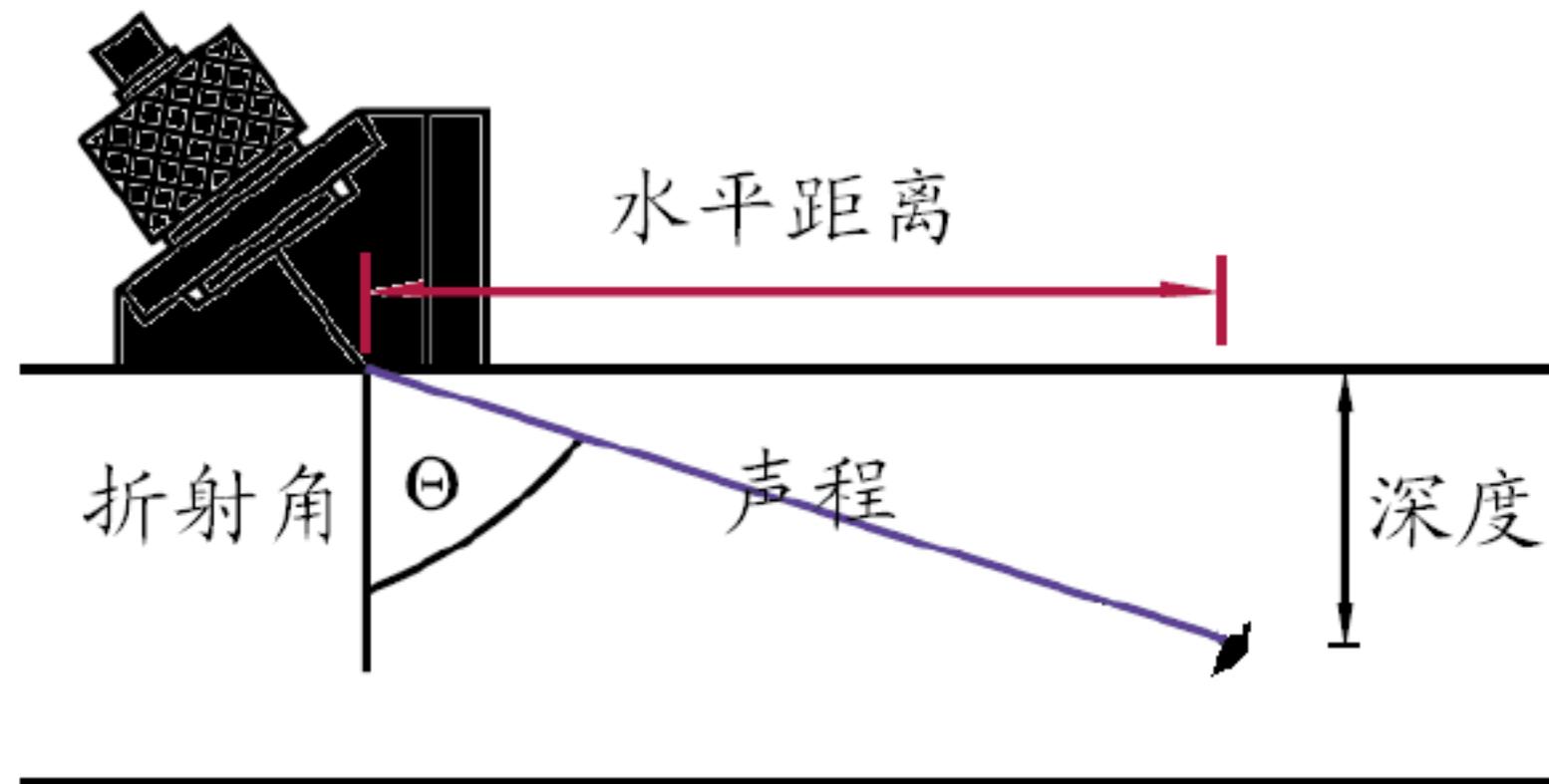
# 探头移动方式

## ● 平行扫查

检测焊缝或热影响区横向缺陷。



# 缺陷的水平、深度定位



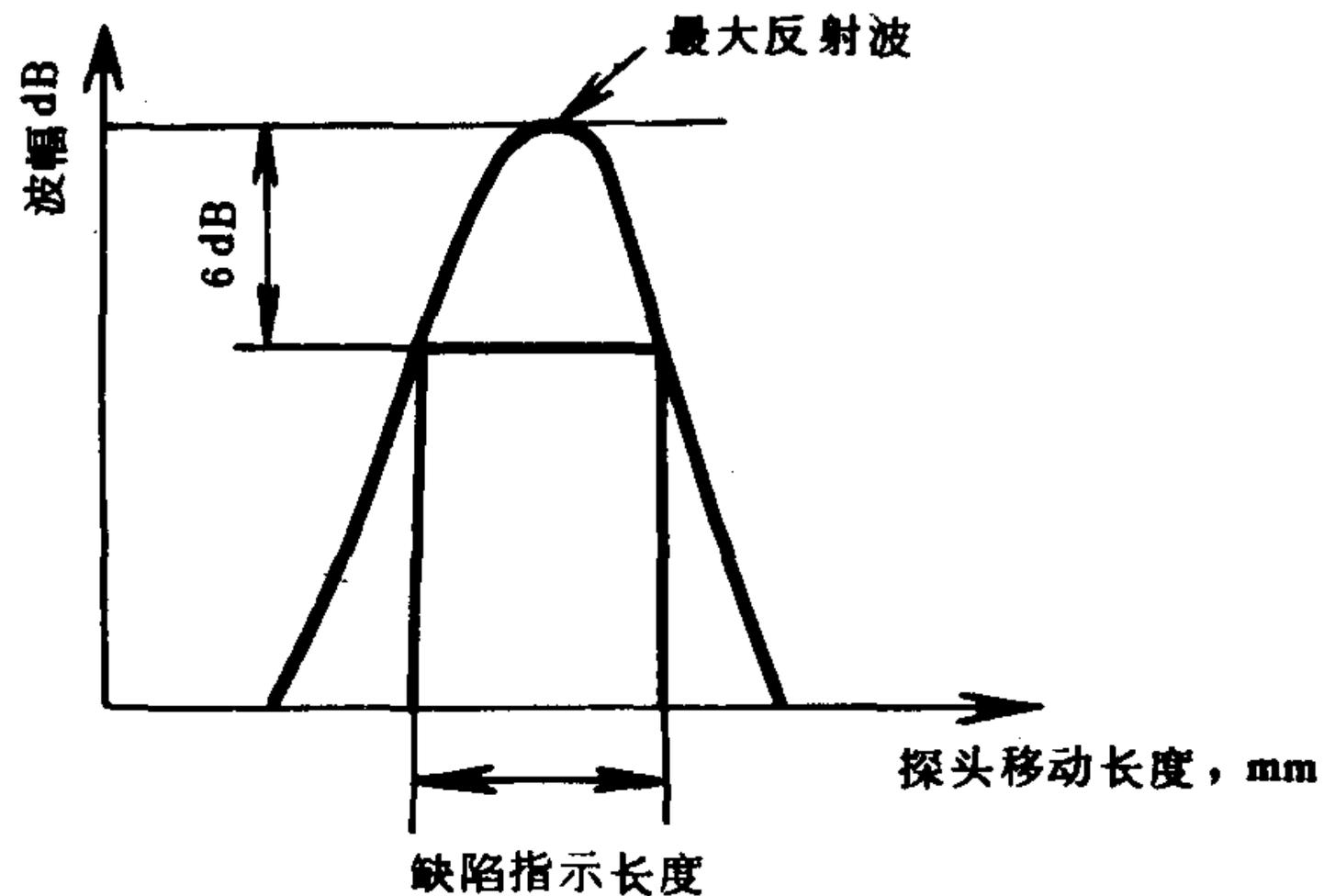
声程:  $S = C * T / 2$

深度:  $d = S * \cos(\Theta)$

水平距离:  $L = S * \sin(\Theta)$

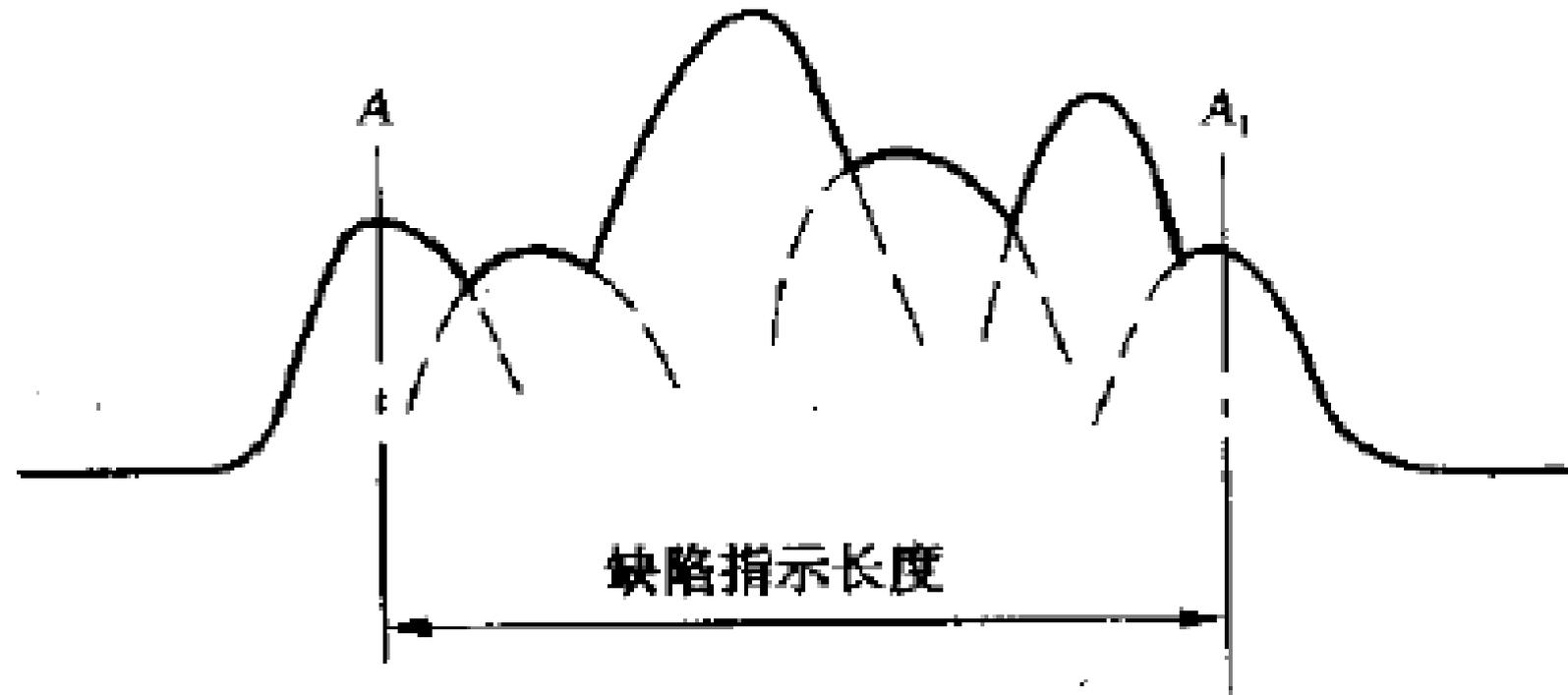
# 缺陷指示长度测定

## □□ 6dB相对灵敏度法



# 缺陷指示长度测定

## □□ 端点峰值法



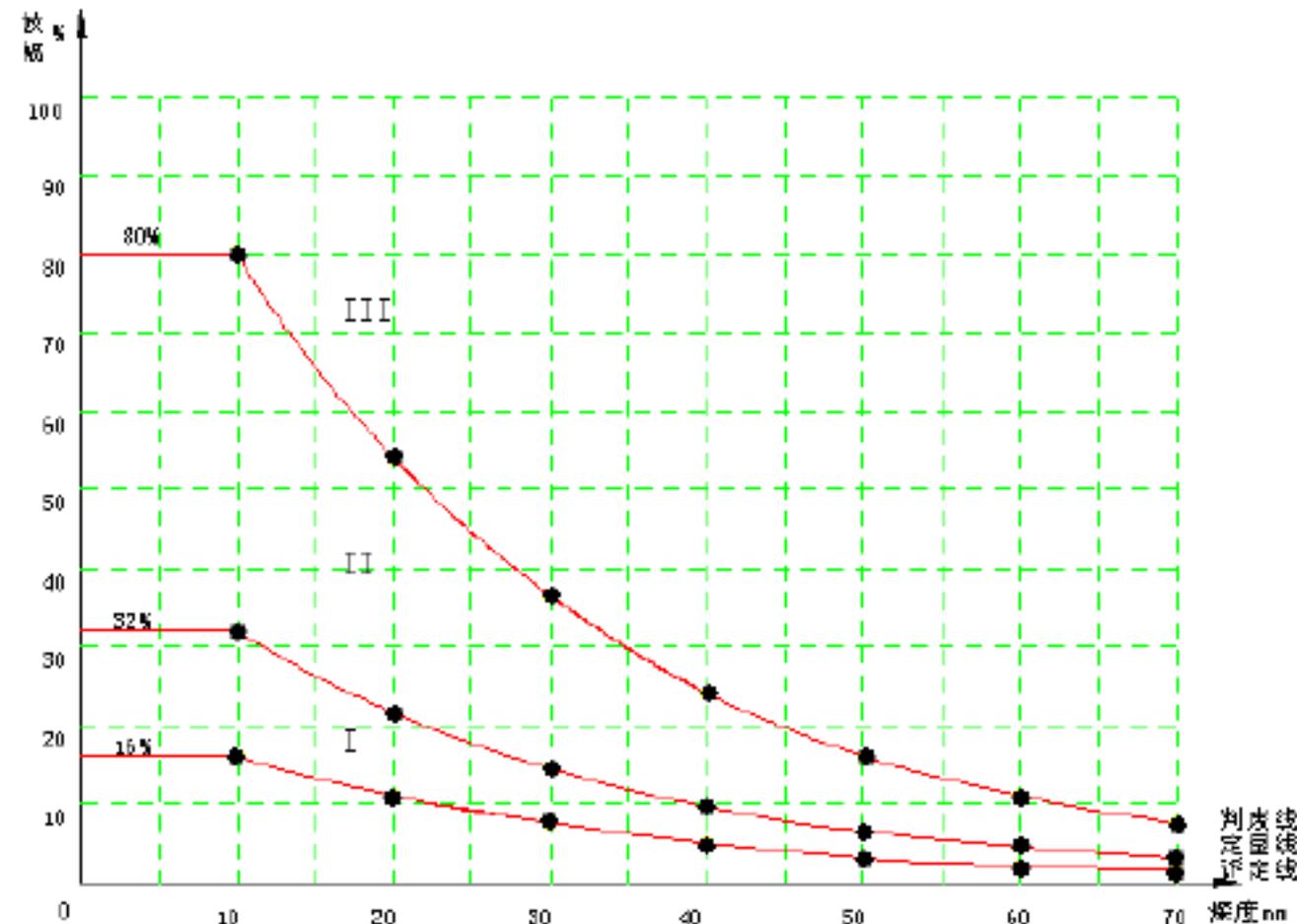
# 缺陷评定

- 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹等危害性缺陷特征，如有怀疑时应采取改变探头角度、增加探伤面、观察动态波形、结合结构工艺特征做判定。
- 最大反射波位于Ⅱ区的缺陷，其指示长度小于10mm时，按5mm计。
- 相邻两缺陷各向间距小于8mm时，两缺陷指示长度之和作为单个缺陷的指示长度。

# 检验结果的等级分类

❓ 焊缝质量等级根据距离—波幅（DAC）曲线进行评定：

- 最大反射波幅不超过评定线的缺陷，均评为 I 级；
- 最大反射波幅超过评定线的缺陷，检验者判定为裂纹等危害性缺陷时，无论其波幅和尺寸如何，均评为 IV 级；
- 反射波幅位于 I 区的非裂纹性缺陷，均评为 I 级；
- 最大反射波幅位于 II 区的缺陷，根据缺陷的指示长度按下表规定予以评级；
- 最大反射波幅超过判废线进入 III 区的缺陷，无论其指示长度如何，均评定为 IV 级。



# 焊缝质量评定

## 缺陷的等级分类

### 检验等级

评定等级	A 级	B级	C级
	板厚, mm		
	8~50	8~300	8~300
I	2T/3; 最小12	T/3; 最小10, 最大30	T/3; 最小10, 最大20
II	3T/4; 最小12	2T/3; 最小12, 最大50	T/2; 最小10, 最大30
III	<T; 最小20	3T/4; 最小16, 最大75	2T/3; 最小12, 最大50
IV	超过III级者		

