

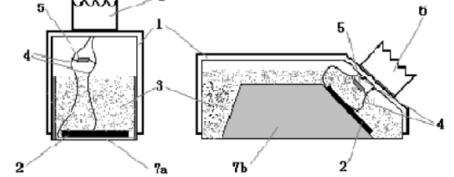
实际应用中，常把超声波换能器称为超声波探头。实验中常用的探头有直探头和斜探头两种，其结构如图。

探头通过保护膜或斜楔向外发射超声波；

吸收背衬的作用是吸收晶片向背面发射的声波，以减少杂波；

匹配电感的作用是调整脉冲波的形状。

一般情况下，采用直探头产生纵波，斜探头产生横波或表面波。对于斜探头，晶片受激发生超声波后，声波首先在探头内部传播一段时间后，才到达试块表面，这段时间称为探头的延迟。对于直探头，一般延迟较小，在测量精度要求不高的情况下，可以忽略不计。



### 3. 超声波的振型及界面的反射与折射

如果晶片内部质点的振动方向垂直于晶片平面，那么晶片向外发射的就是超声纵波。超声波在介质中传播可以有不同的振型，它取决于介质可以承受何种作用力以及如何对介质激发超声波。通常有三种情况：

纵波波型：介质中质点振动方向与超声波传播方向一致。任何固体介质当其体积发生交替变换时均能产生纵波。

横波波型：介质中质点的振动方向与超声波传播方向垂直。固体介质除了能承受体积变形外，还能承受切变变形，因此当有剪切力交替作用于固体介质时均能产生横波。横波只能在固体介质中传播。

表面波波型：沿着固体表面传播的具有纵波和横波双重性质的波。可看成是由平行于表面的纵波和垂直于表面的横波合成，震动质点的轨迹为一椭圆，在距表面1/4波长深处振幅最强，随深度增加很快衰减，离表面一个波长以上的地方质点振动振幅已经很微弱了。

超声波在界面传播时可发生振型转换：当一种特定类型的波入射时，反射和折射波中可以包含另外类型波的成分。

超声波在介质界面上的反射折射需要满足Sneel定律：

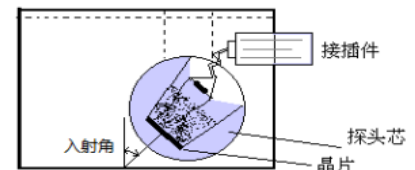
反射：

折射：

其中  $\theta_i$  为超声波的入射角和声速， $\theta_r$  和  $\theta_{tr}$  分别为纵波反射角和横波反射角； $\theta_t$  和  $\theta_{tr}$  分别为纵波折射角和横波折射角； $c_1$  和  $c_2$  分别是第一种介质中纵波声速和横波声速； $c_1'$  和  $c_2'$  分别是第二种介质的纵波声速和横波声速。

采用如图的可变角探头（其中探头芯可以旋转），通过改变探头的入射角可以得到不同折射角的斜探头。当入射角为0时为直探头。

在斜探头或可变探头中，如果介质1的声速小于介质2的横波声速，而横波声速又小于纵波声速，根据公式（2），存在两个临界入射角：



第一临界角

第二临界角

当  $c_1 < c_2$  时，介质2中存在横波和纵波； $c_1 < c_2 < c_1'$ ，只有横波；当  $c_1 > c_2$  时，无纵波，也无横波，出现表面波。

### 4. 超声探伤与成像原理

超声探伤或成像都是通过测量反射波来获取物体内部的信息。

在进行缺陷定位时，首先找到缺陷反射回波最大的位置；然后测量缺陷反射回波对应的时间 $t$ ，根据被测材料的声速 $v$ 可以计算出缺陷到探头入射点的垂直深度 $H$ 或水平距离 $L$ 。在超声成像时，探头在试块顶部二位扫描，得到来自试块内部缺陷深度的分布，再利用计算机进行图像重建，可得立体图形。

由于衍射存在，实际的超声波总有一定的发散性。超声探头反射能量的指向性与探头的几何尺寸和波长有关：

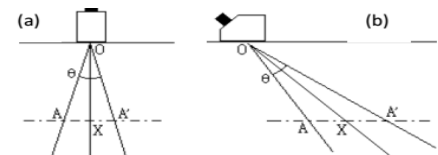


图8 超声波探头的指向性 (a)直探头(b)斜探头

通常用偏离了中心轴线后振幅减小一半的位置表示声束的边界。如图，在同一深度位置，中心轴线的能量最大，当偏离中线到位置 $A$ 、 $A'$ 时，能量减小到最大值的一半。其中角 $\theta$ 定义为探头的扩散角。越小，探头方向性越好，定位精度越高。

设 $X$ 的位置为原点， $A$ 点到中心位置的坐标为1， $A'$ 点的为2，则直探头的扩散角为：

斜探头的扩散角为：

其中  $L$  为小孔深度， $\theta$  为折射角。

对于斜探头，通过回波时间只能确定缺陷距离探头的直线距离，在实验中对缺陷的准确定位，需要确定折射角。通常采用如图9所示的不同深度、不同水平位置的两个缺陷 $A$ 、 $B$ 对声波的反射来测量折射角。图中 $A$ 、 $B$ 分别为缺陷 $A$ 、 $B$ 具体参考点 $O$ 的水平距离， $H_A$ 、 $H_B$ 分别为缺陷 $A$ 、 $B$ 的距离探测表面的垂直距离， $A_0$ 和 $B_0$ 分别为探头前沿距离参考点 $O$ 的水平距离，则：

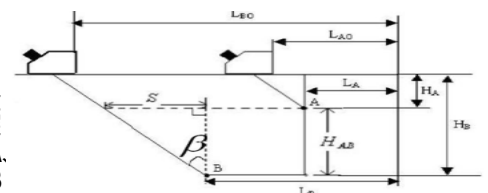


图9 折射角测量示意图