

# 超声波和超声场

刘 藻

(承德石油高等专科学校)

声波是一种机械波。如果用频率来表征声波,并以人的感觉频率为分界线,可把声波划分为次声波( $f < 20\text{Hz}$ )可闻声波( $20\text{Hz} \leq f \leq 20\text{kHz}$ )及所谓超声波,它是指频率大于 $20\text{kHz}$ 以上的声波。一般认为人耳所能听见频率的上限为 $20\text{kHz}$ 。由于超声波的波长短,相同的振幅情况下,质点振动传递的能量就大得多,超声波在传播时就具有了与光传播时类似的特性,可以借助于光学的一些原理来研究它。计算表明,在液体中传播着超声波,其质点振动加速度的幅值可高达重力加速度的上百万倍!波长短的超声波的显著特征是方向性强,这样可用它采集信息,特别是材料内部的信息。因为超声波几乎能穿透任何材料。这对于某些其他辐射能量不能穿透的材料,超声波便显示出其独特的优越性。因之,超声波在工业、医疗等科技领域中有着重要的应用。

超声波不能在真空中传播,我们把充满超声波的介质所在空间称之超声场。产生超声波的探头,大多采用圆片状压电晶片,经电脉冲激发后辐射超声,在介质中形成超声场。

置于流体介质表面换能器的辐射,可以看作是一个带有障板的圆形活塞辐射,辐射面上各点作等振幅、等周相、垂直于表面的振动,只向半空间辐射,这种传播于介质中的超声波称

之活塞波。这个声源可认为是由无限多个发射子波的源所组成,每个子波源在声场中辐射球面波。整个辐射面在声场中某点产生的声压是所有子波源在该点产生声压干涉叠加的结果。该点的声压随与辐射面的距离、时间、方向而变化,并与介质密度和辐射面的特性有关。理论计算表明,在活塞辐射轴线方向,声场中声压振幅最大,其他方向声压振幅与轴线方向声压振幅之比与振动片的直径和超声的波长有关,它决定着声场的指向性。其声场的空间结构如图1所示。其中白色的地方为声压高的地方,黑色的地方声压为零,在振动片附近的声场结构复杂。若定义主声束瓣和相邻付瓣间声压为零的那个方向与中心轴线间的夹角 $\theta'$ 为指向角,其值为 $\sin \theta' = \eta \lambda / a$ ,式中 $a$ 为振动晶片直径, $\lambda$ 为超声波长, $\eta$ 为常数,取决于声场边缘声压与轴线声压之比。

理论计算表明,在活塞波中心轴线上声压有若干极大和极小值,越靠近探头,声束轴线上



图1 超声场的空间结构  
(白色的地方为声压高的地方,黑色的地方声压为零。)

( $2n + 1$ ) $\pi$  (其中, $n$ 为整数),则复合粒子服从玻色统计。1989年,美国物理学家杰因等人为了了解分数量子霍尔效应提出了复合粒子理论。理论中的基本粒子,就是由电子加 $m$ 个磁通量子组成的复合粒子。当 $m$ 为偶数或奇数时,复合粒子分别为复合费米子和复合玻色子。在这里,我们看到了,通过束缚于电子上的磁通使电子的统计发生了蜕变。

如上所述,电子统计的“可变性”为我们展现出自然界中一幅幅丰富多彩的画面,诱使我们不断地开拓一块块未知领域。然而,电子统计的“可变性”,理论上并非电子所独有,更不是电子本身的属性发生了根本改变,那么,电子所表现出的这种统计的“可变性”,是否可以给我们更多的启示呢?

声压的极值越密集。若把声场理想化，晶片附近一段声波可视为笔直传播的，大于某段距离（理论上为  $z > 1.67l$ ， $l = a^2/\lambda$ ，称为近场区长度）后按一定角度扩散。如图 2 所示。

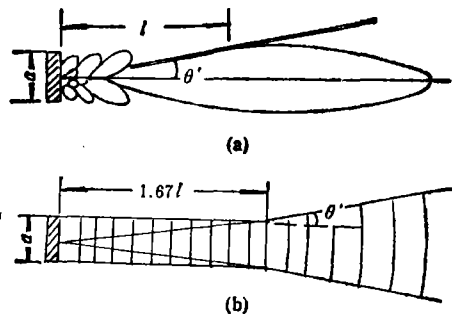


图 2 超声场的理论结构(a)和理想化形状(b)

在靠近探头晶片处的声场中，声束轴线上的声压大小是周期性变化的，最后一个声压极大值到声源的距离即是近场区长度  $l$ 。在  $z > l$  的声场区称为远场区，其轴线上的声压随距离的增大单调降低。当  $z \gg l$  的条件下，活塞波近似于球面波。当  $z = 1.67l$  时，应用球面波去处理活塞波可算得其误差约为 15%，当  $z = 3l$  时，活塞波和球面波的声压随与声源距离的变化曲线  $P_{\text{活}}-z$  及  $P_{\text{球}}-z$  基本重合。如图 3 所示。

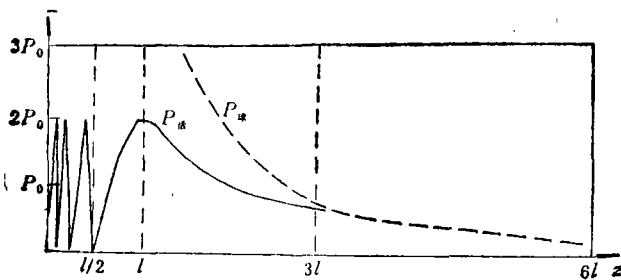


图 3 圆盘声源中心轴上的声压

以上为声场中是流体介质的情况。如果圆形平面换能器置于固体介质表面向固体介质辐射，此时在固体介质中不但有纵波，还有横波和

表面波（因固体不仅有法向应力，还有切向应力。而理想流体只有法向应力）。对于纵波，其特性与上述在流体中的特性相类似。对于横波的声场特性，在远场区同样具有指向性，但在轴线上，不论  $a/\lambda$  为何值，其横波声压都为零。在  $a/\lambda$  不同情况下辐射指向性如图 4 所示。

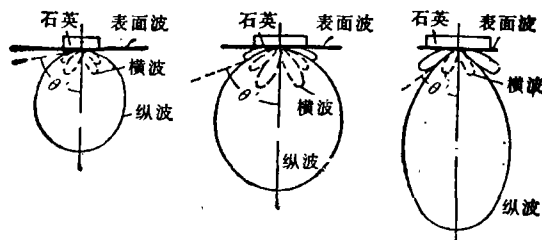


图 4 固体负载辐射指向性图

如果超声波以一定的倾斜角入射到异质固体界面上时，一般地反射波、折射波都将分为纵波(L)和横波(S)二种波型。由于横波波速小于纵波波速，所以它们的反射角和折射角都将不等，并且当介质 2 的声速大于介质 1 的声速时，如果入射角大于和等于临界值时，将会出现纵波乃至横波的全反射现象。

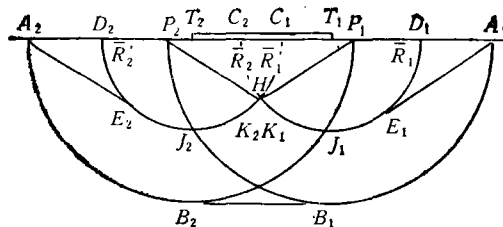


图 5 暂态圆源激励的声场

以上我们讨论的是换能器稳态辐射声场的空间特性。若一个圆形纵波换能器向固体介质辐射的是暂态声场，它是由直达波、边缘纵波、边缘横波、头波及表面波组成，如图 5 所示。图中  $B_1B_2$  为直达波， $A_1B_1P_2$ 、 $A_2B_2P_1$  为边缘纵波， $D_1J_1G_2$ 、 $D_2J_1G_1$  为边缘横波， $\bar{R}_1$ 、 $\bar{R}_2$ 、 $\bar{R}'_1$ 、 $\bar{R}'_2$  为表面波。用光弹法可测其声场。

**讣告** 本刊历届编委、高能物理所副研究员陆柱国同志，出国访问途中突发脑溢血，经抢救医治无效，不幸于 1995 年 9 月 10 日三时在莫斯科逝世。享年 54 岁。十多年来，陆柱国同志对本刊作出了重要的贡献。特此志哀。

现代物理知识编辑部

现代物理知识