

超声原理及其应用

(僅供內部參攷)

3

配合中心运动資料

1960

青山区新華書店翻印

目 錄

序

- 第一章 什么是超声..... (1)
- 第二章 超声的特殊性质..... (3)
- 第三章 超声的产生、测量和显示..... (9)
- 第四章 超声在重工业上的应用..... (19)
- 第五章 超声在国防、海洋航行和渔业上的应用..... (29)
- 第六章 超声在轻工业、纺织工业、食品工业上的应用... (32)

第一章 什麼是超聲

近几十年来，特别是近十几年来，超聲的研究工作是大步地向前进展着。随着超聲在国防、工业、医药等各方面应用的不断增长，超聲这名称也逐当地傳播开来了。谈到超聲，很自然地人們首先要問：究竟什么是超聲呢？

为了要知道什么是超聲，請讓我們先重述一下什么是声音。声音可是我們的熟朋友了。不仅我们会发声，会听声，而且我們之中的很多人，还很明了声的原理。我們知道通常听見的声音都起源于物体的振动，經過空气的傳送，带动了我們的耳膜，最后刺激了我們的听觉神經，从而产生出声音的感觉。空气所以能傳送，是因为受了物体来回振动的影響，空气一部分接着一部分地振动起来了。先是紧接着物体的那部分空气随着物体振动起来，随后是較远部分的空气，再随后是离开物体更远的一些空气振动起来。就是这样，一部分空气带动了另一部分空气，終於把振动傳送到很远的地方。就是因为这个原故，我們可以和声源隔开相当距离而仍然能听到声源在发声。

上面說到，当物体振动而它的周圍的空气随着傳送这振动的时候，人們就会听到声音，这种說法在一般情况下是正确的，但并不夠全面。原来并不是无论物体怎样振动，都会刺激我們，讓我們听出声音来的。物体振动有各种特性，比如，有的振动的程度大，有的振动的程度小，有的振动得快，有的振动得慢；此外还有其他的不同点。我們在这里只注意振动快慢的問題，这里所說振动的快慢，显然不只是物体振动的快慢，也是空气振动的快

慢，也是耳膜等振动的快慢，因为这些是相联的，由于听觉神经的性质，振动得太慢了，我们不会有声音的感觉；如果振动太快了，我们也不会有声音的感觉。平时物体振动要使我们能够听见，除了其他条件要适合外，振动的快慢要有一定的限度。一般说来如果振动得慢了，一秒钟里还振动不到十四、五次，人们是听不见什么的；如果振动得快到一秒钟里大约有16,000次以上，人们也不会听见什么。拿振动太快这方面来说，16,000这个数字只是从许多人中得出来的平均数，并不是每个人都这样。换句话说，有人可以听到每秒18,000次的振动，但有人也许连每秒12,000次的振动都听不见。而且，同一个人所能听到的振动快慢范围，也会随年龄等情况而改变。但把许多人的听觉范围来平均，一般地说，人们能听到最快的振动，大约是每秒16,000次，如果振动得更快些，一般说，人们不会听到声音。这是不是说空气不振动了呢？当然不是，空气还是在振动的，只是这时人脑子里没有通常叫做声音的这种感觉罢了。据研究结果，人们听不到的快振动，在相当范围内，狗还听得到。此外还有其他一些生物也能听得到较快的振动，如蝙蝠、蟋蟀等。

这种振动快慢超过每秒16,000次，因而一般人听不见的“声音”，便是超声。振动的快慢这个特性就叫做频率。因为振动是个往复运动，就是周期运动，因而每秒振动多少次，一般说就是每秒多少周。物理学上把每秒多少周，简称为多少赫芝或多少赫。因此可以说超声是频率16,000赫以上的超听的声，但为了方便，我们将这数凑成整数，不拿16,000赫作区分线，而拿20,000赫做区分线。这样超声便是频率在20,000赫以上的声。我们采用后一个定义。

上面讲的是超声的频率下限。超声有没有频率上限呢？换句话说，超过了多高的频率，便不算超声呢？这当然没有什么绝对

的标准，只是有人把频率约在百亿赫以上的声叫做特超声，这就等于说，百亿赫可算超声的最高频率了。这里还得重说一下，这种分法还不是完全肯定的。

前面提到，声音从振动着的声源被空气传送到远方。超声也完全一样。现在让我们看看在空气传送声或超声的时候的情况和什么可以类比。很多人看见过，在平静的水面轻轻地投下一块石子后，就会有一圈圈波纹从石子落水的地方扩散开来。按照以前的描述，在传送声或超声的时候，围绕着振动物体的空气里也有类似的情况，当然并不全同。部分空气的前后振动，象水纹的上下凸凹一样，离开声源而散播出去。因此在振动经空气传送的时刻，可以说在空气里有一个会传播的波。这波依振动的频率或者是可听声的波，或者是超声的波。因此，除超声这个比较总括的名词外，我们还用“超声波”这个名词。

上面讲传送声或超声，全讲到空气。其实除空气外，别的气体、液体和固体一般也能传送声或超声。在可听声的情况，应用气体或固体的实例不多，但在超声的情况下，下面会看到，除了用气体外，用液体或固体做传送媒质的实例却是很多的。超声不仅可由气体、液体或固体来传送，而且，有时还反过来用它对气体液体或固体进行分析，有时还用它来改变液体或固体的性质。所以当谈到超声时，不能象谈到可听声时候那样，常常只想到空气。

第二章 超声的特殊性质

现在让我们看看，为什么超声能够通用这么广。是不是超声有一些特殊的性质，足以用在许多适宜的场合呢？这问题的答案

是肯的。下面跟着来的问题是超声究竟有那些特点，以致我们需要使用超声？

让我们从最直接的角度来看。超声的性质是振动频率高，振动频率高有什么直接效果呢？

一个直接效果是振动频率高了，从声源发出的超声，会局限在很小的方向范围里，而不会向四面散开。举个例子说，假使我们让一块小的平板在它的厚度方面来回振动，象我们前面所说的，板四周的空气，会随着来回振动，也就是会发出声波。在通常的情况下，不仅平板的前后有声波，平板的侧面也有声波。但当来回振动的频率足够高时，那就只有在平板的正前面和正后面才会有声波，而在其他方面是不会有声波的。拿发光来作比较，当我们扭开电灯时，电灯泡的四周围都有光，但当我们举手电筒时，那却只在手电筒的前面有个光束。上面提到的由平板发生的声波也有类似的情况。在通常的情况，也就是振动频率不太高时平板四周差不多都有声波。但如果振动频率足够高，那就只在平板前后才有个光束。

平时我们说话，不仅前面的人听得见，我们旁边和我们后面的人也听得见。说话时振动着的声带是声源，从这声源发出的声波并不局限在声带的正前方，原因是，说话声音的频率相对的不算高。也幸亏这样，说话中方便。否则我们同身旁或身后的人说话，必需每次都扭过头去，朝着他的脸，那可有些别扭呢。但在超声的情况可就不一样了。当然我们的声带不会来回振动得快到比如说每秒钟一亿次，要是能够这样做，那就会只在谈话人的正前方才有声波，或者说得正确些，才有超声波。

声波的这类性质，就是不向四周发散而只向狭窄的方向范围发射的性质，叫做方向性。发射的方向范围愈狭窄，我们便说方向性愈好，反之，我们便说方向性差。按照上面所讲的情况，我

們可以說超声具有方向性。

有方向性有什么用处呢？這個問題讓我們等一等再討論。可是讓我們先談談這樣一個問題，聲波的頻率究竟要多低，才會象電燈泡發出的光一樣向周圍發射的聲波的頻率又究竟要多高才會象手電筒發出的光那樣只向前照射呢？

要回答頻率和方向性的關係這個問題，我們得先了解一個名詞，便是波長。我們前面說過，物體的振動有一些特性，比方曾經說過的有的振動的程大，有的振動的程小，有的振動得快，有的振動得慢。物體的振動帶動物體四周的媒質（空氣是通常的媒質）振動，這媒質也會振動得程大，或程小；振得快或振得慢。所以由振動物體帶動的媒質振動，也就是聲波，也有振動程和頻率這一些特性。但是聲波還有其他的特性，上面談的波長便是一個。波長是什麼呢？我們前面曾提過，把小石頭扔到水里，落水處的四周會有圓的波紋，會形成許多圓圈，這是一個大家都熟悉的情景。那些圓圈和圓圈之間的距離看來是一樣的。圓圈的形成是因為水面的有規則的高低起伏。從任何一個高峯到緊接着的另一個高峯，或者性任一個低谷到緊接着好的一個低谷，這些距離都是一般大小。這樣的一個距離，我們就叫做水波的波長。在聲波里也有類似的情況。拿空氣里的聲波做例，它當然沒有象水面的高低部分，但是卻有相當於高低部分的稀疏和稠密部分。假如在空氣中，有一個時大時小的作脹縮振動的圓球，那麼圓球四周的空氣，就將是有規則地稀疏和稠密順序相繼，就象水面有規則地高起和起伏順序相繼那樣。空氣最稀疏的任一個圓圈到緊接着的另一個空氣最稀疏的圓圈，或者空氣最稠密的圓圈到緊接着的另一個空氣最稠密的圓圈所相隔的距離，便是聲波的波長。

聲波的頻率可高可低，它的波長也可長可短。但是聲波的頻

率和波长之間有着非常密切的关系，频率低波长就大，频率高波长就小。过两个量之間的定量的关系也很簡單，用公式写出来便是：

$$\text{频率} \times \text{波长} = \text{声速}$$

我們前面曾經说过，媒质的振动是由振动的物体一基层向周圍傳开出去的。这傳动的快慢便是声速。我們大家知道，閃电打雷时是先看見閃电后听到雷声，其实雷声和閃电是同时发生的，所以会听到声雷，那是因为雷声走得慢。由此可知声波是有一定的傳播速度的。

声波的频率就是这样决定着它的波长，而波长的大小比起频率的高低来，对方向性有着更直接的关系。原来从一个声源发出的声波，究竟会聚集到什么程度，要看声源本身的大小同声波波长的比是多大。可听声并不是注定非向四周散开不可的，問題是在要想得到一个方向性好的可听声，那就必須有一个非常大的声源，要比我們通常用的（比如声帶）要大好多倍，这因为可听声的波长很大，比如說有几十厘米。用这么大的声源是极不方便的，所以要得到不散开的可听声，是不大实际的。可是超声的情况就不同了。高频率超声的波长是很小的。即使声源不大，比如說最窄处只有二、三厘米寬，那比起高频率超声波的波长来仍然可以很大，这种声源发出的超声，便可能形成一个声束，而不是向左右前后地四面散开。

上面談的是声波从声源发出的情况。此外，还有一种情况，这时声波的波长也起了决定性作用，这就是当声波在向前进行途中碰着障碍物时的情况。坐在柱子的后面，我們虽看不见演員，但却能听见演員的歌唱，可見一般的柱子并不能完全擋住声音。但这是指一般的可听声說的。如果演員用超声歌唱，我們就是有可能听超声的耳朵，也不一定能够听见超声的歌。因为这里又发生了

物体的大小和声波波长比的问题。不过这里的物体，不是前面所提的声源，而是障碍物。障碍物比声波波长小许多时，就挡不住声音。超声波长小，所以比较小的障碍物也可以挡住它，并且把它反射回去。

从上面所说，我们可看出超声频率高的一个直接效果，就是它的波长，而波长短的一方面是声波能紧束在一个较小的方向范围，另一方面是容易受障碍物的阻挡和反射。这是超声的特殊性质之一。这个特殊性质是非常有用的。我们在很多方面，就利用超声的这个特点来做工作。在国防方面，超声可以用来测量潜水艇，在航运方面，超声可以用来测量河，在机械和建筑方面，超声可以用来探查金属和栓内部的孔缝；在医学方面，超声可以用来检查胆石等，这些应用都利用了超声频率高波长小这个特殊性质。

这里应当提一下和频率没有关系的超声的一个特殊性质，便是它在某些物质里可以穿透得比较深，也就是说它在这些物质里的进行途中损耗比较小。这里所谓比较是指和别的种类的波来比较的，比方在水里，声波比雷达用的电磁波要穿透得深许多。

现在再回到超声由于频率高而引起的，与一般声不同的特点。让我们来看看振动频率高的另一个直接效果。这个效果是：超声所经过的媒质的质点，有大的加速度和大的能量。

我们前面说过，声的传播是由于一个物体（声源）在振动，引起了物体周围的媒质（比如空气）一部分一部分地由近而远地顺序振动。声波里的媒质的每个质点，都以原来的位置为中心来回摆动。这种来回摆动，频率和声源的振动频率一样，这也就是声波的频率。媒质质点振动时离开原来位置的远近的距离，通常叫做振幅。这个振幅也就是声波的振幅。现在假定有同样振幅的两个声波，而它们的频率相差比方说是十万倍，在两个声波里的

媒质的质点，都会在原来位置的左右来回摆动同样的距离，好象两个游泳员在同一游泳池的两端间来回游泳一样。但是高频声波里的媒质质点在同样时间里的来回摆动要比低频声波里的媒质质点十万倍的次数，这就是说，两个游泳员虽然一样地在游泳池两端间来回游泳，但一个游泳员需要在同样时间里比另一个来回次数多到十万倍。很显然第一个游泳员的游泳速度必须比第二个大十万倍，高频声波里媒质质点的振动速度也必须比低频的大十万倍。因此，如果我们能而产生同样振幅的高频超声波，我们就能让媒质的质点摆动得非常快，快的倍数同频率的倍数相同。

从力学的基本知识知道，同速度相关联系的还有一个加速度的概念。加速度就是速度变化的快慢。大家知道，物体在空中下落时，由于受地球的引力作用，它有一定的加速度，这个加速度我们称做重力加速度，用 g 来表示，下落物体在一秒钟内速度约增加980厘米秒，所以 g 一般也就是每秒每秒980厘米。声波里媒质质点在振动中有速度也有加速度，而这加速度随声波频率的增高可以变得非常之大。在一般情况下，最大加速度是和频率的平方成正比的。这样，高频率超声波里媒质质点的加速度可以达到 g 的几万倍、几十万倍或更大的倍数。这是一个极大的加速度。飞机飞行时，有几倍 g 的加速度时，飞行员就可能晕过去。

媒质质点的振动速度和质点的能量有着直接的关系。从力学里我们知道，一个振动着的质点的能量和它的最大速度的平方成正比。前面说过，媒质质点的振动速度和经过媒质的声波的波率成正比，因此超声经过的媒质里有着相当大的能量。一般我们就说超声带有相当大的能量。这里必需说明，一般声音的能量是异常小的。把全中国六亿人民说话一分钟的能量全部收集起来，也才只能够烧开一小壶水。但超声的能量可以比可听声的能量大许多许多倍。频率比可听声的高一千倍的超声是很容易产生的。当

它們的振幅相同時，超聲的能量就比可聽聲的大一百万倍。如果大家都用這麼高的頻率說話，那燒開一小壺水，只要六百人說一分鐘的話便行了。

這裡可以順便提到，在超聲技術里已經有方法可以相當容易地把超聲聚焦到一個小點上，好像我們用光透鏡或其他方法能夠把光聚焦到一個小點上一樣，這樣，在這個小點上的聲能，便非常之大，這個小點媒質振動的加速度，也相應地非常大。

從上面所說，我們可以看出，超聲的另一個特殊性質是大的能量，也就是能給媒質質點以大的速度和加速度。這個特性也是很平常的。超聲所以能用來治療許多疾病，主要是由於它的能量。在一些其他的應用里，象某些情況下的清洗，是用媒質質點的巨大的加速度來破壞媒質的結構。

在液體里，大的超聲能量，還能引起從應用角度看來是一個異常重要的現象，由於空化現象更增大了超聲的破壞力。這個現象就是空化現象，它是由於大能量超聲的作用，液體發生局部斷裂，在液體里產生了許多小空腔的現象。這些小空腔在突然閉合的時候，有猛烈的瞬時沖擊，從空化中心向外發出壓力到幾百大氣壓或更大一些的脈波，同時又可能在空腔里引起極高的瞬時溫度。這兩個作用，特別是那巨大的瞬時壓力這項作用，使得超聲能做許多重要的工作。

第三章 超聲的產生、測量和顯示

一、超聲的產生

前面已經談過什麼是超聲和它的特点了。現在談談超聲是怎樣產生的。蝙蝠的喉頭能夠產生超聲，還有其它些動物也能發生

超声。很清楚，这样的超声发生器在工农业各方面是不能实用的。现在我们来介绍一些能够在工农业各方面实用的超声发生器，我们要介绍的有：1. 压电式发生器；2. 磁致伸缩式发生器；3. 电动式发生器；4. 喷注式发生器。

前面三种是属于电声型，就是把振荡的电能变换为声能；最后一种是属于机械型，它是直接用机械方法来产生超声的。

1. 压电式发生器

压电式发生器是把电能通过一种叫做压电体的材料来变换成声能的。它首先需要一台能产生高频率电压的电发生器，当把这高频率电压用导线引到压电体上面，压电体随着振荡的电压而伸缩着，这样压电体就会把电能转变为声能了。象压电体这类能够把电能转换成声能的器材，我们一概叫换能器。下面将要提到的磁致伸缩器材也是换能器的一种。

常用的压电体是水晶，不过一定要是从所谓单晶体上切下来的水晶。水晶的单晶体是六角棱柱形，两端却形成菱面形，两侧棱之间的连线叫X轴；通常就用垂直于这根轴切割下来的水晶来做压电体，高频率的电压就加在它的两面上。

水菱换能器的优点是：它的机械性能相当稳定，同时它本身的能量消耗很少，因此换能效率比较高。但是使用水晶换能器时需要较高的电压，达到几千甚至几万伏特，因此比较不方便，多半需要浸在绝缘性能良好的油里。

另一种常用而极有前途的压电材料是钛酸钡。这里用的钛酸钡陶瓷，由钛酸钡粉在高温下烧结而成，钛酸钡在烧结以后，还要经过极化，才能变成换能器。所谓极化就是把钛酸钡块放在直流电场中一段时间（例如20千伏/厘米的电场中放一小时）。和铜经过磁化后保留的磁化一样；钛酸钡就极化，即保留有一个电场了。

以后再要加上交流电压，就会产生超声。

因为钛酸钡换能器是烧结而成的，它的体积形状和大小可随意设计，形状可以做成平板、圆筒、圆球、半圆球等；作成半圆球等形状，可以把声能会聚到一点，在这一点可以得到非常大的能量密度（每平方厘米几千瓦特），如果把把这个半圆球放在水里，水可以喷得很高。

钛酸钡所需电压不必太高，因而可以浸在水中。它的缺点是当温度太高时（普通超过 120°C ）就会失去压电的性能，同时本身消耗能量较大，因此换能效率比水晶低。

2. 磁致伸缩式发生器

磁致伸缩式发生器也是由一台无线电发生器产生高频率电流，然后把这电流送到一个磁致伸缩式换能器，这样来生产超声。

常用的磁致伸缩式换能器的外表，有点象变压器，只不过它的芯子是矽钢片，而是镍片。当高频交流通过绕着镍片的线圈时，镍片的长度就会一伸一缩（这叫做磁致伸缩）。伸缩的频率可以和交流电流的频率相一致，因此当交流电的频率在20,000赫以上时，镍片的伸缩频率也在20,000赫以上，就发生超声了。

磁致伸缩换能器除了作成类似变压器的形状外，还有环形、棒形等多种，在清洗机中，有时也用棒形。用作磁致伸缩换能器的材料除纯镍外，尚有铁钴钒合金（含铁40%，钴49%，钒2%），铝铁合（含铝13%，铁87%）和铁涂氧磁体（含有镍、锌等）。结合我国矿产的资源情况，铝铁合金和铁涂氧磁最有发展前途。

磁致伸缩式换能器只能用在几万赫的频率范围。由于有涡流、磁滞等损耗，所以能量消耗比较大。但到很高温度时，仍能保持它的性能。目前广泛地用于超声钻孔、超声清洗等。

3. 电动式发生器

上面二种发生器只能用在液体或固体中生产超声，而不能在气体中生产。要在气体中生产超声，必须使用别的式样发生器，例如电动或者是喷注式。

电动式发生器的形状如图3.5，它很象一常见的电动式扬声器，只不过把纸盒换成一个铝制圆柱体。中央有一个圆边2（图3.5丙），作为支架。下面有个圆形环3，作为次级线圈。4是一块永久磁铁或电磁铁。5是一个线圈，交流电能由此输入，感应到3上去。于是在这电磁作用下铝柱就振动起来，推动了附近的空气，在空气中发生超声。

电动式发生器对频率要求非常严格，只要无线电发生中来的电流频率和它的机械振动频率稍有偏差，就不振荡。因此它的电部分设计要求比较高。

电动式发生器目前最高可用到75千赫，效率可达30%或更强，可用来把煤烟里有用的材料收回，也可以把气体中尘埃去掉。

4. 喷注式发生器

这是唯一不用电子设备的一种超声发生器。它是一个庞大的家族，包含许多式样的发生器。下面介绍目前用得普遍的三种：

(1) 空腔式气笛 它的结构见图3.6，高压的气体（2-7个大气压）从喷嘴喷出，打到对面的空腔2上。空腔内气压逐渐增加，最后超过喷嘴里的压力；气体反而从空腔喷出。然后气体又从喷嘴喷到空腔。这样周而复始，就发生超声。

这种发生器，可以在空气中生产最高达120千赫的超声，而且功率可以达到一百多瓦。由于它的结构简单，不需要复杂的电子设备，因此维护费低，可以供给廉价的超声。

这种发生器主要用在除塵和在烟中回收有用材料上。

(2) 簧片式液笛 上面的空腔式气笛虽然能生产价廉的超声,但只能用在气体中。可是到目前为止,大部分的超声应用,是在液体(主要是水)里;因此必须找到一种能在水中生产廉价超声的方法,现在谈到的簧片式液笛就是能满足这样要求的一种发生器。

簧片式液笛的结构见图3.4。高压体喷到簧片上,簧片发生振动,就在液体中生产超声。

这种超声发生器可发出4—30千赫的频率的超声,功率可达数百瓦以上。它的最主要用途是乳化,就是把两种不能混合的液体混合起来。例如油本来浮在水上,不能混合,但经过超声作用后,就变成乳白色混浊溶液。油和水混在一起了。用这种发生器来乳化比用磁致伸缩式来乳化,要便宜到几倍或几十倍之多。因此是非常便宜的超声来源。

(3) 旋笛 为了在空气中生产效率更高、价格更廉的超声,人们设计出了旋笛。它的构造见图3.8,主要是由一个定子1、和一个动子2组成。在定子和动子上面各有100个小孔3,使用时动子由电动机带动,压缩空气由后面吹入,当定子和动子的孔相重合时,气流就能通过;否则就不能通过。这样喷出的气流就一疏一密,形成声波。

这种发生器的效率达50%,几乎超过所有的发生器。功率可达数万瓦,这在所有发生器中,也是最大的。这种价廉而强大的超声波,所引起的各种现象是非常惊人的。

上面简单地介绍了一些主要的超声发生器,目前使用最多的是压电式和磁致伸缩式,它们的缺点是价格太贵。因此目前虽然說超声用在許多地方,但是一般地說来,除非超声对这种技术有着特别显著的效果,或者是别的方法无法代替时,才使用超声来处理。为了使各种技术上都能发挥超声的作用,必须探求新的、

便宜的生产超声方法。在这方面，簧片式液筒是一种很有前途的
生器，虽然說它的频率較低，但是在不少技术应用上，并不要求
太高的频率。另外，噴注式由于結構簡單，牢固，維護方便，必
然能逐步推广应用。目前已有有人在探求形式更新效率更高的噴注
式发生器。只要超声能夠成一种便宜的能源时，超声的应用一定
会更广泛。

二、超声的測量

上面我們已讲了怎样生产超声。对于強力的超声（大功率超
声），我們很容易直接覺察到，因为它能使液面引起波紋，能将
液体抛出液面，引起浪花，甚至还能形成一束美丽的噴泉（見图
3.2）。对于較弱的超声，虽不易直接的覺察到，但可以用很多
方法来間接的覺察到它的存在，例如用光学的方法能使超声波成
为可見。

在很多事例中，我們还很需要知道超声的強度或功率，例如在
农业上用超声处理种子时，只在某些一定的超声条件下（即一定
的功频率和处理時間），才能获得較好的結果，达到我們的要求，
否則会引起相反的結果。在某些应用問題和科学研究問題中，有
时还要知道超声声場的強度分布情况，即要知道各处各点的強度。
总之，我們很需要有一些仪器能定量地来測量超声。

根据超声的一些特性，我們发现有三种基本的方法，可以用
来測量超声。

(1) 媒质中(此媒质通常液体)的超声，使媒质质点有劇烈的
振動，因而也引起了一定的交变压力，若在媒质波中另放一物
体，則此物体将受到这个交变压力。若此物体为压电材料（或为
为磁致伸縮材料），由于压电效应，就在晶体的两端产生一交变电
压。电压虽然很微弱，但通过电压放大后，用一般的真空电压表

就能量出来。根据这种性质做成的用在水里的测量仪器，叫做水听器。在测量时，为了不影响原有的超声场，此仪器的探头的大小，常要比超声的波长小。用此仪器测得的是各点声压，而不超声波的强度，但在一定的条件下，可以算出超声的强度，这仪器通常是较精密的。

(2) 由于媒质的吸收，媒质中超声能逐渐全部地变成热能，使媒质的温度升高。我们用温度计直接测出这升高的温度，就知道媒质吸收了多少热量，因而我们也就知道了超声的功率。这种测量方法，叫做热法。这种利用温度计上的读数来得出的结果，由于种种外界的原因，常会使结果产生很大的误差，我们就常用“取代法”来间接测量，这样可以减少误差。这方法是在同样的条件下，另用电热丝通电来加热，使温度上升到同样的温度，则电功率表上所得到的读数，就是电热丝所消耗的电功率，也是所要测量的超声的功率。测量装置如图3.11甲所示。

(3) 当有超声通过时，在媒质内部，除有一个交变的声压外，还有一个大小恒定、方向不变的静压力存在，这种静压力叫做辐射压力。辐射压方向和超声传播的方向是一致的，它的大小和声的强度有着直接的关系，如果测得声的辐射压力，也就能知道超声的强度。

当超声在两种不同性质的媒质中传播时，由于辐射压力，在媒质分界面上产生了一机械力，此力可用一般的力学测量法来测出。根据这性质做成的测量仪器，叫做超声辐射仪。辐射压力也可象天平一样用平衡的原理来测量。有一个简单有效的方法叫做超声浮沉子。它是一个用比水轻的材料做成的圆柱体，下端挖一 30° 的圆锥形的凹面，还连有一支架，在支架上可放置环形砝码。将它放在超声传播的媒质中，由于辐射压力，浮沉子受到一个向上的力。当此力与浮沉子的重力、浮力相平衡时，则浮沉