

現代科学技术知識

超声及其应用

邵卫平 編



上海科学技术出版社

上海科

現代科学技术知識

超声及其应用

邵卫平編

上海科学技术出版社

內 容 提 要

超声波是一种听不到的声波,可是它在工业、农业及科学研究方面有广泛的应用,而且能够做以前很难做到或做起来很复杂的工作,如鋁的焊接、玻璃上刻花纹、攪拌乳膠、檢查物体内部的损伤……。

这本书从超声波的性质谈起,其次講产生超声波的方法,并以一半以上篇幅叙述超声波在各方面的应用,供技术人員、工人和一般讀者閱讀。

現代科学技术知識 超 声 及 其 应 用 邵 卫 平 編

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出093号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海市印刷六厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印張 3 4/32 字數 67,000

(原科技版印 2,500 册 1958 年 8 月第 1 版)

1958 年 11 月新 1 版 1960 年 5 月第 7 次印刷

印數 31,501—61,500

統一書号: 13119·353

定 价: (七)0.24 元

目 录

前 言	1
一、从声音到超声波	1
声音的世界	1
耳朵的听觉	3
蝙蝠——自然界的超声专家	7
超声波的性质	9
二、怎样获得超声波	15
用机械方法产生超声波	17
用电的方法产生超声波	20
怎样聚焦超声波	26
“侦察”超声波	27
简单的超声波发生器	29
三、超声波的工业应用	30
寻找内部缺陷(无损探伤法)	31
用超声波进行材料加工	37
焊接铝并不困难了	39
超声波在冶金工业中	42
神奇的锤子	44
奇妙的清洁工	46
严密的看守人	48
四、探测海洋的超声波	50
海底侦察兵	50
探测海洋	54
五、超声波和物理学	58

測量液体和气体的流动速度.....	58
奇妙的溫度計.....	61
分析气体的成分.....	63
有趣的厚度測量.....	65
測量物質的彈性.....	67
明察秋毫——超声波显微镜.....	69
六、嶄新的化学	79
超声波和化学.....	79
加速聚合作用.....	82
超声波的兩重性.....	84
超声波与化学反应.....	85
七、多才多能的助手	87
对生物的作用.....	87
超声波医疗.....	88
超声波和农业.....	89
揭开物質的秘密.....	90
探索地球的構造.....	91
說不尽的用处.....	91

前 言

“超声波”——这对于一般具有物理知識的讀者說来，並不是一个陌生的名詞，但是它在国民經济各部門的广泛用途，却並不是大家都了解的。它的“目光”比X射綫还要銳利，能幫助我們揭露出隱藏在金屬內部最細小的缺陷。它又是那样堅強有力，不仅可以切割陶瓷、淬火鋼、玻璃，甚至能切割象金剛石这样堅硬的材料，而且还能巧奪天工地在这些东西的成品上打出各种各样形状的洞孔来；它又能象錘子一样把固体敲碎成极細的微粒，甚至能击碎液体，使两种本来不能混合的液体混合起来。在化学中，它不仅能观察和断定化学反应，而且在促进各种化学变化中創造着各种奇蹟。在物理学中，它是研究物質分子結構的有力工具，也是測量各种物理量的精密工具。在农业中，用它来处理种子，能够促进发芽，提高产量。在漁业方面，用它可以万无一失地确定魚羣的活动情形，所以它可以为人們做海底偵察兵的工作。在医学中，超声波也是一个灵巧的助手，协助医师寻找人体內部的疑难病症。即使在日常生活中，超声波也能出色地为人們做洗濯、消毒等等工作。

超声波可以說是新技术中的一个多面手，無論在工业技术、科学研究以及为生活服务等各方面，都有它的用途。由此看来，超声技术似乎是一种复杂难懂的技术，其实，它倒並不如人們想象的那样神祕、玄妙，它也只不过是一种基本物理現象的应用。人們掌握了超声波的各种特性，就可以把

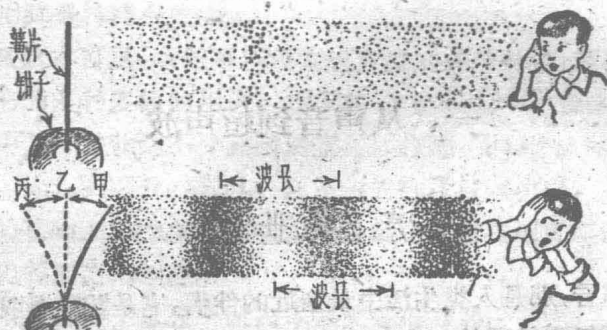


图 1 簧片的振动

置乙运动到位置甲时，空气分子从均匀分布渐渐变到有些地方的分子被压紧，有些地方的分子反而稀疏；簧片从位置甲重新回到位置乙时，空气分子又趋向恢复到原来的状态。当簧片向另一方向运动时（由位置乙向位置丙），空气分子又产生压缩和稀疏，但是情形和上一次恰相反，本来压缩的地方现在是稀疏了，本来稀疏的地方现在倒压缩起来了。因此空气分子的压缩和稀疏是由于簧片的左右振动而交替发生的。

空气分子的这种压缩和稀疏的交替现象就产生所谓“空气的波动”，真象平静的水面上受到扰动后会产生水的波动一样。空气的波动传达到人的耳朵，耳膜受到空气的振动，人便产生了听觉。空气的这种波动也就是通常所说的声波在空气中的传送。

如果簧片振动的幅度很大，则在空气被压缩的地方出现分子高度集中的现象，这时就会产生强度很大的声波。所以声波的强度是和空气分子所受到的振动程度相关。相邻的两个压缩中心或稀疏中心间的距离叫做该声波的波长，每秒出现的压缩和稀疏的交替次数叫做这个声波的频率。声波不

仅可以在空气中傳播，同样可以在其他各种物質中傳播，但是它在各种物質中的傳播速度是不一样的，而且傳播速度即使在同一样物質中也会因物質本身的溫度、压力和雜質含量不同而有所差异。表1是声波在各种不同物質中的傳播速度。

表1 声波在物質中的傳播速度

物 質	傳 播 速 度 (米/每秒)	溫 度 (攝氏)
空 气	331	0
空 气	343	20
二氧化碳气	259	0
氫 气	1280	0
淡 水	1430	17
海 水	1500	17
水 銀	1450	20
鋼	5800	20
鋁	6400	20
鉛	1515	20
石 英 玻 璃	5370	20

耳朵的听覺

对于人的听覺器官來說，頻率不同的空气波动就是高低不同的音調。“蓬蓬”的打鼓声頻率不过200赫茲(即每秒鐘波动200次，赫茲是計算頻率的單位)我們听起来声音很低沉；一只蚊子的鳴声，頻率可高达8000赫茲，听起来声音就很尖銳。人耳所能感受的頻率范围很狹窄，比20赫茲更低、比16,000赫茲更高的声音就根本听不見。年青人的听覺要比老年人灵敏得多，一个年青人可以毫不費力地听到蚊子飞行时所发出的鳴声，但是有很多老年人即使集中注意力也很难听到这种声

音。有些动物的听觉比人要高明得多。偉大的生理学家巴甫洛夫曾經在自己的实验室里做过一个有趣的試驗，結果証明一只神經健康的狗可以听到38,000赫茲的声音，无怪乎它們能担当起警觉的看守者的职务。

声波的强度必須达到一定数值，才能使耳朵引起声音的感觉。人耳对于1000~3000赫茲的声音感受最灵敏，对于其他頻率的声音感受力較差，也就是說在听其他頻率的声音时必须要求有較大的声音强度。图2表示人耳对于各种頻率的声音的感觉能力，图上的实黑綫指出人耳的听觉灵敏度。如果拿一个人在听最低頻率20赫茲时所需要的声音强度作为衡量标准(即把它当作一个單位)，那么他在听1000赫茲的声音时，所需要的最低声音强度只要20赫茲时的一百亿分之一(等于 10^{-10} 倍)，声音强度比这个数值更小时，人耳就感觉不出。听取20~20,000赫茲声音所需要的最低声音强度就是由这根实黑綫表示，强度在它之上的声音，我們的耳朵能引起听觉，

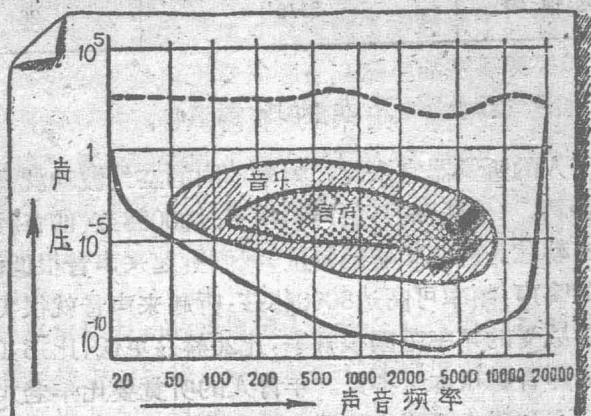


图2 人的听觉能力

否則就会“听而不聞”。可是声音强度如果过大，虽然容易引起听觉，但是对听觉神經的刺激也增大，可能引起痛觉。图2上的那根虛綫就是各种頻率时声音强度的界限，强度超过虛綫的声音就会引起痛觉。图上的大圈子所包圍的面积表示音乐声响的頻率及强度范围，小圈子包圍的面积表示言語声响的頻率及强度范围。

声音的产生是由于空气分子不断地交替压縮和松弛，因此可以用压力这个概念来表示空气的压縮力。在工程上每平方厘米的面积上受到一公斤的力，称这样大小的压力为一个大气压(严格地說，一个大气压等于每平方厘米上受到1.0336公斤的力)。因为声波对空气的压縮力很小，所以实用上以更小的單位“巴”来表示，一个巴等于一个大气压的百万分之一。也可以說一个巴相当于在一个平方厘米的面积上均匀承受一个达因的力。中等响度的談話声所产生的“声压”約为一、二个巴。

有时候也有用“声强”来表示声波的特性。所謂声强就是單位面积上的能量的大小，以每平方厘米多少瓦来計算。

虽然物体的振动产生了声音，但是要获得能量大、响度高的声波，实际上是有困难的。这是因为物体振动所消耗的能量只有很小的一部分变成声能，譬如，一个小提琴它只將琴弦振动所消耗的能量千分之一变成声能。并且由于声波是向各个方向傳播的，所以距离声源愈远的地方，其空气分子所得到的能量就愈小。另外，空气分子的相互摩擦使一部分声能变成热能，因为使声波在傳送过程中声能显著降低。这里不妨提一下，一个有趣的事实：当你站在100米的地方听到它的喇叭声时，大約有2500吨重的空气投入了振动。

人耳的特点是能在很大的声压变化范围内听到声音，并

且可以按照頻率、强度来区别各种音响。耳朵的主观响度(即感觉到的声强)不与实际声强的变化成正比,而与它的对数成正比。因此我们能够反应声强相差千百万倍的声音。人的听觉灵敏性是随声音的頻率而变的。当声音頻率为每秒1000赫兹时,人耳最低能感觉的声压为万分之二巴;当声音頻率为每秒100赫兹时,最低能感觉的声压约为百分之二巴。这就是說,人耳对1000赫兹声音的灵敏度要比100赫兹的声音高100倍。在声音頻率为每秒1000赫兹时,如果声压达到1000巴,耳朵就会产生疼痛的感觉,这个数值与最低能感觉的声压相較,相差竟有5,000,000倍之巨。表2列出几种声音的頻率范围。

表2 几种声音的頻率范围

声 音		頻 率 范 围 (赫兹)
小 鼓		80~2000
鋼 琴		60~5000
大 提 琴		40~7000
小 提 琴		300~10000
豎 琴		1000~10000
笛 子		300~16000
男 低 音		70~3200
男 高 音		80~4500
女 高 音		100~6500

虽然对于20赫兹以下和16,000赫兹以上的声音,人的听觉器官是无能为力的,但这决不是說这种声音实际上并不存在;相反地,不仅客观上存在着这种“听不見的声音”,而且由于它的存在还給人类生活带来許多好处。这好象和太阳发射

的光譜一樣，太陽光具有紅、橙、黃、綠、青、藍、紫一系列肉眼能夠感覺的光綫，但也有波長比紅光更長的紅外線及比紫光更短的紫外綫這兩種肉眼看不見的光綫。聲音也是如此。實際上的確存在着比20赫茲更低、比16,000赫茲更高的聲音。比20赫茲更低的聲音叫做“超低聲”或“次聲”，各種炸彈的爆炸、機器的振動等過程中能夠包含大量超低聲。這種超低聲振動可以傳播很遠的距離，目前已利用接收超低聲的技術來探測遠方的原子核爆炸或作為發生地震的預報。比16,000赫茲更高的聲音就叫做“超聲波”。這種振動雖然人耳不能感受，但是在國民經濟及科學研究的許多部門中有着極為廣泛的應用。解釋超聲的基本性質，以及探討它們在各個部門中的應用，就是這本小冊子的任務。

蝙蝠——自然界的超聲專家

在開始談論超聲以前，我們應該先來談一談一個自然界中的有趣現象。蝙蝠這種小動物是大家都熟悉的，在夏天的傍晚總可以看到它們在不高的天空中自由自在地飛行。很早以前人們就已經知道蝙蝠的視覺很壞，但是它卻能在黑暗的天空中正確地捕捉小蟲，並且還有巧妙的辨別方向的本領。追究蝙蝠所以有這種技能的原因一向是學者們感到興趣的。

200多年前意大利有一位名叫斯勃拉采尼的科學家，他化了好多年的功夫專門研究蝙蝠的特性。他首先注意的是這樣一個問題：蝙蝠的視力對它的活動究竟有無幫助。一開始研究就使他得到令人驚奇的結果。當他把一只被弄瞎了眼睛的蝙蝠重新讓它自由飛行時，竟發覺它和長着眼睛的同類一樣自由自在，同樣有把握地捕食小蟲和確定方位。所以斯勃拉采尼肯定地認為：幫助蝙蝠正確地判別道路的不是它的視覺，

幫助它獵取小虫的也不是靠着它的視覺。為了進一步研究，他又把蝙蝠的鼻子緊緊封住，更把它的舌頭也割掉，可是事實證明破壞它的嗅覺和味覺並不會影響它的正常活動。斯勃拉采尼用厚厚的漆塗在蝙蝠的全身，結果仍舊不影響它的生活方式。到這時他已經能夠肯定，視覺、嗅覺、味覺、觸覺對蝙蝠的飛行毫無關係。“是不是蝙蝠長有特殊靈敏的聽覺器官呢？”斯勃拉采尼苦苦地思索着這個問題。當他把一只蝙蝠的耳朵緊塞住再讓它飛行時，他終於得到了答案。这个小東西由於失去聽覺後竟和樹木、房屋相撞了，而且再也不容易捉到小虫了。他對一大批蝙蝠作了同樣的試驗，結果都說明喪失聽覺的蝙蝠都不能安全飛行。

斯勃拉采尼的有趣試驗令人信服地證明了蝙蝠生着特種聽覺器官，靠着它蝙蝠才能辨別方位和尋覓食物。但是究竟是什麼原因才使蝙蝠的聽覺如此靈敏呢，是外界環境的原因，還是內在的原因呢？這個問題斯勃拉采尼一直沒有研究出來，事實上在200多年前也確實無法作更進一步的試驗。

斯勃拉采尼遺留下來的問題直到不久以前才找到答案。當現代的學者們掌握了超聲波的知識後，就使他們聯想到蝙蝠的本領。經過仔細的研究證明：蝙蝠的小嘴在飛行時會發出斷續的叫聲——人耳聽不到的超聲波，而且是一束一束地直線發射。這種超聲射綫一碰到障礙物就會回射過來，蝙蝠的耳朵又能靈敏地感覺這種超聲波。當它聽到反射回來的超聲波時就能判斷自己面前多大距離處有障礙，就能及時地改變飛行方位。蝙蝠發出的超聲訊號波長約為半個厘米，小嘴的寬度是一個半厘米光景，波長和嘴巴寬度的這種適當比例，使得它發射的超聲具有極好的方向性（這個原理將在下面敘述）。蝙蝠在休息時每秒鐘發出5~10個超聲訊號，在飛行時

便增加到每秒鐘发出30个訊号。每个訊号的持續時間約为百分之一秒。当距离障碍物20米的时候；蝙蝠每秒发出8个訊号，而距离障碍物祇有1米时，它每秒便发出60个超声訊号。蝙蝠就靠着判断反射訊号的快慢和强弱来确定自己的行动。

超 声 波 的 性 質

由于振动頻率的提高，超声波和声波有很多不同的地方，要研究超声波的应用就必须对它的特性有一定的了解。这一节把超声波的主要性質扼要介紹一下。

1. 束射特性

大家都知道声波是由声源向四面八方傳播的，例如一个人高声喊叫时，在他的前面、后面、左面、右面都能听见，所以我們通常說声音是沒有方向性的。如果讓声波通过一个小孔，那么在通过后声波仍旧是向各个方向傳开的，不会象光綫那样經過小孔后会形成一束射綫。声音和光綫都有波动性質，那为什么在这一点上有不相同的性質呢？

前面已經說过声波的波長是一个完全振动所傳播的距离，声波的頻率是表示一秒鐘內的完全振动次数，显然兩者的乘积就是声波在物質中一秒鐘所傳播的距离，也就是声波的速度，即：

$$\text{声波的傳播速度} = \text{波長} \times \text{声波的頻率}$$

从这个公式可以看出，对于一定的物質（即声波在其中的傳播速度是一定的），頻率愈高，波長就愈短。超声波的頻率比声波要高，所以它的波長就比声波要短。

实验告訴我們，当声波通过小孔时，如果这个孔的直徑比波長小，則通过小孔后声波向各个方向散开；假使波長很短，

波長比小孔小，那么波在經過小孔后就有可能集中成一束射綫，向一定方向前进而不四面发散。既然超声波的波長要比声波短，它比声波有較好的束射特性，波長愈短的超声波，这种向一定方向傳播的特性就愈显著。表3表示各种不同頻率的声波和超声波在不同物質中傳播时的波長。

表3 声波和超声波的波長

頻 率 (赫茲)	波 長		
	空气 (攝氏20度)	海水 (攝氏17度)	鋁 (攝氏20)
50	6.9 米	30米	128 米
500 } 声波	69 厘米	3米	12.8 米
5000	6.9 厘米	30厘米	1.28 米
50,000	6.9 毫米	3厘米	12.8 厘米
500,000 } 超声波	0.69 毫米	3毫米	12.8 毫米
5,000,000	0.069毫米	0.3毫米	1.28毫米

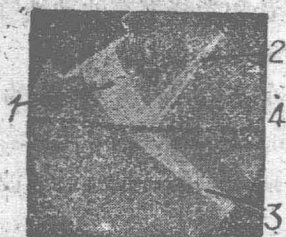


图3 超声波射綫在火油
和水中傳播

由此可見，超声波和声波的一个显著不同点就在于它的波長短，通过小孔后能集中成射綫，和光綫有相似的性質。从这一点可以看出，超声波射綫可以和光綫一样，能够反射、折射，也能聚焦，而且遵守几何光学上的定律。即超声波射綫从一种物質表面反射时，

入射角等于反射角；当射綫透过一种物質进入另一种密度不同的物質时就会产生折射，也就是要改变它的傳播方向，两种物質的密度差別愈大，則折射也愈大。图3就是超声波射綫

在兩種物質(火油和水)中傳播的情形。超聲波射綫1从火油一端射入，在火油和水的分界面4发生反射，产生反射綫2，进入水后产生折射，3就是折射綫。

2. 吸收特性

声波在各种物質中傳播时，随着傳播距离的增加，强度会漸漸减弱，这是因为物質要吸收掉它的能量。这里可以举一个很好的例子來說明声波在空气中的吸收情形，从而能引导出关于吸收問題的重要結論。

在觀看节日游行的时候，如果你十分留意的話，一定可以发觉一个有意思的現象：当一个音乐队慢慢地从很远的地方向你这边走来时，起初什么声音也听不見，后来各种声音依次出現了，首先听到的是音調低沉的鼓声，漸漸地喇叭声、笛声、鈴声都能听見了，当这个乐队从你身旁經過后又向前走去的时候，随着距离愈去愈远，首先听不見的是音調最高的鈴声，然后笛声、喇叭声跟着消失，鼓声則要到很远的地方才会听不見。

这个現象恰如其分地說明了声波在空气中被吸收的程度并不是相等的，而是頻率不同的声波在空气中傳播时会得到不同的待遇。頻率高的声波(如上面所說的笛声和鈴声)空气对它們的吸收很强，所以在空气中它們不能傳送很長的距离；頻率低的声波則不太容易被空气吸收，所以它們能在空气中傳播較远的距离。还必须談到声波吸收的另一个特征，就是在气体、液体及固体中吸收的程度也各不相同。对于一个頻率一定的声波，在气体中傳播时吸收最厉害，在液体中傳播时吸收比較弱，在固体中傳播时吸收最小，所以声波在空气中傳播距离最短，在水中可以傳播得远些，在金屬中則能傳播得更

远些。

关于声波吸收的这两个结论，对于超声波也是适用的，因为从声学的性质上来讲超声波只是频率很高的声波。频率愈高的超声波在物质中传播时吸收愈大，超声波在气体中的吸收要比在液体、固体中来得大。频率为1,000,000赫兹的超声波在离开声源以后，在空气中只要经过半米距离，其强度就要减弱一半，频率更高，消失也就更显著，根据科学家们的估计，如果超声波的频率在接近100,000,000,000赫兹时，则它在离开声源的一刹那間馬上会被空气全部吸收掉，所以这个频率可能是应用超声波的最高极限了。超声波在液体中倒能传播很远的距离，如果要使超声波的强度在水中减弱一半，那末，它所经过的距离約莫要比在空气中传播时大1000倍光景，例如频率同样是1,000,000赫兹的超声波在水中传播时，要经过500米的距离后强度才会减弱一半。

3. 超声波的功率

超声波所以在各个工业部门中有广泛的应用，主要之点还在于它比声波具有强大得多的功率。为什么有强大的功率呢？因为当声波到达某一物质中时，由于声波的作用使物质中的分子也跟着振动，振动的频率和声波频率一样，分子振动的频率决定了分子振动的速度。频率愈高速度愈大。物质分子由于振动所获得的能量除了与分子的质量有关外，是由分子的振动速度的平方决定的；所以如果声波的频率愈高，也就是物质分子愈能得到更高的能量。超声波的频率比声波可以高很多，所以它可以使物质分子获得很大的能量；换句话说，超声波本身可以供给物质足够大的功率。

人們講話聲音的能量是很小的，例如假定我們想用普通