

俞世勋 高敬龙 郭民霞 俞 宏 编著

脑血管疾病 超声治疗学

NAOXUEGUAN JIBING CHAOSHENG ZHILIAOXUE

陕西科学技术出版社

前 言

超声波治疗学是超声波医学的重要组成部分,从超声波医学发展的历史来看,超声波治疗技术要比其诊断技术早二十年,尤其是近十年以来取得了很大的进步,不仅在传统的超声波治疗应用范围有许多新的扩展,而且随着影像学的进步和一批新型的超声波治疗仪器相继问世,有力的推动着现代医疗技术的发展。

国外虽有超声波治疗脑血管疾病的报导,但远不及国内研究资料丰富,国内 70 年代对超声波治疗脑血管疾病进行了大量的观察与研究,但由于对其安全性问题存有争议,对于疗效评价缺乏基础研究依据和客观评价指标,曾一度陷入低潮。近年来由于基础研究和超声波治疗仪器的进展,国内积累了丰富的研究资料和临床实践经验,使超声波治疗脑血管疾病的临床应用及研究进入了一个新阶段。但国内外有关超声波治疗学的专著甚少,目前尚未见到有关超声波治疗脑血管病方面的系统专著问世。编者二十多年来从事超声波治疗脑血管病的临床与研究,近十年来多次承担省级科研项目,从基础实验和临床研究相结合的较深层次,做了大量的工作,积累了丰富的研究资料,在此基础上参考国内外研究进展,编著这本《脑血管疾病超声治疗学》专著。

本书分三篇十章,从理工医相结合及临床与科研相结合的科学高度,全面系统的论述了超声波治疗脑血管疾病的研究进展和临床应用。第一篇主要论述超声波的治疗学基础,包括超声波的治疗物理学、生物学基础,超声波治疗技术及其治疗机,超声波对组织器官的作用等。第二篇重点论述作者近年来的研究成果,详细介绍了作者在超声波治疗脑血管病安全性、疗效、机理等方面的研究工作和主要学术观点。第三篇在论述脑血管疾病的基本知识的基础上,重点论述超声波在治疗脑血管疾病及其它疾病方面的应用。

本书力求系统全面、重点突出、图文并茂、新颖实用,集超声波治疗脑血管疾病基础、科研、临床应用于一册。可供神经内外科、理疗科、康复科等各科临床医师阅读,也可供大专院校师生教学、科研及有关医疗仪器研制单位参考。在本书编写过程中承蒙陕西省人民医院领导及有关专家的大力协助,在此深

表谢意。

本书内容涉及面广,学科交叉性强且研究进展较快,由于时间、能力有限,在编写过程中不足之处在所难免,敬请广大读者批评、指正。

俞世勋

1999年4月于西安

目 录

第一篇 超声波治疗基础

第一章 超声波治疗的物理基础	(1)
第一节 声学基础知识	(1)
声音的产生和传播	(1)
声音的反射、散射和吸收	(2)
声波物理特性的三要素	(2)
声波的分类	(3)
第二节 超声波的基本特性	(3)
超声波的束射性	(4)
超声波的透射、反射、折射与聚集	(6)
超声波的吸收与衰减	(6)
超声波的巨大能量	(7)
超声波的声压特性	(7)
第二章 超声波的治疗技术	(10)
第一节 超声波的产生	(10)
压电效应	(10)
超声波换能器	(11)
第二节 超声波的辐射方式	(12)
第三节 超声波的治疗方法	(14)
直接接触辐射法	(14)
间接接触辐射法	(14)
超声波药物透入疗法	(15)
超声波穴位刺激疗法	(15)

超声波外科疗法	(16)
第四节 超声波治疗剂量	(16)
超声波的剂量问题	(16)
超声波的治疗剂量	(17)
超声波剂量的相关因素	(17)
第三章 超声波治疗机	(19)
第一节 超声波治疗机的基本原理	(19)
概述	(19)
电源部分	(20)
振荡器部分	(23)
调制器部分	(27)
换能器部分	(27)
第二节 超声波治疗机的类型	(28)
631 型超声波治疗机	(28)
CZ-2 型超声波治疗机	(29)
CZ-3 型超声波治疗机	(29)
CSL2 型超声波治疗机	(32)
XCZ-II 型穴位超声波治疗机	(34)
第三节 超声波剂量测定	(38)
概述	(38)
超声波功率计	(39)
简易测定方法	(41)
第四节 超声波治疗机的维护与维修	(42)
使用程序	(42)
注意事项	(42)
日常维护	(46)
故障检修	(46)
第四章 超声波的生物学基础	(50)
第一节 超声波的生物学作用	(50)
温热作用	(50)
机械作用	(51)
生物理化作用	(52)

第二节 超声波的作用机理	(54)
第五章 超声波对组织器官的作用	(56)
第一节 超声波对神经系统的作用	(56)
周围神经	(56)
中枢神经	(57)
第二节 超声波对其它组织器官作用	(61)
心血管系统	(61)
肺脏	(62)
消化系统	(62)
眼睛	(63)
皮肤	(63)
肌肉和结缔组织	(64)
血液系统	(64)
肾脏、内分泌	(65)
骨及骨髓	(66)
生殖系统	(66)
组织细胞	(67)

第二篇 超声波治疗脑血管病研究

第六章 超声波治疗脑血管病的安全性	(69)
第一节 概述	(69)
第二节 超声波对兔自由基及其相关酶的影响	(70)
材料与方法	(70)
实验结果	(71)
分析与评价	(72)
第三节 超声波对兔脑损伤的局部温度测定	(74)
材料与方法	(74)
实验结果	(75)
分析与评价	(76)
第四节 动物颅骨对超声波吸收率测定	(77)
材料与方法	(77)

实验结果	(78)
分析与评价	(79)
第五节 超声波对兔脑损伤的病理学研究	(80)
材料与方法	(80)
实验结果	(81)
分析与评价	(83)
第六节 超声波治疗实验性脑出血安全性	(84)
材料与方法	(85)
实验结果	(85)
分析与评价	(86)
第七节 超声波治疗脑血管病的安全性	(87)
超声波对脑组织损伤的特征	(87)
超声波对脑组织损伤的机理	(88)
超声波治疗脑血管病的安全性	(91)
第七章 超声波治疗脑出血的基础与临床研究	(92)
第一节 实验性脑出血模型的建立	(92)
材料与方法	(92)
实验结果	(93)
分析与评价	(94)
第二节 超声波治疗实验性脑出血	(95)
材料与方法	(95)
实验结果	(96)
分析与评价	(97)
第三节 超声波对兔微循环的影响	(98)
材料与方法	(98)
实验结果	(99)
分析与评价	(101)
第四节 超声波治疗老年性脑出血	(101)
对象和方法	(101)
观察结果	(103)
分析与评价	(104)
第五节 超声波治疗脑出血的疗效和机理	(104)
超声波治疗脑出血的疗效	(104)

超声波治疗脑出血的机理	(105)
-------------	-------

第三篇 超声波治疗脑血管疾病及其它疾病

第八章 脑血管疾病	(107)
-----------	-------

第一节 解剖生理	(107)
脑神经	(107)
神经系统定位	(107)
脑血管解剖	(111)
脑血液循环	(113)
第二节 脑血管疾病分类	(116)
脑血管疾病分类	(116)
脑血管疾病诊断要点	(119)
第三节 脑血管疾病	(121)
缺血性脑血管病	(121)
出血性脑血管病	(142)
脑血管疾病康复	(157)

第九章 超声波治疗脑血管疾病	(163)
----------------	-------

第一节 概述	(163)
第二节 超声波治疗脑血管疾病的临床应用	(164)
适应症的选择	(164)
治疗方法	(164)
大脑机能投影区	(164)
第三节 超声波治疗脑血管疾病的疗效	(168)
第四节 超声波治疗脑血管疾病的机理	(170)
第五节 超声波治疗的副作用及注意事项	(172)
超声波治疗的副作用	(172)
超声波治疗的注意事项	(173)

第十章 超声波治疗其它神经系统疾病	(175)
-------------------	-------

第一节 中枢神经系统疾病	(175)
流行性乙型脑炎	(175)

癫痫·····	(176)
脑损伤·····	(176)
蛛网膜炎·····	(178)
骨髓病变·····	(178)
痴呆综合症·····	(178)
第二节 周围神经系统疾病·····	(179)
三叉神经痛·····	(179)
面神经炎·····	(179)
灼性神经痛·····	(180)
肋间神经痛·····	(181)
坐骨神经痛·····	(181)
周围神经损伤·····	(182)
附录 1:参考文献·····	(184)
附录 2:附图	

第一章

超声波治疗的物理基础

第一节 声学基础知识

声音是我们每个人都非常熟悉的,因为我们每时每刻都生活在声音的海洋里,自然界震撼人心的风雨雷鸣,日常生活的喧闹,夏夜田野中百虫奏鸣,一首美妙动人的乐曲,这些都是我们人耳听觉所感受到的声音。

【声音的产生和传播】

声音是怎样产生的哪?答案是震动产生了声音,例如:我们仔细观察一下演奏的二胡或小提琴就会发现发声时琴弦是在振动着的,琴弦的振动带动了琴箱的共鸣振动产生了一支动人的乐曲,当你说话时,肺部的气体冲出喉咙带动了声带振动并发出声音,你不仿说话时将手指轻轻触动在喉节部位,手指就会感受到这种振动。产生了声音的振动着的物体,我们称之为声源。

声音是在媒质中传播的,我们平时能够听到声音是因为声源的振动带动了空气或其它物质的振动,振动着的空气或其它物质将这种振动传到我们的耳鼓膜并引起耳膜的振动,我们的听觉神经将这种振动转化为神经冲动信号,送入人的大脑处理而使我们感受到声音。这里传播声源振动到耳鼓膜振动的空气或其它物质就是声音传播媒质,这里有个小实验,将一个正在走动的闹钟,放在一个吸收振动良好的橡皮盘上,外面扣上一个玻璃罩,这时我们在玻璃罩的附近,仍可听见闹钟滴滴答答的走动响声。当我们用抽气机将玻璃罩内的空气逐渐抽出时,在罩外听到的钟表声将逐渐减弱,当罩内空气抽完接近真空时,我们就听不到滴滴答答的钟声了。这个实验表明声音只有依靠媒质才能够被传播,一切的固体、液体、气体均为传声媒质。

声音的传播速度在不同的媒质中是不同的,就一般而言固体传声速度最大,其次是液体、气体传声速度最慢,因为固体传声速度快,声音损耗小,所以

在野外我们耳朵贴着地面就以更快更清晰地分辨出远处的脚步声或马蹄声,在这里举个小例子使我们可感受一下声在空气中的传播速度,在夏日里的雷雨天气,我们常常可以看到一道闪电划破天空,过一小会儿才能传来隆隆的雷声,其实,闪电和雷鸣是在同一时刻发生的,光速很快,传播时间可以忽略,而声速则远远慢于光速传到我们的耳朵。

声速在各种不同媒质中的传播是不同的,而且与当时这种媒质的温度有关,温度愈高,声音的传播速度愈快。表 1-1-1 列出了在常温下声波在一些常见物质中传播的速度。

表 1-1-1 声波在各种物质中传播的速度

物质名称	传播速度 m/s	温度(℃)	物质名称	传播速度 m/s	温度℃
钢	5800	20	人类肌肉组织	1568	20
铝	6400	20	人类软组织	1500	20
铅	1515	20	人类骨骼	3360	20
空气	331	0	肌肉组织	1400	20
空气	343	20	人类脂肪	1476	24
淡水	1430	17	脂肪组织	1580	20
海水	1500	17	石英玻璃	5370	20

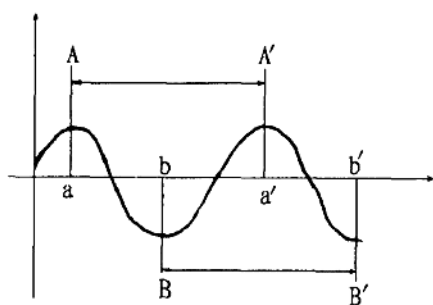
【声音的反射、散射与吸收】

也许你有过这样的体验,在空旷的山谷或高大的建筑前,你大声喊一声,随后将有几个回声萦绕于耳,这是由于声音的反射所造成的,我们进入一个空旷的新房子,说话时可以明显地感到有嗡嗡声,这也是由声音的反射所造成的,为什么同样是反射而在房子里只能听到嗡嗡声而不是二次回声哪?这是因为距离短的缘故,人耳不能那么快分辨出来完整的回声。声音遇到平面会反射回来,遇到不平的粗糙物体就会向多个方向反射,这就是所谓的散射,当我们入住前面所说的新房子后,由于搬入了各种日常用品而对声音产生了散射,所以再也听不到嗡嗡声了。在平原田野里远外有人在使劲喊你,你分辨起来不如距离近时清楚,为什么呢?是因为空气对声音的传播能量吸收的缘故,比较大的影剧院不将墙壁做成一个整平面,并把墙和顶棚用多孔的吸收材料做成就是为了最大限度减低声音反射给人耳所造成的嗡嗡声。

【声波物理特性的三要素】

波长(λ)、波速(V),频率(F)称之为声波的三要素,这三个物理量相互关联,其之间的关系是定量计算和研究声波的关键。

波长(λ)单位为 M 米;波速(V)单位为 M/S(米/秒);频率 F 单位为 Hz(赫兹)。



左图是水波的一个剖面图,波峰 $A-A'$ 为一个波长同样 $B-B'$ 为一个波长

坐标纵轴代表波的振幅,即声音的强弱,振幅越大声音越强,反之,声音就弱。坐标的横轴代表时间, $A-A'$ 或 $B-B'$ 投影到横轴上 $a-a'$, 或 $b-b'$ 表示一个完整的波所用的时间即周期 T , 单位(秒), 频率(F)是每秒的周期数,即每秒中有多少个 T , 它和周期 T 的关系为 $F=1/T$ 单位(Hz), 比如我们人耳听的低音频率下限为 20Hz。即每秒钟声源做了完整的 20 次周期振动, 我们听觉的上限为 20000Hz, 即声源每秒钟完成了 20000 次的周期振动。

波长 λ , 波速 V ; 频率 F 之间的关系可用一个公式表示如下:

波长 = 波速 / 频率

$$\lambda(\text{米}) = V(\text{米/秒}) / F \text{ 赫兹}$$

由上式或知, 因为 V 在某媒质中为定值, 所以 λ 与 F 成反比关系。频率越高, 波长越短。上式是声学中非常重要的一个关系式。

【声波的分类】

根据声波的频率 F 的高低, 我们可将声波分成四类, 如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 声波的分类、特点及用途

类 别	次 声	可听声	超 声	微波超声波
频率(Hz)	<20	20-20000	20000- 3×10^8	$>3 \times 10^8$
特 点	低于人的听觉范围而且听不到	指通常人耳可听到的声音	人耳听不到, 具有很强的方向性, 能够反射、折射、透射, 具有空化作用, 能量大。	频率极高, 波长达到微米以下。
用 途	气象探测海啸预报	日常生活、广播、工作和其它广泛应用	工业、农业、军事、医疗等广泛应用	无线电电子学、光电子学等科研、军事方面应用。

第二节 超声波的基本特性

频率在 2kHz 以上的声波称之为超声波, 由于频率 f 升高, 波长 λ 变短使

得超声波比普通声波具有特殊性,即近似于光的某些特征。如束射性,由一种媒质进入另一种媒质发生折射、反射等。同时有很强的被吸收性与衰减性,带有很强的能量。本节简要介绍超声波的几个主要特征。

【超声波的束射性】

人耳可感受的声音是无指向性的球面波,即以声源为中心呈球面向四周扩散周围均能听到声音。由于超声波频率很高,所以方向性就相对要强,方向性即束射性。当超声波发生体压电晶体的直径尺寸远大于超声波波长时,则晶体所产生的超声波就类似于光的特性,如图 1-1-1 所示。

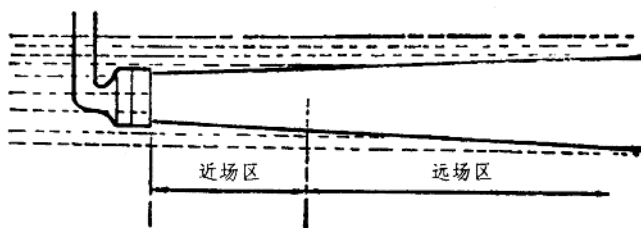


图 1-1-1 超声波声束示意图

紧靠晶体辐射板的一段叫近场区,接近于圆柱状;离晶体辐射较远的部分,超声波以一定的角度扩散,叫远场区。若压电晶体圆片的直径为 D ,超声波在该介中的波长为 λ ,则近区的长度为:

$$N = \frac{D^2 - \lambda^2}{4\lambda} \approx \frac{D^2}{4\lambda} \quad (D \gg \lambda)$$

由上式看出,压电晶体片直径愈大或频率越高,即波长 λ 愈短,则近场区的长度愈长,此超声波场的束射性就愈好。

声学工作者用光衍射法,对医用超声波换能器的声场显示做了深入、生动的研究,如图 1-1-2~1-1-6)。

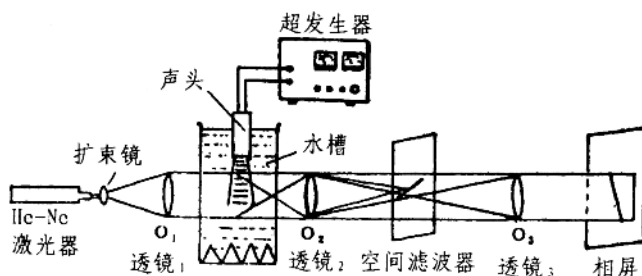


图 1-1-2 “光衍射法超声波声束显示”实验光路图

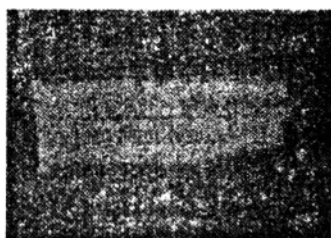


图 1-1-3 单片换能器的超声波声束

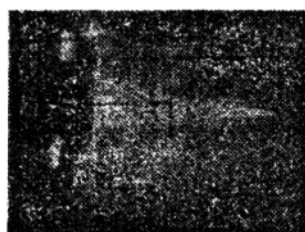


图 1-1-4 单片换能器的聚焦超声波声束

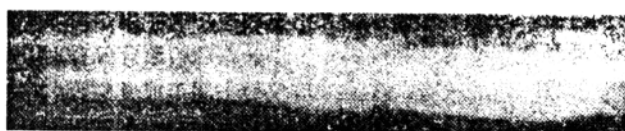


图 1-1-5 单片换能器的超声波声束全景图

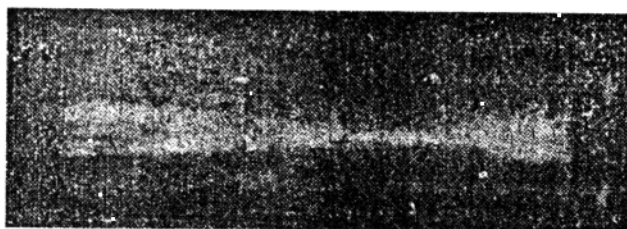


图 1-1-6 单片换能器的聚焦超声波声束全景图

就是这个研究成果的一组照片,它对我们深入而又形象地理解超声波的束射性,超声波的聚焦性,都有很大的帮助。图 1-1-2 是这种光衍射法的实验光路图。图中的 He-Ne 激光器的波长为 6328Å(埃),O 为一组合透镜,它将扩束镜发出的扩散光束变为平行光束。最后在相屏上得到的是一个超声波声束的倒立的实相。图 1-1-3 图 1-1-6 的一组照片,就是从这个相屏上拍摄而成的。整个实验均在暗室中进行。图 1-1-5 所示的这张未聚焦的单片换能器的全景超声波束照片,是我们超声波治疗机所发出的超声波声束的生动、形象的显示,是值得我们深入研究和理解的。

理解了超声波的束射性,对超声波治疗有重要的意义。由于超声波具有很强的束射性,在超声波治疗时,要注意使用声头辐面垂直,对准治疗部位。又由于超声波声头辐射出的超声波场中心处最强,愈向外侧愈弱,所以,在超声波治疗操作时,一般都要以一定的速度,在治疗部位做小圆周或其它形式的移动,以使治疗部位得到的超声波剂量基本均匀,从而保证治疗效果的良好。

【超声波的透射、反射、折射与聚集】

由于超声波的频率较高,所以超声波在定向传播时,在两种不同媒质的分界面上,会出现类似于光线一样的透射、反射和折射现象。

光线的透射、反射与折射现象是常见的。例如,我们在一个黑暗的环境里,将一束光线投身到一个盛满水的透明玻璃烧杯里,我们将十分清楚地看到光线在水面上产生的透射、反射与折射现象。我们采用图 1-1-2 所示的光衍射法,也可以清楚地看到超声波声束的反射、透射与折射现象。见图 1-1-7。

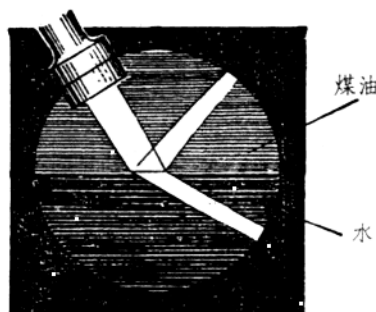


图 1-1-7 超声波的透射、反射与折射

光的聚集现象是常见的。如果我们手边在一个放大镜,在强烈的阳光下,太阳光经过放大镜的聚集到一点,就会将这一点上的纸或者香烟等物点燃。许多人都亲身做过这个实验。

超声波的聚集现象和光线的聚集现象是一样的。利用超声波聚集装置可以将超声波束会聚到一点,从而将超声波的声强提高几倍甚至几千倍,利用这样巨大的声强可以做许多很有意义的工作。例如:超声波切割、超声波钻孔、超声波打磨等。

【超声波的吸收与衰减】

声波在各种媒质中传播时,由于媒质要吸收掉它的一部分能量,所以,随着传播路程的增加,声波的强度会逐渐减弱。

在一个广场上,一个民族弦乐正在为广大群众作街头演出,许多人闻讯前去观看和欣赏那动听的音乐。当你从远处走近这个乐队时,首先听到的是那音调低沉的鼓声,随着你慢慢走近乐队,你就逐渐听到了锁呐声、笛声、二胡声等;当你最后走到乐队周围时,你才听到了那音调很高的清脆的铃声。

这个例子,很生动地说明了各种不同频率的声波,在空气中传播时被吸收的程度是不同的。频率越高的声波,空气对它的吸收越强,所以它传播的距离较短。例如上述乐队中音调很高的铃声,因其频率很高,空气对它的吸收作用

很强,所以传不远。反之,对频率越低的声波,空气对它的吸收较少,因此,它传播的距离较长。上述乐队中音调低沉的大鼓声音传得很远,正是由于它的频率很低的缘故。

声波在媒质中传播时,被吸收而衰减的另一个特点是对于同一个声波,当它在固体、液体或气体,以及各种不同物质中传播时,它被吸收的程度也是不同的。对于一个频率固定的声波,在气体中传播时,它被吸收的最厉害;在液体中传播时,它吸收的较少;而在固体中传播时,则被吸收的最少。所以,声波在空气中传播的最短,在水中则可传播的远一些,而在金属中则能传播得很远。

以上关于声波吸收的两个特性,无论对可听声,或是对超声波,都是适用的。对于超声波来讲,由于它的频率很高,所发,它在空气中传播时,被吸收的特别厉害。据科学家们的实验,频率为 100 亿 Hz 的超声波,在它离开声源的一刹那间,马上会被空气全部吸收掉。在超声波治疗的临床应用中,对于超声波的吸收特性,必须予以足够的重视。这一点,在下面的有关章节中,将要详细谈到。

【超声波的巨大能量】

超声波之所以在工业、国防和医疗等方面发挥着独特而又巨大的作用,还有一个原因是由于超声波比一般可听声有着强大的功率。根据声学工作者的实验测定,一般的讲话声音的能量是很小的。假设我们想用普通说话的能量来烧开一壶水,那么,必须动员 700 多万人,连续大声喊叫 12 个小时才行。超声波具有的能量,要比一般可听声大的多。根据有关声学实验测定,频率为 100 万赫兹的超声波的能量,要比同幅度的频率为 1000 赫兹的可听声能量大 100 万倍。所以说,拥有巨大的能量,是超声波的一个重要特点。超声波的许多应用,也都是利用它的这一特点进行工作的。为什么超声波拥有这么强大的功率呢?这是由于声波到达某一物质中时,由于声波的振动作用,使物质中的分子随之一起振动,两者振动的频率是一致的。物质分子振动的频率,决定了该物质分子振动的速度,频率越高,速度越大。我们知道,一个运动物体所具有的动能 E 与其质量 M 和运动速度有下列关系:

$$E = mV^2$$

即,运动物体的动能与其质量成正比,与其速度的平方也成正比。

由于超声波的频率很高,它使所进入的物质分子运动速度,也随之变的很高。根据上式可知,这样高的运动速度,使该物质分子具有很大的动能,这就是超声波拥有巨大能量的缘故。

【超声波的声压特性】

所谓“声压”指的是由于声波的振动而使声场中的物体受到附加压力的强度,单位为公斤/平方厘米,一般可听声的声压非常微小,其数值约为 0.

0.000001 公斤/平方厘米~0.000002 公斤/平方厘米。这公微小的声压,一般是不引起人们的注意的。但是,超声波的声压,一般是很大的。例如,在水中通过一般强度的超声波时,因超声波而产生的附加压力,可以达到好几个大气压。超声波之所以能够产生这样强的声压,可以达到好几个大气压,其根本原因仍然是由于超声波的频率很高,所以振动时,使高密度分子间的伸拉很快以致使其间形成瞬时的真空与压缩高密度区,产生巨大的压力差。当它的振幅达到一定程度时,超声波拥有的能量十分巨大。

当超声波束通过液体时,由于巨大的超声波声压作用,可以在液体中出现“空化现象”。这种现象所产生的瞬时压力,可以高达几千个,甚至上万个大气压!这么巨大的瞬时压力,使超声波的应用,在许多方面显示出它独特的巨大作用。现在已被普遍应用的超声波清洗,超声波乳化等,都是超声波空化现象的具体运用。

超声波的空化现象是怎样产生的呢?让我们通过观察一个声学实验,来了解空化现象产生的奥妙。

如图 1-1-8 所示,在一个盛满水的玻璃容器中,放入一个超声波发生器的声头。

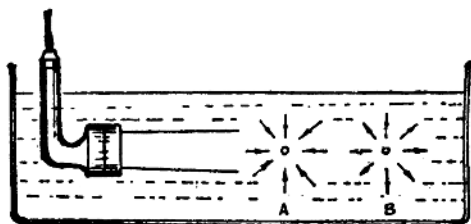


图 1-1-8 超声波的空化现象

在超声波机未工作之前,该容器中的液体分子受到的只是大气压的压力,液体的分子都很稳定,没有什么变化。当超声波机开始工作后,一般强大的超声波束穿过了整个液体内部。我们知道,当声波通往某种物质时,由于声振动现象,这种压缩和稀疏相互交替的作用,使该物质分子受到的压力产生了变化。例如当超声波振动使水分子压缩时,水分子所受到压力将是大气压加上水分子被压缩时受到的压力,这个变化的压力就是前面我们所谈到的“声压”。当这个巨大的声压使水分子团压缩时,好象水分子团受到了来自四面八方的巨大压力(参看图 1-1-8A)当超声波振动使水分子稀疏时,水分子又受到了向四面八方散开的拉力(参看图 1-1-8B)。对于一般的液体,它能经受得住声压的巨大压力作用,所以在受到压缩力时,水分子团不会发生反常的现象。但是当水分子团受到稀疏作用而受到四面八方的拉力时,它们就支持不住了。在拉力集中的地分,水分子团就会断裂开来,这种断裂作用,最容易发生在存有杂质和气泡的地方,因为这些地方水的强度特别低,根本经不住几倍于大气