

超声诊断基础

李翔 编著
刘忠齐

人民卫生出版社

超声诊断基础

李 翔 刘忠齐 编著

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

人 民 卫 生 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

787×1092毫米16开本 27印张 4插页 551千字

1980年8月第1版第1次印刷

印数：1—8,650

统一书号：14048·3836 定价：2.60元

前 言

超声诊断是一门借助于现代电子技术、超声技术来研究人体内部组织超声物理特性和病变间的某些规律，并以这些规律为临床医学服务的边缘性学科。由于它能无损伤、非侵入地对人体的一些疾病进行诊断，并能对内部脏器或病变进行断层显示，或者同X线一样对脏器和病变进行透视，因而自从四十年代超声诊断问世以来，就逐渐受到人们的重视，特别是近几年发展得更迅速。许多医院已经设立了专门超声波检查室，不少先进国家成立了超声医学研究会。国际上于1976年成立了超声生物与医学联合会，出版了专门的刊物。

我国超声诊断从1958年开始，现在已有20多年的历史。目前超声诊断的应用相当广泛，有些地方已普及到公社一级的医院。据1978年非常初步的统计，目前国内从事超声诊断的医务人员约有5万余人，而超声诊断仪器的数目达3万多台。近几年超声显像技术，如超声全息、快速多元线阵和机械扫查的超声显像仪在我国相继试制成功；超声多普勒、超声心动图检查技术，近年来也得到了迅速发展。

为了适应我国超声诊断技术迅速发展的需要，在中国人民解放军总医院和中国科学院声学所领导的关怀和大力支持下，我们编写了这本《超声诊断基础》。书中着重介绍超声诊断的物理基础和临床应用基础以及一些现代超声诊断的技术。在临床应用基础方面的介绍偏重于显像技术，同时注意与A型诊断的相互配合。全书分三篇共计六章。第一篇扼要介绍超声的一些基本特性和规律。第二篇为超声诊断的临床应用基础。第三篇介绍超声诊断设备，其目的是使从事超声诊断的同志们得到更多有关设备方面的知识，以利于今后工作的开展。

为了加深人们对超声多普勒诊断技术的完整印象和避免重复，将有关超声多普勒效应原理一并在第三篇中介绍。

本书第一、第三篇由中国科学院声学所超声波室刘忠齐同志编写。第二篇由中国人民解放军总医院超声波室李翔同志编写。全书绘图工作主要由中国人民解放军后勤学院卫勤系杨洪余同志承担，并得到解放军总医院照相室的大力支持。

由于我们水平有限，收集资料不多，工作不够深入，加之超声诊断技术的迅速发展，新内容很多，因此，错误和不足之处在所难免，殷切欢迎同志们批评、指正。

编 者

一九七九年五月

目 录

第一篇 超声诊断的物理基础1	三 声振幅和声压的测量.....52
第一章 超声波的一些基本特性.....1	四 超声功率的测量.....53
一 振动与波.....2	五 超声衰减和吸收的测量.....55
二 波长、周期、频率.....3	六 超声频率和频谱的测量.....58
三 超声传播速度.....4	七 超声场的测量.....60
四 波型.....7	第六章 超声生物效应63
五 声压和声压级.....8	一 不同超声强度对生物的影响.....63
六 声强度和强度级.....9	二 超声对生物组织影响的机理.....67
七 特性阻抗.....11	三 超声诊断的安全剂量.....68
第二章 超声的传播.....12	第二篇 超声诊断的临床基础及其应用70
一 波动论与几何声学.....12	第七章 仪器使用与维护70
二 波动方程及其解.....12	一 仪器使用.....70
三 超声的反射和折射.....13	二 仪器维护.....71
四 超声在生物组织中的传播.....16	第八章 检查方法与记录方法71
五 通过层的反射.....17	一 检查方法.....71
六 驻波、干涉.....18	二 记录方法.....74
七 衰减和吸收.....19	第九章 超声诊断依据与诊断原则75
八 多普勒效应.....21	一 波型.....75
九 辐射压和非线性声学.....21	二 图像.....81
十 超声传播图示法.....22	三 声音.....85
第三章 超声的发生和接收23	四 数值.....85
一 压电效应和电-声转换.....23	五 超声诊断原则.....85
二 谐振与频率常数.....26	第十章 颅脑的超声诊断85
三 等效电路和频率响应.....27	一 检查方法.....86
四 短脉冲和暂态响应.....28	(一) 仪器.....86
五 换能器的频率调配和阻抗匹配.....31	(二) 仪器使用.....87
六 换能器的性能及测试方法.....32	(三) 检查技术.....87
七 换能器压电材料的选择.....34	二 检查所见.....89
八 非压电方法的声能——其它能量转换.....35	(一) 头颅进波.....89
第四章 超声场35	(二) 头颅出波.....89
一 圆形活塞振源的超声场.....35	(三) 颅内回波.....90
二 其它形状换能器的超声场.....40	(四) 中线波.....91
三 聚焦超声场.....42	(五) 中线波移位.....95
四 脉冲超声场.....48	(六) 中线波假象间位.....99
第五章 超声基本量的测量49	(七) 第三脑室测量.....101
一 声速的测量.....50	(八) 侧脑室测量.....101
二 特性阻抗的测量.....51	

(九) 大脑内搏动·····	104
第十一章 眼部疾病的超声诊断·····	105
一 检查方法·····	105
(一) 仪器使用·····	105
(二) 检查技术·····	106
(三) 注意事项·····	108
二 检查所见·····	110
(一) 正常眼球及眼眶波型·····	110
(二) 正常眼球及眼眶图象·····	111
(三) 正常眼部波型、图象与解剖关系·····	111
(四) 眼球测量·····	115
(五) 眼部病变波型与图象·····	118
(1) 玻璃体腔异物·····	118
(2) 晶状体后脱位·····	122
(3) 玻璃体混浊·····	122
(4) 玻璃体出血·····	123
(5) 渗出性视网膜炎(Coat's病)·····	126
(6) 含液性视网膜脱离·····	127
(7) 实质性视网膜脱离·····	129
(8) 眼眶囊性占位病变·····	138
(9) 眼眶实质性占位病变·····	140
(10) 间歇性眼球突出·····	142
(11) 非占位性病变眼球突出·····	146
第十二章 心血管疾病的超声	
诊断·····	146
一 心脏解剖在超声检查上的特点·····	147
二 A型超声法诊断心包积液·····	147
(一) 检查方法·····	148
(二) 检查所见·····	148
三 超声心动图法·····	150
(一) 检查方法·····	151
(二) 检查所见·····	153
(1) 正常二尖瓣·····	153
(2) 二尖瓣狭窄·····	158
(3) 二尖瓣关闭不全·····	164
(4) 二尖瓣脱垂·····	165
(5) 腱索断裂性二尖瓣关闭不全·····	165
(6) 脱垂性心房肿瘤·····	165
(7) 特发性肥厚性主动脉瓣下狭窄·····	167

(8) 慢性主动脉瓣关闭不全·····	170
(9) 急性主动脉瓣关闭不全·····	172
(10) 人工二尖瓣运动的超声检查·····	172
(11) 主动脉根及其瓣膜·····	173
(12) 主动脉瓣狭窄·····	174
(13) 主动脉瓣的异常运动·····	175
(14) 主动脉夹层动脉瘤·····	177
(15) 三尖瓣·····	177
(16) 肺动脉瓣·····	178
(17) 房室壁与房室腔的测量·····	178
(18) 心包积液·····	183
(19) 心包肥厚与缩窄性心包炎·····	186
(20) 原发性充血性心肌病·····	186
(21) 细菌性心内膜炎·····	188
(22) 左心室功能测量·····	188
(23) 冠状动脉疾病·····	191
(24) 慢性肺心病·····	193
(25) 先天性心脏病·····	195
四 多普勒超声法·····	205
(一) 使用的仪器·····	206
(二) 心血管方面的应用·····	206
(1) 典型正常波型·····	207
(2) 冠心病·····	209
(3) 心律失常·····	211
(4) 与脉象关系·····	211
(5) 主动脉瓣病变·····	211
(三) 产科的应用·····	214
(1) 早孕·····	214
(2) 晚期妊娠·····	214
(3) 单胎·····	215
(4) 双胎·····	215
(5) 活胎·····	215
(6) 死胎·····	215
(7) 葡萄胎·····	215
第十三章 肝脏疾病的超声诊断·····	216
一 检查方法·····	216
(一) 仪器使用·····	216
(二) 检查技术·····	217
(三) 注意事项·····	217
二 检查所见·····	218

(一) 正常肝脏·····	218	(一) 检查方法·····	246
(1) 肝脏大小的测量·····	218	(1) 仪器使用·····	246
(2) 肝脏活动度测量·····	218	(2) 检查技术·····	246
(3) 正常肝脏波型与图象·····	218	(3) 注意事项·····	246
(二) 病变肝脏·····	221	(二) 检查所见·····	246
(1) 肝脓肿·····	221	(1) 正常肾·····	246
(2) 肝囊肿·····	224	(2) 肾下垂·····	248
(3) 肝包囊虫病·····	226	(3) 异位肾·····	250
(4) 肝癌·····	228	(4) 肾结石·····	250
(5) 脂肪肝·····	230	(5) 肾盂积水·····	250
(6) 肝硬变·····	231	(6) 肾囊肿·····	251
(7) 肝实质弥漫性异常·····	232	(7) 多囊肾·····	252
第十四章 胆囊疾病的超声诊		(8) 肾癌·····	253
断·····	234	(9) 肾上腺结核性脓肿·····	256
一 检查方法·····	234	二 膀胱与前列腺·····	258
(一) 仪器使用·····	234	(一) 检查技术·····	258
(二) 检查技术·····	234	(二) 检查所见·····	258
(三) 注意事项·····	235	(1) 正常膀胱·····	259
二 检查所见·····	235	(2) 前列腺良性肥大·····	260
(一) 正常胆囊波型与图象·····	235	(3) 残余尿测定·····	260
(二) 病变胆囊·····	238	第十七章 妇产科疾病的超声	
(1) 胆囊炎·····	238	诊断·····	261
(2) 胆囊结石·····	239	一 检查方法·····	261
(3) 胆囊憩室·····	240	(一) 仪器使用·····	261
第十五章 脾脏疾病的超声诊		(二) 检查技术·····	262
断·····	241	(三) 注意事项·····	263
一 检查方法·····	241	二 检查所见·····	263
(一) 仪器使用·····	241	(一) 妇科·····	263
(二) 检查技术·····	241	(1) 正常子宫波型·····	263
(三) 注意事项·····	241	(2) 正常附件区波型·····	263
二 检查所见·····	241	(3) 囊性包块·····	264
(一) 正常脾脏·····	241	(4) 实性包块·····	267
(二) 病变脾脏·····	241	(5) 混合性包块·····	271
(1) 脾脏肿大·····	241	(二) 产科·····	274
(2) 脾切除术后脾区波型·····	242	(1) 早期妊娠·····	274
(3) 充血性脾肿大·····	244	(2) 中期妊娠·····	276
(4) 脾脏原发性淋巴肉瘤·····	244	(3) 晚期妊娠·····	276
(5) 脾脓肿·····	245	(4) 过期流产和死胎·····	280
(三) 鉴别诊断·····	245	(5) 葡萄胎·····	280
第十六章 泌尿系疾病的超声		(6) 宫外孕·····	283
诊断·····	246	(7) 无脑儿·····	284
一 肾脏·····	246	(8) 前置胎盘·····	284

第十八章 超声诊断在其它方面

- 面的应用285
- 一 上颌窦囊肿的诊断285
- 二 颈部包块的诊断286
 - (一) 检查技术286
 - (二) 检查所见286
 - (1) 单纯性结节状甲状腺肿286
 - (2) 甲状腺炎287
 - (3) 淋巴结肿大287
 - (4) 颈部脂肪瘤290
- 三 乳腺包块的诊断290
- 四 胸壁包块的诊断294
 - (一) 胸壁结核294
 - (二) 脂肪瘤294
- 五 胸膜腔积液的诊断295
 - (一) 检查方法295
 - (1) 使用仪器295
 - (2) 检查技术295
 - (二) 检查所见295
 - (1) 正常胸部波型295
 - (2) 胸腔积液波型296
- 六 肺部疾病的诊断299
 - (一) 检查方法300
 - (二) 检查所见300
 - (1) 肺囊肿300
 - (2) 肺脓肿300
 - (3) 肺炎300
 - (4) 结核瘤301
 - (5) 肺癌301
- 七 纵隔包块的诊断304
 - (一) 检查方法304
 - (二) 检查所见304
 - (1) 囊性肿物304
 - (2) 实质性肿物305
- 八 腹腔脓肿的超声诊断307
- 九 腹水的超声诊断308
- 十 腹部包块的诊断310
 - (一) 检查方法310
 - (1) 使用仪器310
 - (2) 检查技术310
 - (二) 检查所见310
 - (1) 囊性包块310

- (2) 实质性包块310

第三篇 超声诊断设备318

第十九章 超声诊断设备总论318

- 一 超声诊断设备的类型318
- 二 超声诊断设备频率和频带宽度的选择319
- 三 近区特性321
- 四 线性范围和动态范围322
- 五 电控增益和深度补偿325
- 六 定量测量328
- 七 数据输出形式330

第二十章 A型脉冲超声诊断

设备331

- 一 A型脉冲超声诊断设备的总体结构331
- 二 发射电路333
- 三 接收放大电路335
- 四 探头337
- 五 时间电路340
- 六 显示与记录343

第二十一章 M型超声诊断

设备344

- 一 M型超声诊断设备的总体结构345
- 二 时间电路347
- 三 双导超声心动图仪349
- 四 M型图像信号的处理、显示及记录350
- 五 用M型超声诊断仪作简单的人体断层图352

第二十二章 断层显像型超声

诊断设备352

- 一 断层显像型超声诊断设备的总体结构353
- 二 手持扫查断层显像设备356
- 三 快速扫查断层显像型超声诊断设备359
- 四 多元阵探头364
- 五 断层图的显示和记录366

第二十三章 多普勒型超声诊

断设备368

- 一 超声多普勒信号产生的原理368

二 多普勒信号的检出和分析·····	371	三 脉冲压缩技术·····	398
三 多普勒型超声诊断仪的类型 及结构·····	377	四 随机信号相关接收技术·····	401
四 多普勒型超声探头·····	380	五 数字信号处理技术·····	403
五 多普勒诊断仪在医学中的应用·····	381	六 常用医学数据的统计分析法·····	406
第二十四章 其它超声诊断设 备·····	383	第二十六章 超声诊断设备的 性能测试和维修·····	409
一 透射成像型超声诊断设备·····	383	一 A型脉冲超声诊断设备的性能 测试·····	409
二 超声全息诊断设备·····	386	二 M型超声诊断设备的性能测试·····	416
三 带计算机处理的超声诊断和 显像设备·····	389	三 断层显像型超声诊断设备的性 能测试·····	418
四 超声显微镜·····	392	四 多普勒超声诊断设备的性能测 试·····	420
第二十五章 超声诊断技术中 的信号处理·····	393	五 超声诊断设备的维修·····	420
一 超声诊断图的主要特性·····	393	六 国内外一些超声诊断设备的性 能·····	423
二 几种简单的信号处理技术·····	395		

第一篇 超声诊断的物理基础

超声诊断的依据,就是超声在人体内传播特性的改变情况,如像一束超声碰到两种不同脏器或脏器与病变的交界面上被反射回来,利用这一反射信号就可对此脏器或病变进行定位;又如,当一束超声穿过肿物时,不同的肿物出现信号的情况也不同,因而根据信号的变异情况就可判断肿物的性质等等。鉴于超声诊断的依据是超声的物理特性,所以超声诊断的准确程度,就与诊断人员对这一基本特性的了解深度密切相关。这就是我们编写这一篇的目的,并且将此内容放在最前。

考虑到医务工作人员的情况,在编写中尽量讲明物理概念,而避免过多的用数学公式。

另外,为了满足超声诊断深入开展研究工作的需要,还特意编写了“超声基本量的测量”一章。虽然内容中有些部分不够严谨,但仍可供工作时参考。

考虑到人们对超声诊断中剂量的特别关心,在本篇中还编写了“超声生物效应”一章。由于我们自己没有在这方面进行工作,所以只是引用前人的一些结果,以供参考。

第一章 超声波的一些基本特性

随着超声技术渗透进现代科学技术的各项领域(医学也不例外),“超声”这个字眼人们已经逐渐熟悉起来了。其实,在人类还不了解超声波前,生物界里就早已在利用超声。蝙蝠虽然无敏锐的眼力,但在伸手不见五指的黑夜能自如地飞翔,准确地捕获食物,靠的是巧妙的超声定位本领。从蝙蝠的口里每秒钟发出几十次五十千赫调频超声波,碰到目标后反射回来又被蝙蝠的耳朵接收。蝙蝠就凭靠它的口发耳收超声波来准确定位,控制自己的飞翔途径,捕获食物!

第一次世界大战末期,法国的科学家郎之万发明了水下超声定位的仪器,打破了德国当时的潜艇战术。

超声除了可用来定位测量外,还可以用超声能量来处理各式各样的东西,研究超声和其它能量间的关系,如超声治疗各种疾病、消毒、杀菌,清洗容器和器件、焊接元件等等。

超声波之所以能广泛应用于各个领域,主要是因为超声波具有和光一样的束射性以及类似于光的传播特性,如用一束手电光照射一样,在黑夜里只要用很小的能量,就能找到所要寻找的东西。用一束超声波可以帮助人们去了解一些不透光物质内部的情况,如用超声去诊断人体内部各种疾病。超声波能广泛应用的另一个原因是由于超声波的频率较高,因而是一种较容易集中的机械能量,在局部地方(小至毫米级)施以较大的能量来达到种种目的。

为了对超声波有一初步了解,下面几节将首先介绍超声波的一些最基本特性。

一 振动与波

物体的振动是自然界里常见的现象。风吹草叶的摆动，投石后的平湖水波，地震时的房屋摇摆，钟表滴达周而复始的摆动，人类的说话歌唱等等，这些都是物体振动的表现。物体的振动形式是各种各样的，其中钟表摆锤绕平衡位置的来回振动最为直观和简单，如图 1-1 所示。如果在摆的尖端放一个对摆振动影响可忽略的记录笔，而沿着与振动方向垂直的方向，以速度 V 匀速地移动记录纸，就可在记录纸上记下如图 1-1 所示的振动波形图。这是一种最简单的正弦型振动。这种振动在物理上称为简谐振动。虽然这种振动很简单，但以后我们将知道，任何一实际的复杂振动都可以由许多这种简单的振动按一定规律组合出来。

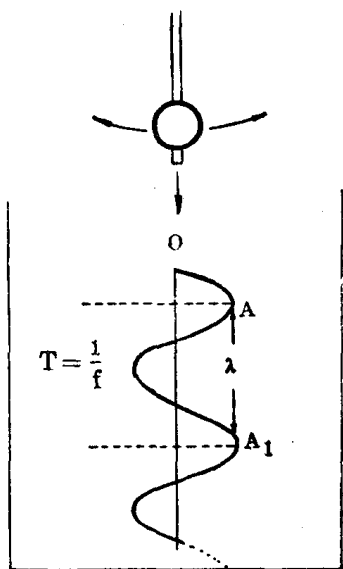


图 1-1 钟摆的振动

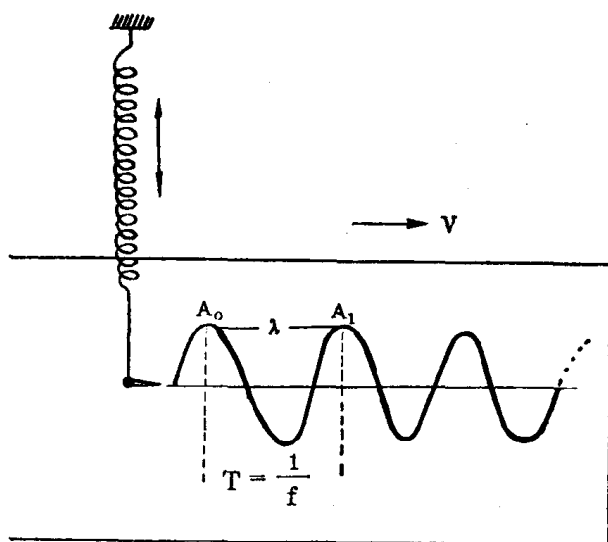


图 1-2 弹簧的振动

如果当 $t=0$ 时，摆处于平衡位置 O ，声学上称起始相位为 0 ，则图 1-1 的振动波形可用下式表示：

$$A(t) = A_0 \sin \omega t \quad (1-1)$$

$$\omega = 2\pi f$$

式中 A_0 ：摆动的最大幅度；

ω ：摆动的角频率；

f ：摆每秒钟摆动的次数即摆动的频率。

像钟摆这种简谐振动的例子很多，将一弹簧拉长后放开，如图 1-2 所示，弹簧的长度将绕着静止的长度位置来回振动。在理想的无阻尼情况下，如果将弹簧的不固定端放上一个记录笔，将一记录纸沿着与振动方向垂直的方向以速度 V 匀速拉动，同样也可记录下和图 1-1 所示的曲线。

钟摆、弹簧的这类简谐振动以速度 C 在弹性介质里传播，就形成了声波或超声波。记录纸以速度 V 走动记录振动的过程，有如波动一个接一个以速度 C 传播出去。波动的形象例子是在平静的水面上投一石头后，逐渐传播着增大的圆圈，如图 1-3 所示。

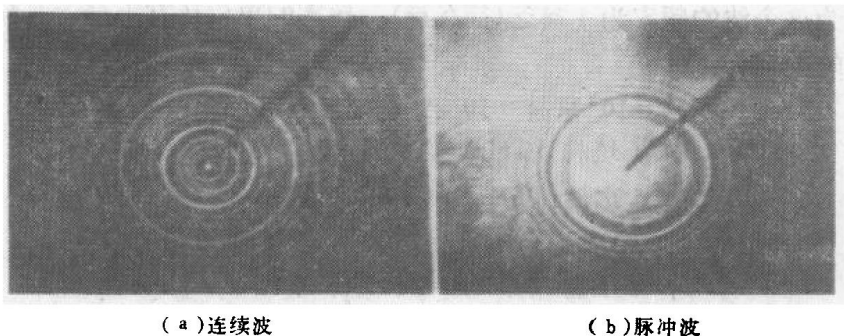


图 1-3 水面波动

波动的方式随着振源以及传播介质的条件不同也有各种各样的形式，其最简单的形式是在无限大的弹性介质中传播着的平面波。

二 波长、周期、频率

正如上节所叙，机械振动的能量在弹性介质中的传播称为声波或超声波。在相继的波上任意两个同相位点之间的距离，如两个相继的波峰，如图 1-1 中的 $A_0 \sim A_1$ 的距离称为声波的波长，常用符号 λ 表示。当波向前移动等于一个波长时所需要的时间称为声波的周期，常用符号 T 表示。传播着声波的弹性介质中，任一给定点在单位时间里所通过的波数称为声波的频率，常用符号 f 表示。从上面的规定容易看出波长、周期、频率间的关系为

$$\begin{cases} \lambda = \frac{C}{f} \\ T = \frac{1}{f} = \frac{\lambda}{C} \end{cases} \quad (1-2)$$

式中 C 为声波的传播速度。波长的量度单位在超声诊断中常用毫米 (mm)。波的周期常用量度单位为微秒 (μs)。一秒钟等于一百万微秒即：1 秒 (S) = 10^3 毫秒 (ms) = 10^6 微秒 (μs) = 10^9 毫微秒 (ns)。

因此，频率为 1 千赫的声波周期为 1 毫秒，而频率为 1 兆赫的超声波周期为 1 微秒。表 1-1 列出超声诊断中常用超声的频率和周期间关系。

表 1-1 频率、波长、周期间关系
($C = 1500$ 米/秒)

项目 \ 频率 (兆赫)	0.5	1	2.5	5	7.5	10	15
波长 (毫米)	3	1.5	0.6	0.3	0.2	0.15	0.1
周期 (微秒)	2	1	0.4	0.2	0.13	0.1	0.067
最高分辨率 (毫米)	1.5	0.75	0.3	0.15	0.1	0.075	0.05

超声波的频率量度单位为赫芝 (Hz)，一秒钟内在弹性介质中任一给定点传播过一

个波动，称为这个波的频率为1赫芝(简称赫)。频率的单位还有千赫、兆赫、京赫和垓赫，他们间的关系为：

$$1 \text{ 垓赫} = 10^3 \text{ 京赫} = 10^6 \text{ 兆赫} = 10^9 \text{ 千赫} = 10^{12} \text{ 赫}。$$

或

$$1 \text{ 垓赫 (THz)} = 1000 \text{ 京赫 (GHz)}$$

$$1 \text{ 京赫 (GHz)} = 1000 \text{ 兆赫 (MHz)}$$

$$1 \text{ 兆赫 (MHz)} = 1000 \text{ 千赫 (KHz)}$$

$$1 \text{ 千赫 (KHz)} = 1000 \text{ 赫 (Hz)}$$

超声诊断所常用的频率在几百千赫至几十兆赫之间，其周期为几十毫微秒至几微秒之间。根据不同的检查对象适当选择超声频率。理论上用超声来观察人体内病变的最高分辨率应接近于波的半波长。不同频率下的最高分辨率如表 1-1 所列。所以，为了尽可能详细观察到组织细微结构，希望所选择的频率较高。但是由于随着频率增高后，超声能量的衰减也随之增加，因而其检查的深度也将减小，所以应将分辨率和超声的穿透深度结合起来考虑，合理地选择超声的频率以达到较好的诊断效果。表 1-2 列出在不同的检查对象时，选择频率的参考值。

表 1-2 不同检查对象的选用超声频率参考值

检 查 对 象	选用超声频率范围 (兆赫)
成人内部脏器	2~5
儿童内部脏器	5~10
眼科	2~15
成人脑部	1~2.5
儿童脑部	2~5
妇产科	2~5
妊娠检查	2~5
血流测量	2~25

三 超声传播速度

超声波在弹性介质中单位时间里传播的距离称为超声在这种介质中传播的速度。常用的量度单位为米/秒 (m/S) 或千米/秒 (Km/S)。一些非生物材料和生物组织的声速如表 1-3 和 1-4 所列。

声波在介质中传播的速度受介质的密度和弹性限制，还与振动的类型有关。对于比波长大的空气和液体中的纵波，速度可由下式决定：

$$C = \sqrt{\frac{K_a}{\rho}} \quad (1-3)$$

式中 K_a 为体积膨胀系数

ρ 为介质的平均密度

体积膨胀系数(也叫等温膨胀系数)并不和绝热体积膨胀系数 K_i 一样，但对多数流体，二量之间总可写成：

$$K_a = \gamma K_i$$

式中 γ 为体积和压力不变时的比热

对于固体，由于纵向和横向体积膨胀间的互相耦合，因此，声速与介质之间的关系也较复杂，由下式决定：

表 1-3 非生物材料密度、声速、声特性阻抗

介 质 名 称	密 度 (克/厘米 ³)	超声纵波速度 (米/秒)	特性阻抗 (10 ⁵ 瑞利)	测试频率 (兆赫)
空气 3°C	0.001293	332	0.000429	2.9
水 0°C	0.9973	1480	1.476	2.9
水 25°C	0.99707	1493.2	1.488	2.9
水 37°C	0.9934	1523	1.513	2.9
生理盐水37°C	1.002	1534	1.537	—
生理盐水25°C	1.005	1504	1.512	—
蓖麻油 0°C	0.972	1681	1.634	2.1
蓖麻油 20°C	0.960	1502	1.442	2.1
蓖麻油 20°C	0.960	1530	1.469	2.86
蓖麻油 20°C	0.960	1534	1.473	4.29
石蜡油33.5°C	0.835	1420	1.186	
X 切割石英	2.65	5740	15.21	
Y 切割石英	2.65	3850	10.20	
PZT-4	7.5	4000	30.00	
PZT-5	7.75	4350	33.70	
钛酸钡	6.01	5440	32.69	
铁	7.7	5850	45	
铝	2.7	6260	16.9	
铜	8.1	4700	41.8	
鎢	19.1	5460	104.2	
有机玻璃	1.18	2720	3.210	1.0
聚苯乙烯	1.05	2340	2.46	1.0
聚乙烯	0.92	1900	1.74	1.0
橡胶	0.95	1550	1.47	1.0
胶木 (硬橡胶)	1.2	2300	2.76	1.0
软木塞	0.2	—	—	

$$C_D = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1-4)$$

式中 μ 为剪切模量。

体积膨胀系数 K 和剪切模量 μ 与杨氏模量 E 以及泊松比 σ 之间的关系如下：

$$K = \sqrt{\frac{E}{3(1-2\sigma)}}$$

$$\mu = \sqrt{\frac{E}{2(1+\sigma)}}$$

所以，在固体中的纵波速度还可写成

$$C_D = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1-2\sigma)(1+\sigma)}} \quad (1-5)$$

表 1-4 人体正常组织的密度、声速、特性阻抗

介质名称	密 度 (克/厘米 ³)	超声纵波速度 (米/秒)	特 性 阻 抗 ($\times 10^5$ 瑞利)	测试频率 (兆赫)
血液	1.055	1570	1.656	1
血浆	1.027	—	—	1
大脑	1.038	1540	1.599	1
小脑	1.030	1470	1.514	
脂肪	0.955	1476	1.410	1
软组织 (平均值)	1.016	1500	1.524	1
肌肉 (平均值)	1.074	1568	1.684	1
肝	1.050	1570	1.648	1
肾	—	1560	—	1
脑脊水	1.000	1522	1.522	
颅骨	1.658	3860	5.571	1
甲状腺	—	—	1.620~1.660	
胎体	1.023	1505	1.540	
羊水	1.013	1474	1.493	
胎盘	—	1541	—	
角膜	—	1550	—	
水晶体	1.136	1650	1.874	
前房水	0.994~1.012	1495	1.486~1.513	
玻璃体	0.992~1.010	1495	1.483~1.510	
巩膜	—	1630	—	
空气22°C	0.00118	344.8	0.000407	

只有在细长的固体棒中纵波声速才为

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1-6)$$

在固体中横波声速为

$$C_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\sigma)}} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (1-7)$$

由于人体的绝大部分组织属于软组织，其声学性能与水相近。所以，超声诊断中最多用的是纵波，横波是很少用的。即使存在横波，其幅度一般较纵波也小不少。一般在水中横波幅度要比纵波至少小 30 多倍 (-32db)，但应注意的是在进一步提高诊断精度时，横波就不宜完全被忽略，尤其当检查一些实质性肿物和通过骨骼检查时应加注意。纵波、横波速度与泊松比之间的关系如图 1-4 所示。

弹性常数是与温度有关的，因此超声速度也随温度而改变。图 1-5 展示出蒸馏水在标准大气压下超声速度随温度的变化关系。

超声速度除与温度有关外，在有些介质中，对某些振动方式，还与频率有关。这种声速随频率变化的现象，叫频散或色散现象。在人体中，通常没有观察到频散现象。所

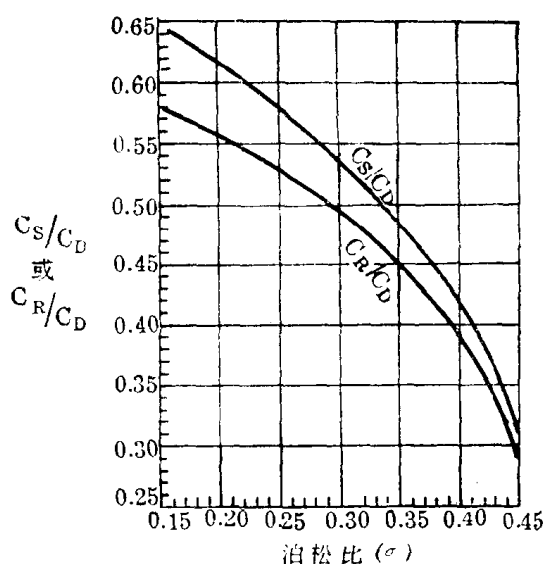


图 1-4 固体中声速与泊松比的关系
(C_R 为表面声波的速度)

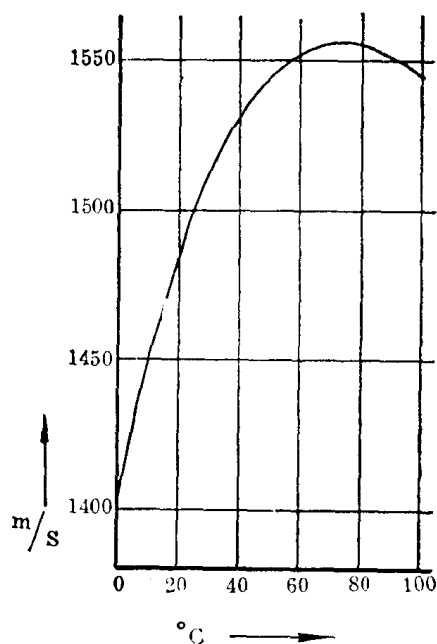


图 1-5 蒸馏水的声速与温度的关系

以，大多数实际的人体组织超声速度是与频率无关的，而且软组织的速度都相近，约为 1500 米/秒。在骨骼中的超声速度比软组织快出 3 倍以上。

生物组织的弹性常数难于测量。所以，超声速度最可靠的数值是对他们作直接的测量值。表 1-5 给出各种男性组织的一些声速，这些声速是在 20~37°C 温度下，对新鲜组织在频率为 0.8~12 兆赫的条件下测得的。对肌肉的测量发现，沿着肌肉纤维比横过肌肉纤维要低一些，但它们的差仅有百分之四。

表 1-5 男性组织的超声纵波速度

介质名称	平均速度 米/秒	测试频率 (兆赫)	介质名称	平均速度 米/秒	测试频率 (兆赫)
脂肪	1450	0.8~12	肾	1561	0.8~12
眼前房水	1500	0.8~12	脾	1566	0.8~12
眼玻璃体	1520	0.8~12	血液	1570	0.8~12
人体软组织(平均值)	1540	0.8~12	肌肉	1585	0.8~12
脑	1541	0.8~12	水晶体	1620	0.8~12
肝	1549	0.8~12	颅骨	4080	0.8~12

四 波 型

声波由于振动的方式和传播方式不同可以分为很多种。其中主要的有以下几种：纵波、横波、板波、表面波等。按其振动的方式可分为连续振动型和脉冲振动型。以上几种类型波的典型图形如图 1-6 所示。

在超声诊断中最常用的是纵波。从图中可看出，纵波即是物体里质点振动方向和波传播方向一致的波，所以有时也称为压缩波、膨胀波或疏密波。而横波即是介质质点振动方向和波传播方向垂直的一种波。由于理想气体和液体剪切模量为零，所以横波在理

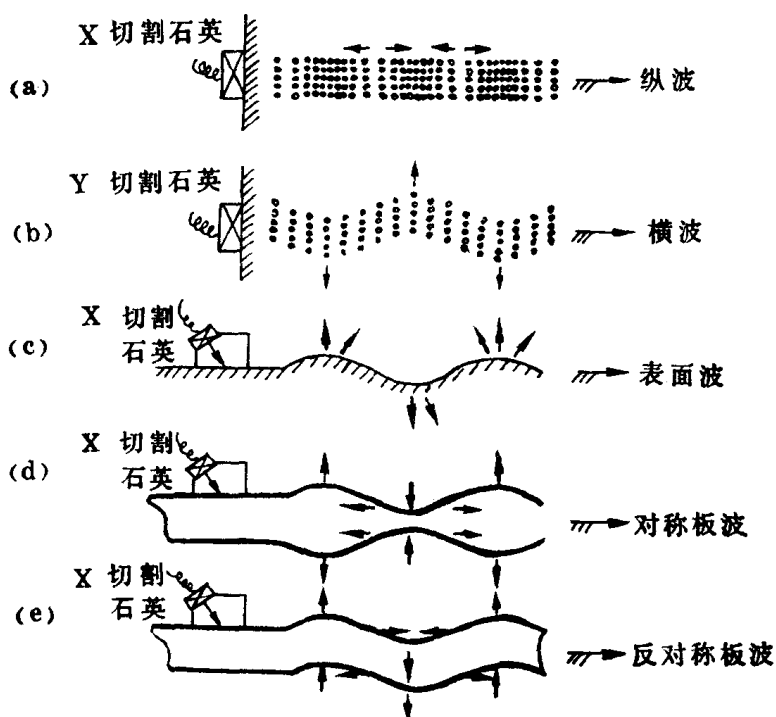


图 1-6 超声波的种类

想的气体 and 液体里是不能传播的。

如果在介质中传播着的超声波是接连不断的相同振动波，则称这种波为连续波。如果传播的超声波是间断型的，则称为脉冲波。

知道波的频率、振幅或能量以及传播方式，就可知道连续波的基本概貌。对于脉冲波，除了上述几个参数外，还必须知道其脉冲的宽度(持续期)，占空比(即停止时间和脉冲宽度的比值)、脉冲的重复频率以及峰值能量或峰值幅值和平均能量或平均幅值等。除此以外，还应知道其脉冲的频谱宽度。关于这一点，以后将详细介绍。

另外，超声波在介质中传播时，由于传播条件的改变，还会产生波型的转换。如入射的一束纵波在一定条件下可以转变成横波或其它振动模式的波。

五 声压和声压级

超声纵波在介质传播的过程中，介质的质点密度时疏时密，以致平衡区的压力时弱时强，因而声压和静止的压力不同，是以波动频率而改变着的压力波(在固体中称为应力波)。波动形式不同，也就有不同的压力波形式。在超声诊断中，最常用的是平面波和球面波。对于平面波，声压 p 可用下式表示：

$$p = \rho C v = \rho C V_0 \sin \omega t \quad (1-8)$$

式中 v 为质点的振动速度， V_0 为其幅值。

声压的单位为微巴，其定义如下：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 公斤/厘米}^2 &= 1.013 \times 10^6 \text{ 达因/厘米}^2 \\ &= 1.013 \times 10^6 \text{ 微巴 } (\mu\text{bar}) \end{aligned}$$

$$1 \text{ 微巴 } (\mu\text{bar}) = 1 \text{ 达因/厘米}^2$$

$$1 \text{ 牛顿/米}^2 = 10 \text{ 达因/厘米}^2 = 10 \text{ 微巴 } (\mu\text{bar})$$

为了比较两个声压的大小，通常用声压级来描述。所谓声压级即是以分贝 (db) 表示的某个声压 p_1 与参考声压 p_0 的比值。写成公式如下：

$$\text{声压级 } L_p (\text{分贝}) = 20 \log \frac{p_1}{p_0} (\text{db}) \quad (1-9)$$

如果说某个声压的声压级为 20 分贝 (db)，即表示这个声压比参考声压高 10 倍，依此类推，40 分贝高 100 倍、60 分贝高 1000 倍等等。当为 -20 分贝时即表示只有参考声压的 1/10，-40 分贝为只有 1/100，-60 分贝为只有 1/1000 等等。声压级的分贝数与声压的倍数之间的关系如表 1-6 所列。

声压级的另一个较早的单位叫奈贝。

1 奈贝 = 8.06 分贝，目前这个单位已很少应用。

声压和声压级在超声诊断中是一个不可忽视的量，因为介面的反射，以及换能器的声电、电声转换都与声压有密切的关系。

六 声强度和强度级

在超声诊断中，超声的强度是一个重要的量，因为当强度超过一定的限度后将会对组织产生破坏作用，这是不允许的。

超声波在单位时间里，通过垂直于传播方向上单位面积的声能量叫做超声强度。

对于平面连续正弦波其强度 I 为：

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} \frac{p_m^2}{\rho C} \text{ 或} \\ &= \frac{1}{2} \rho C v_m^2 = \frac{1}{2} \rho C \omega^2 \xi_m^2 \end{aligned} \quad (1-10)$$

式中 p_m 、 v_m 、 ξ_m 分别为声压、质点位移速度、质点位移的最大值。如果取有效值，即：

$$p = \frac{1}{\sqrt{2}} p_m; \quad v = \frac{1}{\sqrt{2}} v_m; \quad \xi = \frac{1}{\sqrt{2}} \xi_m$$

代入 (1-10) 式可得：

$$I = \frac{p^2}{\rho C} = \rho C v^2 = \rho C \omega^2 \xi^2 \quad (1-11)$$

在机械和电的类比中，将声压 p 类比为电工学中的电压 U ，质点振动速度 v 类比为电流 I ，而介质的密度和声速的乘积 ρC 类比为电阻，电功率的公式为：

$$W = \frac{U^2}{R} = RI^2$$

所以比较一下声强和电功率的公式，不难看出这种类比的合理性。

超声强度的单位是瓦/厘米²或毫瓦/厘米²或微瓦/厘米²