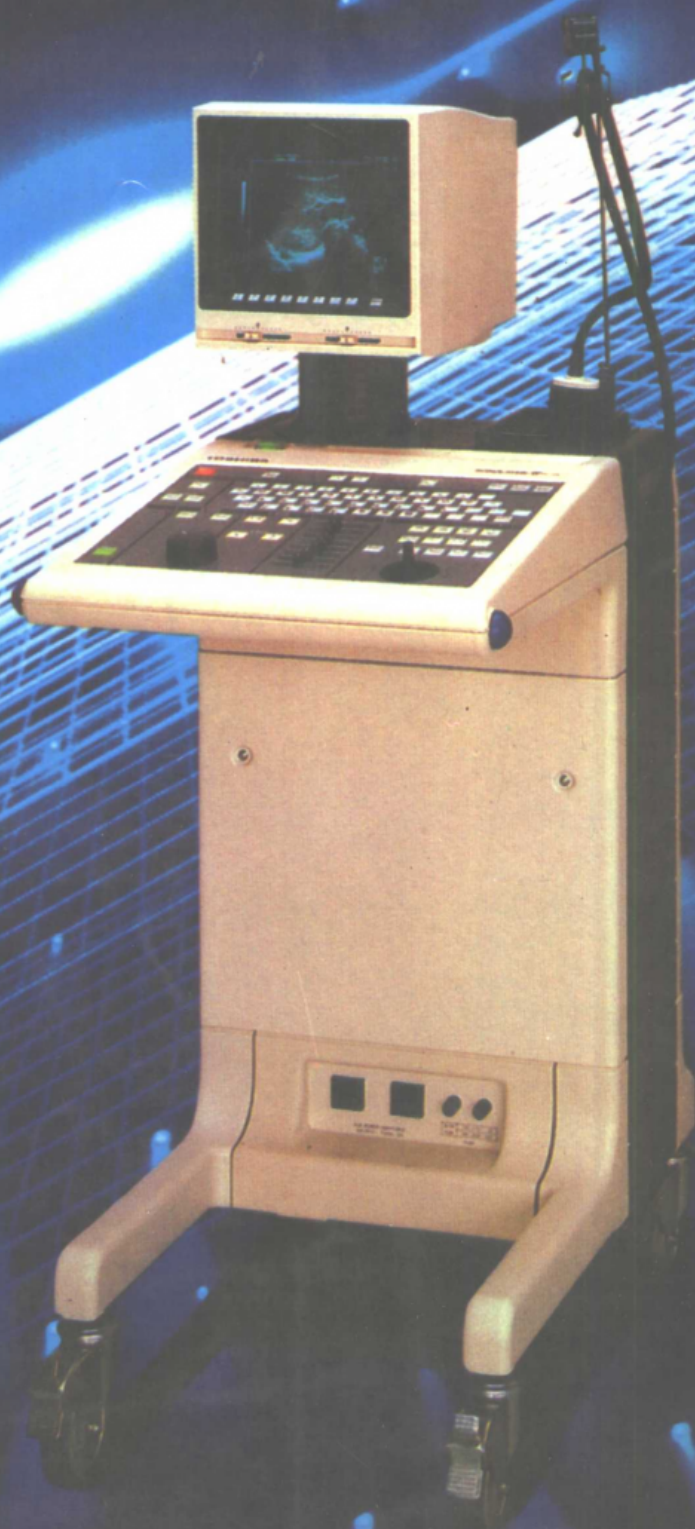


B 型超声诊断仪 原理、调试与维修

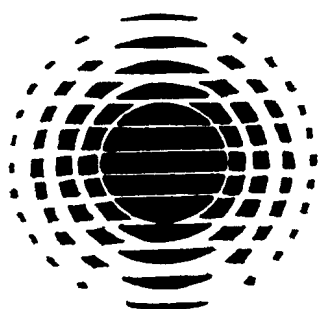
● 陈智文 张旦松/主编



● 湖北科学技术出版社

● 陈智文 张旦松/主编

B 型超声诊断仪 原理、调试与维修



● 湖北科学技术出版社

鄂新登字 03 号

B 型超声诊断仪原理、调试与维修

陈智文 张旦松 主编

*

湖北科学技术出版社出版发行 新华书店湖北发行所经销

湖北省新华印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 23.5印张 5 插页 595千字

1992年12月第1版 1992年12月第1次印刷

ISBN 7-5352-0887-8/R·186

印数：1—6 000

定价：15.00元

主 编 陈智文 张旦松
主 审 张忠茂
编著人员 汪一帆 周小平 陆庆生 龙又金 李永红
史兰丽 王汉生 黄仲超 郭 赤 郭宝凯
洗尹谐 郭建德 杨志敏 李宜勇

内 容 简 介

本书较为系统地叙述了医用二维实时B型超声诊断仪的工作原理、电路组成和一般调试与维修方法。全书共15章,分上、下两篇:上篇7章,介绍了B超的基本原理、性能指标,超声换能器、发射与接收波束控制、数字扫描变换器和超声数字图象处理技术;下篇8章,以分析整机电路工作原理为主,并介绍了B超的一般调试与维修方法。附录收集了B超专用术语说明、国外超声诊断仪的主要性能和通用B型超声诊断设备国家检验标准。

本书以应用为主要目的,原理分析以阐明物理概念为主,图文并茂,注意理论与实践的结合,不仅可以帮助读者了解B超的一般工作原理,建立对B超仪的整机概念,更有利于提高读者对电路的独立分析能力,掌握对B超的调试与维修方法。

本书可供从事超声诊断技术工作的广大医务人员参考,更适合于从事维修和生产单位的工程技术人员以及大专院校有关专业师生参考。

前 言

超声诊断是一种无损伤、无电离辐射、使用方便、适应范围广的影象诊断方法,尤其是当采用高速电子扫描的实时超声断层显象仪及含有数字图象处理技术的各种新型超声诊断仪应用于临床以来,超声诊断技术又有了长足的进展,是目前唯一能实时观察心脏内部结构(腔室和瓣膜)及其活动情况的一种影象诊断手段。超声成象技术在现代化医院中具有很重要的地位,国际公认,B型超声成象、X—CT、放射性同位素扫描以及核磁共振成象(NMR)是现代医学四大影象技术,而B型超声成象和二维彩色多普勒成象,则以其诸多优点而名列其首,已成为医院现代化水平的标志之一。

我国于1958年开始将超声技术应用于临床诊断,70年代普遍开始应用B型超声诊断技术,至今,超声诊断已发展成一门专门的学科,目前全国县以上医院已普遍设立了超声诊断室,普及了A型、M型和B型超声诊断仪,而其中尤以B型超声诊断仪倍受注目,发展最快。有关统计资料表明,随着改革开放的深入,在全国现有数万台超声诊断设备的基础上,我国自行设计生产和从国外引进的B型超声诊断仪,正以每年千台以上的速度增长,超声诊断在我国已进入了一个崭新的发展阶段。

本书是为适应这一形势的需要而编写的。书中较系统地叙述了二维实时B型超声诊断仪的工作原理,并对B型超声诊断仪的调试和维修方法进行了介绍,希望能对从事超声诊断仪特别是B型超声诊断仪的使用、生产和维修工作者有所帮助。

本书在编写过程中,得到了武汉大学部分教师、广州军区后勤部医疗器械检修所和广州军区武汉总医院器械科的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

编 者

1991年4月

目 录

上 篇

第一章 超声诊断的声学基础	1
§ 1.1 超声波的定义及特性	1
§ 1.2 超声波的产生和表示方法	2
§ 1.3 超声的物理量	4
§ 1.4 超声的传播与衰减	6
§ 1.5 超声场.....	11
§ 1.6 超声多普勒(Doppler)效应	16
§ 1.7 生物组织对超声的衰减和超声生物效应.....	18
第二章 B 超的基本原理与性能指标	20
§ 2.1 超声诊断仪的一般介绍.....	20
§ 2.2 B 型超声诊断仪	23
2.2.1 手动式 B 型超声诊断仪	23
2.2.2 高速机械扇形扫描 B 型超声诊断仪	24
2.2.3 高速电子线扫 B 型超声诊断仪	26
2.2.4 高速电子扇扫(相控阵)B 型超声诊断仪	27
§ 2.3 B 超的性能指标	29
2.3.1 技术参数	29
2.3.2 使用参数	33
第三章 医用超声探头	36
§ 3.1 压电振子的基本特性.....	36
§ 3.2 医用超声探头的主要特性.....	38
§ 3.3 超声探头的分类.....	39
§ 3.4 柱形单振元探头.....	40
§ 3.5 机械扇扫超声探头.....	41
§ 3.6 电子线阵超声探头.....	44
3.6.1 多矩形振元合成声场特性	44
3.6.2 声学聚焦与电子聚焦	46
3.6.3 线阵探头和凸形探头	48
§ 3.7 相控阵超声探头.....	50
第四章 波束控制与脉冲产生电路	52
§ 4.1 组合发射的意义与波束扫描方式.....	52
4.1.1 多振元组合发射的意义	52
4.1.2 发射波束扫描方式	53
§ 4.2 波束控制电路基本构成与简要工作原理.....	55
§ 4.3 发射聚焦电路.....	57

4.3.1 基本要求	57
4.3.2 延迟线	57
4.3.3 动态电子聚焦	58
4.3.4 典型电路分析	60
§ 4.4 发射多路转换开关	63
4.4.1 作用与原理	63
4.4.2 典型电路分析	64
§ 4.5 发射脉冲产生电路	67
4.5.1 概述	67
4.5.2 典型电路分析	67
§ 4.6 二极管开关电路和二极管开关控制电路	69
4.6.1 电路构成与原理	69
4.6.2 阵元激励顺序举例	73
第五章 超声回波的接收和预处理电路	76
§ 5.1 接收系统的组成	76
§ 5.2 超声回波信号的合成电路	79
5.2.1 信号合成的基本方法	79
5.2.2 接收多路转换开关	79
5.2.3 可变孔径电路	81
5.2.4 相位调整电路	83
§ 5.3 信号放大和预处理电路	85
5.3.1 前置放大器	86
5.3.2 时间增益补偿(TGC)电路	88
5.3.3 动态滤波电路	91
5.3.4 对数放大	95
5.3.5 勾边	101
第六章 数字扫描变换器	106
§ 6.1 DSC 的一般原理	106
§ 6.2 超声图象的数字化	111
6.2.1 基本概念和原理	111
6.2.2 A/D 变换器	115
6.2.3 超声图象实用数字化电路	124
§ 6.3 图象存贮器	127
6.3.1 概述	127
6.3.2 存贮器的结构	128
6.3.3 图象存贮器的读出方式	135
§ 6.4 TV 合成与 D/A 变换	136
6.4.1 超声全电视信号	136
6.4.2 字符、标志形成电路	138
6.4.3 灰阶标志形成电路	141

6.4.4 图象数字信号的并/串和正/负变换	144
6.4.5 全电视信号合成和 D/A 变换	148
第七章 超声数字图象处理	151
§ 7.1 基本概念	151
§ 7.2 灰度处理法	151
7.2.1 灰度级修正	152
7.2.2 灰度比例尺变换	153
§ 7.3 直方图处理	155
7.3.1 直方图概念	156
7.3.2 直方图均衡	157
7.3.3 直方图修正	161
7.3.4 直方图处理在 B 超中的应用	162
§ 7.4 相关处理	163
7.4.1 图象平滑和噪声消除	163
7.4.2 行相关处理	164
7.4.3 帧相关处理	166
§ 7.5 图象锐化	168
7.5.1 空间域图象锐化	168
7.5.2 频率域图象锐化	171
§ 7.6 数据插补处理	173
7.6.1 超声图象插补的意义	173
7.6.2 线性插补方法	174
7.6.3 线性插补电路	176
§ 7.7 伪彩色处理	179
7.7.1 灰度切割法彩色变换	179
7.7.2 灰度级—彩色变换	180

下 篇

第八章 EUB-240 超声诊断仪—般介绍	182
§ 8.1 概述	182
§ 8.2 系统结构与框图	182
§ 8.3 主机单元	183
§ 8.4 特性与技术指标	187
8.4.1 特性	187
8.4.2 主要技术指标	187
第九章 超声发射控制电路	190
§ 9.1 电路作用与组成	190
§ 9.2 发射聚焦电路	191
§ 9.3 发射多路转换开关和发射脉冲产生电路	193

§ 9.4 探头二极管开关控制电路	195
第十章 信号接收与预处理电路	197
§ 10.1 电路作用与组成	197
§ 10.2 前置放大器	198
§ 10.3 多路转换开关与变孔径电路	198
§ 10.4 相位调整电路	201
§ 10.5 增益控制和动态滤波电路	201
10.5.1 增益控制电路	201
10.5.2 动态滤波电路	203
§ 10.6 对数放大、检波与边缘增强电路	204
第十一章 信号数字化处理与贮存电路	208
§ 11.1 概述	208
§ 11.2 A/D 变换与缓冲存贮器	211
11.2.1 A/D 变换电路	211
11.2.2 缓冲存贮器	211
§ 11.3 串/并变换与帧相关电路	216
§ 11.4 帧存贮器及其读写控制	217
11.4.1 帧存贮器	217
11.4.2 帧存贮器读写控制	217
§ 11.5 并/串变换与数据插补电路	223
§ 11.6 灰阶标志和字符形成电路	225
11.6.1 灰阶标志形成电路	225
11.6.2 字符形成电路	226
11.6.3 字符标志下沿强信号减辉电路	230
§ 11.7 全电视信号合成与正负象变换	233
第十二章 系统控制电路	237
§ 12.1 概述	237
§ 12.2 控制电路的主要器件	238
12.2.1 540. AG. 11D 单片 8 位微处理器	238
12.2.2 总线(锁存)驱动器	243
12.2.3 振荡器和集成单稳态触发器	245
12.2.4 二进制计数器	246
§ 12.3 电视同步信号发生器	249
§ 12.4 系统控制脉冲产生电路	254
12.4.1 “Y TRIG”脉冲形成电路	254
12.4.2 “DP”脉冲产生电路	255
12.4.3 “ADCK”脉冲形成电路	257
12.4.4 发射/接收控制 ROM 电路	259
§ 12.5 CPU 外围电路与接口	262
12.5.1 CPU 外围电路	262

12.5.2 控制接口电路	266
§ 12.6 键盘电路	268
§ 12.7 快门控制电路	272
第十三章 系统电源电路	275
§ 13.1 额定参数	275
§ 13.2 特性和技术说明	275
§ 13.3 电路组成与工作原理	277
13.3.1 电路框图	277
13.3.2 电路工作原理	277
第十四章 整机调试	283
§ 14.1 概述	283
§ 14.2 电源的调试	283
§ 14.3 主机电路的调试	284
14.3.1 TC 板的调试	284
14.3.2 RV 板的调试	287
14.3.3 CPU 板的调试	294
14.3.4 MEM 板的调试	303
第十五章 维修	307
§ 15.1 开展维修工作应具备的基本条件	307
§ 15.2 MIL 符号及其用法	308
§ 15.3 B 超的维护	312
§ 15.4 故障检修	313
15.4.1 检修故障的基本步骤	313
15.4.2 检修故障的基本方法	315
§ 15.5 典型故障与可能原因	317
15.5.1 电源电路的故障检修	317
15.5.2 超声与系统控制电路故障检修	319
附录 1 超声专用术语说明	325
附录 2 非生物材料和人体组织的密度、声速和特性阻抗	328
附录 3 国外超声诊断仪的主要性能	330
附录 4 通用 B 型超声诊断设备国家检验标准	337
附录 5 EUB—240 型 B 超电路元件表	352
附录 6 EUB—240 型 B 超整机电路图	362

上 篇

第一章 超声诊断的声学基础

§ 1.1 超声波的定义及特性

人的耳朵能够听到的声音其频率在 20Hz 到 20kHz 之间，低于 20Hz 的和高于 20kHz 的声音，我们都听不见。频率低于 20kHz 的声波，叫做低声波；频率高于 20kHz 的声波，叫做超声波。

正如物体振动时发出声音一样，超声波在自然界中也是存在的，例如，在风声和海浪声中除了有我们能够听到的声波外，也含有超过我们听觉范围的声波；有些动物的器官，如蝙蝠、蟋蟀、纺织娘等都能发出超声波。超声波也可以用人工方法来获得。我们已经能制造许多形式不同的超声波发射器，并且可以根据需要发出从 2 万到 10 亿赫兹的各种频率的超声波。同时，我们也已能制造各种形式不同的超声波接收器，利用它们可以接收各种超声波信号。医用超声波诊断仪便是这种发射和接收的一个典型的例子。

超声波和声波一样，也是一种机械波，它是由介质中的质点受到机械力的作用而发生周期性振动产生的。依据质点振动方向与波的传播方向的关系，超声波亦有纵波和横波之分。纵波是质点的振动方向与波的传播方向相同的波。例如音叉在空气介质中振动所产生的声波，空气介质中的质点沿水平方向振动，振动的方向与声波的传播方向一致，传播时介质的质点发生疏密的变化，如图 1—1 (a) 所示。纵波可以在固体、液体、气体介质中传播。

横波是质点振动方向与波的传播方向垂直的波。一个典型的例子便是如图 1—1 (b) 所示的橡皮绳上的波，我们不妨把橡皮绳看成密集质点的集合，如果不断地摆动橡皮绳的一头，则一系列的横向振动的波就由绳子的左端向右端移去，而绳上各质点并不随波的传播方向移去，只是在各自的平衡位置附近作横向（剪切形式）的振动。横波不能在液体及气体介质中传播，这是因为液体和气体无切变弹性。

由超声诊断仪所发射的超声波，在人体组织中是以纵波的方式传播的。就是因为人体软组织基本无切变弹性，横波在人体组织中不能传播。

与普通声波（可闻波）相比，超声波具有许多特性，其中最突出的有：①由于超声波的频率高，因而波长很短，它可以像光线那样沿直线传播，使我们有可能只向某一确定的方向

发射超声波；②由超声波所引起的媒质微粒的振动，即使振幅很小，加速度也非常大，因此可以产生很大的力量。超声波的这些特性，使它在近代科学研究、工业生产和医学领域等方面得到日益广泛的应用。例如，我们可以利用超声波来测量海底的深度和探索鱼群、暗礁、潜水艇等。在工业上，则可以用超声波来检验金属内部的气泡、伤痕、裂缝等缺陷。在医学领域则可以用超声波来灭菌、清洗，更重要的用途是做成各种超声波治疗仪器和诊断仪器。

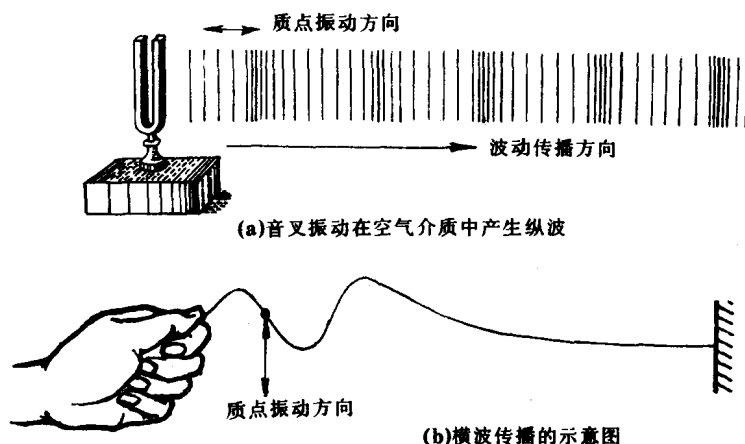


图 1-1 声波传播的两种主要形式

§ 1.2 超声波的产生和表示方法

在医学应用中，超声波的产生是利用晶体的逆压电效应的原理，超声波的接收是利用晶体的正压电效应的原理实现的。因此，压电效应是超声诊断应用的基础，本节将重点对此进行介绍。

1. 压电效应

压电效应泛指晶体处于弹性介质中所具有的一种声—电可逆特性，有正压电效应和负压电效应之分。所谓正压电效应即在某些晶体的一定方向上施加压力或拉力时，在晶体的某些面上出现异名电荷，此现象为法国物理学者居里兄弟于 1880 年所发现，因此也称为居里效应。具有压电效应性质的晶体，称为压电晶体。目前常用于换能器的晶体片有锆酸铅、钛酸钡、石英、硫酸锂等人工或天然晶体。钛酸钡及锆酸铅是在高温下烧结的多晶陶瓷体，把毛坯烧结成陶瓷体后，经过适当的研磨修整，得到所需的几何尺寸，再用高压直流电场极化后，就具有压电性质。

以石英为例说明压电效应的原理。石英是六面棱形的天然晶体，在它的不同轴向上有不同的物理性质， x 、 y 轴为压电轴， z 轴为光学轴。晶体在某一个压电轴的方向上受压或拉伸时，就在一个压电轴的两端和垂直于压电轴的面上产生相反的电荷，而且最大电荷发生在压电轴的两端。根据上述原理，在制作超声发生器时，石英晶体片常用 x 切割法，即所切薄片之面与 x 轴垂直。图 1-2 (a) 为石英的 x 切割法示意图。矩形石英块的棱 b 垂直于 x 轴，与 z 轴平行；面 L 相当于 x 轴的两端，与 y 轴平行。因此，在石英晶体片的 x 轴方向上加压力 F ，或在 y 轴方向上拉伸晶体片时，棱 b 及面 L 上各自成对地产生正负电荷。反之，在石英晶体片 x 轴方向上加拉力 F' ，或在 y 轴方向上加压力，则在棱 b 及面 L 产生与上述相反的电荷，如图 1—

2'(b) 所示, 这就是晶体的正压电效应。而在晶体的 z 轴方向上施加压力或拉力, 都不会引起压电效应, 因此石英晶体的 z 轴不是压电轴。

与上述原理相反, 如果在石英晶体 x 方向上两个端面 L 上施加电压, 则由于电场作用, 引起电介质内部正负电荷中心位移, 这一极化位移将导致晶体的几何应变, 使石英晶体沿 x 轴方向产生厚度的伸张和压缩(同时在 y 轴方向也会产生压缩和伸张), 这种与正压电效应相反的效应称为逆压电效应, 如图 1-3 所示。逆压电效应存在时, 晶片产生厚度上的振动, 当此种振动加于弹性介质(如空气、液体)中时, 介质将沿着晶片的 x 方向振动, 产生交替的压缩与稀疏区, 即在介质中形成了波动。如果这种波动的频率在 20kHz 以上, 形成的波就是超声波。

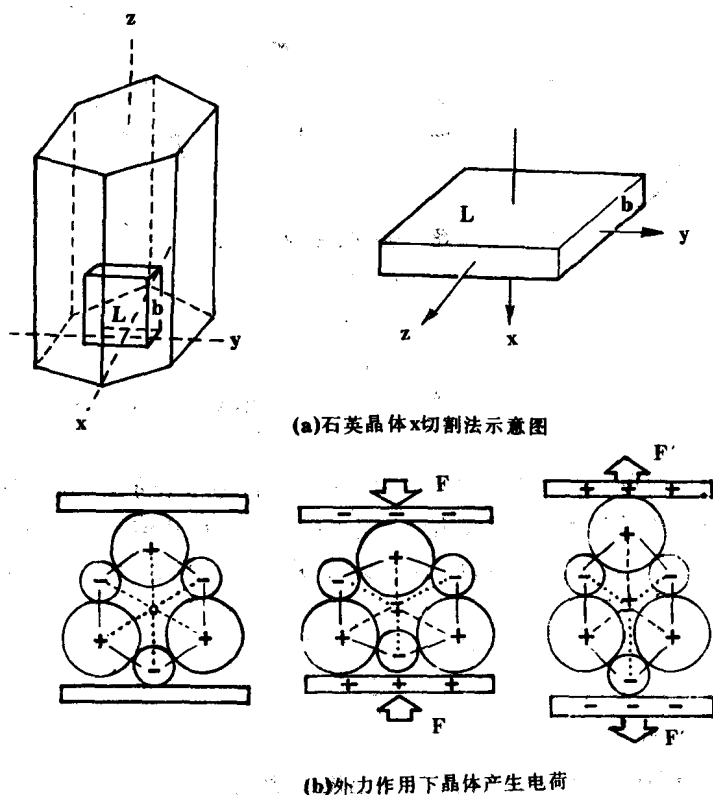


图 1-2 石英晶体切割与正压电效应

2. 超声波的表示方法

与声波一样, 超声波在周期性振动传播中, 其质点位移, 质点运动速度以及加速度等均为角频率和时间的正弦和余弦函数。其各自的表达式如下:

质点位移为

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

式中: A 是位移的最大幅度;

$\omega = 2\pi f$ 为角频率;

t 为时间。

质点运动速度为

$$v = \omega A \cos \omega t = V_m \cos \omega t \quad (1-2)$$

式中, v_m 为质点运动速度的最大值。

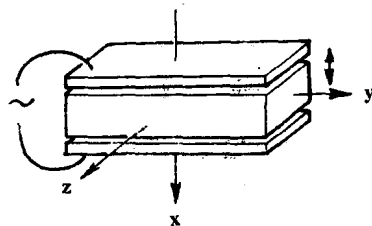


图 1-3 逆压电效应

质点运动的加速度为

$$b = -\omega^2 A \sin \omega t = -B \sin \omega t \quad (1-3)$$

式中, B 为质点运动加速度的最大值。

因此, 可以绘出超声波的函数图形如图 1-4 所示。对于横波, a 波形图中的正负最大值分别对应波峰和波谷; 对于纵波, 则分别对应密部和疏部。纵波的这种表示法与电学中的电流、电压表示法相同。

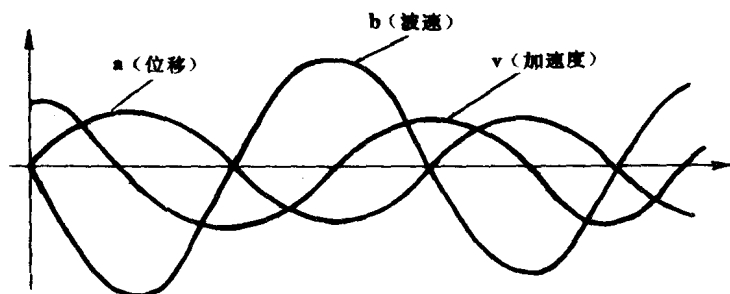


图 1-4 超声波的函数表示图形

§ 1.3 超声的物理量

超声的物理量包括声速、周期和频率、波长、声压、声强以及声阻抗率等。

1. 声速

声波在介质中单位时间内传播的距离, 称为声速。用符号 C 表示, 单位为米/秒。声波的传播过程实质上是能量的传递过程, 它不仅需要一定的时间, 而且其传递时间的长短还与介质的密度及弹性, 介质的特性以及波动的类型有关。对于纵向传播的平面波, 其声速为

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (1-4)$$

式中: ρ 为介质密度;

K 为介质的体积弹性模量。

又由于弹性模量与温度有关, 因而声速还受温度的影响。例如, 空气的温度在 0°C 时, 声速为 332m/s , 气温每升高 1°C , 则声速增加 0.6m/s , 至 15°C 时, 则为 341m/s 。表 1-1 给出了不同温度下与超声诊断有关的介质中的声速。

表 1-1 有关介质的超声速度

介 质	传播速度(m/s)	介 质	传播速度(cm/s)
空气(0°C)	332	肌肉(平均值)	1 568
石蜡油(33.5°C)	1 420	肝 脏	1 570
海水(30°C)	1 545	肾 脏	1 560
生理盐水	1 534	头 颅 骨	3 360
人体软组织(平均值)	1 540	角 膜	1 550
血 液	1 570	房 水	1 532
脑 组 织	1 540	水 晶 体	1 641
脂 肪	1 476	玻 璃 体	1 532
		巩 膜	1 604

2. 周期和频率

介质中的质点在平衡位置往返摆动一次所需要的时间叫周期, 用 T 表示; 在一秒钟的时

间内完成摆动的次数称为频率,用 f 表示,单位为周/秒(又称作赫兹)。周期与频率成互为倒数关系,以式表示为:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-5)$$

超声诊断常用的频率范围在 0.8~15 兆赫之间,而最常用的为 2.5 兆赫、3 兆赫或 3.5 兆赫。

3. 波长

在一个周期内,波所传播的距离就是一个波长,用 λ 表示。对于纵波,等于两相邻密集点(或稀疏点)间的距离,如图 1-5(a)所示;对于横波,则是从一个波峰(或波谷)到相邻波峰(或波谷)的距离,如图 1-5(b)所示。

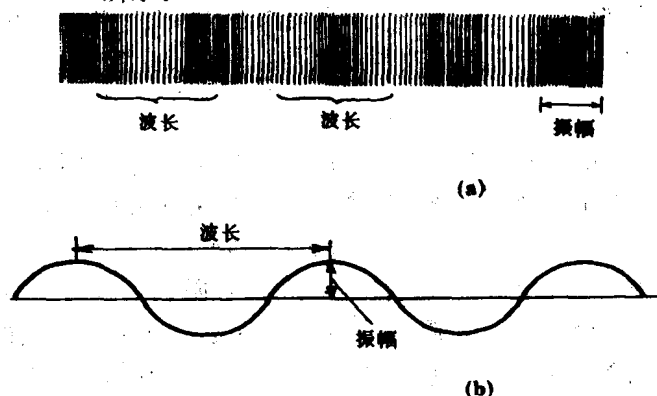


图 1-5 波长示意图

波长、声速与频率之间满足以下关系: $\lambda = \frac{c}{f}$ (1-6)

频率和波长在超声成像中是两个极为重要的参数,波长决定了成像的极限分辨率,而频率则决定了可成像的组织深度。表 1-2 给出了医学超声诊断常用的几种超声波频率与其波长、周期和极限分辨力的关系。

表 1-2

波长、周期与极限分辨力之间的关系

物理量 \ 频率(MHz)	1	2	2.5	3	3.5	5	7.5	10	15
波长(mm)	1.5	0.75	0.6	0.5	0.43	0.3	0.2	0.15	0.1
周期(μ s)	1	0.5	0.4	0.33	0.29	0.2	0.13	0.1	0.06
极限分辨力(mm)	0.75	0.375	0.3	0.25	0.22	0.15	0.1	0.075	0.05

注:取超声波在人体中传播的平均声速 $C=1540\text{mm/s}$ 作为换算标准

4. 声压

纵波在弹性媒质内传播过程中,媒质质点的压强是随时间变化的,媒质质点的密度时疏时密,从而使平衡区的压力时强时弱,结果导致有波动时压强(p_w)与无波动时压强(p_0)之间有一定额压强差($p_w - p_0$),这一波动压强称为声压。对于一无吸收媒质的平面波,有波动时压强的最大值与没有波动作用时各点压强的差值称为压强振幅 p_m ,它可由下式确定:

$$p_m = \rho C V_m = \rho C \omega A \quad (1-7)$$

上式表明,声压振幅 p_m 与媒质密度 ρ 、质点运动速度的最大值 V_m 及波速 C 成正比。

声压有效值为:

$$P = \frac{p_m}{\sqrt{2}} \quad (1-8)$$

5. 声强

声强是表示声的客观强弱的物理量,它用每秒钟通过垂直于声波传播方向的1平方厘米面积的能量来量度,它的单位是尔格/秒·平方厘米。

声强与声源的振幅有关,振幅越大,声强也越大;振幅越小,声强也越小。当声源发出的声波向各个方向传播时,其声强将随着距离的增大而逐渐减弱。这是由于声源在单位时间内发出的能量是一定的,离开声源的距离越远,能量的分布面也越大,因此通过单位面积的能量就越小。基于这一原理,在超声诊断探头发射超声时,必须考虑波束的聚焦,它可以减小声能的分散,使声能向一个比较集中的方向传播,因而可以增加诊断探测的深度。

6. 声阻抗率

声阻抗率是描述声波传播弹性媒质的一个重要物理量。对于各向同性的均匀媒质中无衰减的平面自由行波来说,媒质中某点有效声压 P 与振动质点速度有效值 V 之比称为声阻抗率,它用 Z_s 表示

$$Z_s = \frac{P}{V} = \rho C \quad (1-9)$$

实际上,声压与质点振速不一定同相,所以声阻抗率是两个同频率,但不同相的余弦量的比值,并不是一个恒量。对于无衰减的平面行波,声压和振速可视为同相,媒质各点的声阻抗率是同一个恒量 ρC ,对一定频率的声波来说,它只决定媒质密度 ρ 和波速 C 的乘积。

声阻抗率和电学中一个无限长,无损耗传输线的特性阻抗相似,其中声压相当于电压,振速相当于电流强度,声阻抗率相当于电阻。通常声阻抗率是一个复数,其实部称为声阻率,虚部称为声抗率。人体正常组织的声阻抗率的平均值约为 1.5×10^6 瑞利(1瑞利=1牛顿·秒/米³),而与超声测量有关的非生物材料的密度、声速和声阻抗率则如表1-3所示。

表 1-3 几种物质及人体组织的声阻抗率

介 质	密度(g/cm ³)	声速(m/s)	声阻抗($\times 10^6$)
空气(0℃)	0.00129	332	0.000428
水(37℃)	0.9934	1523	1.513
生理盐水(37℃)	1.002	1534	1.537
石蜡油(33.5℃)	0.835	1420	1.186
血 液	1.055	1570	1.656
脑 脊 水	1.000	1522	1.522
羊 水	1.013	1474	1.493
肝 脏	1.050	1570	1.648
肌肉(平均值)	1.074	1568	1.684
软组织(平均值)	1.016	1500	1.524
脂 肪	0.955	1476	1.410
颅 骨	1.658	3360	5.570
水 晶 体	1.136	1650	1.874

还有其它一些关于超声的物理量,由于与本文关系不甚密切,这里就不一一介绍了,读者可以参阅有关专著。

§ 1.4 超声的传播与衰减

超声波是一种波动,它和其它波动过程一样,在媒质中传播的物理性质与其它类型的波动