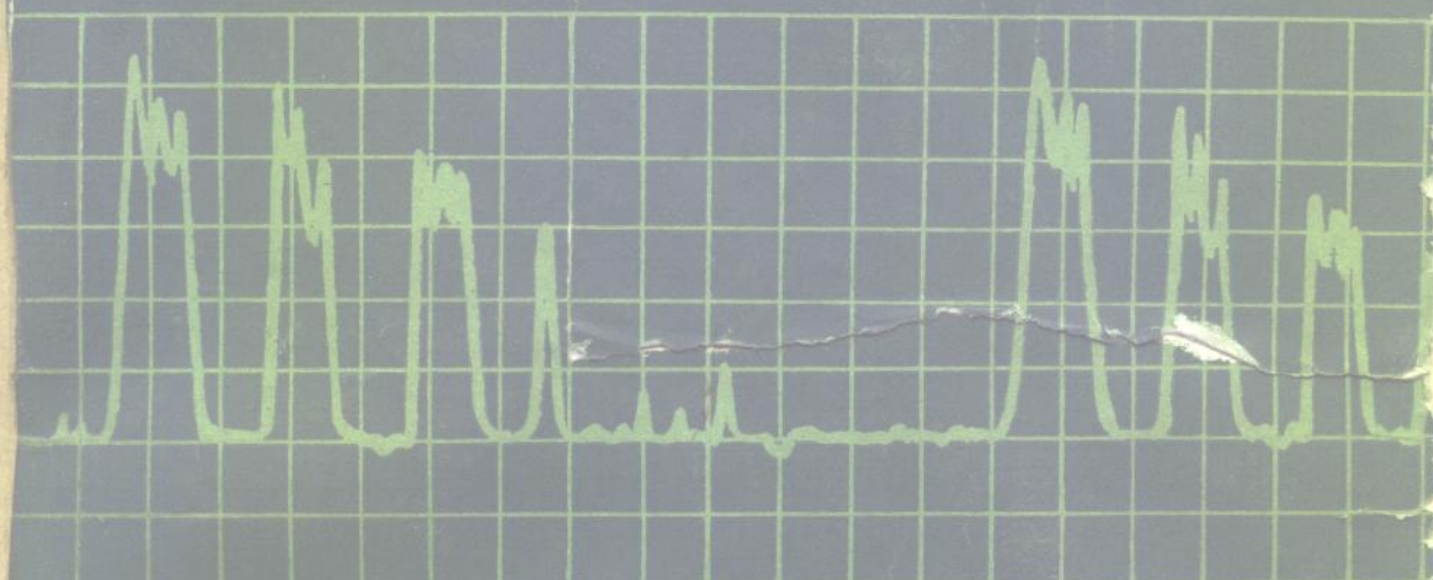




OSHENGZHENDUANYI YUANLI YU WEIHU

超声诊断仪 原理与维护

关立勋 雷纪胜 编著

人民卫生出版社

超声诊断仪原理与维护

关立勋 雷纪胜 编著

人民卫生出版社

内 容 简 介

本书比较系统地叙述了超声诊断仪的工作原理,对超声诊断仪常见故障及其检查方法作了较详细的讨论。全书共七章,主要内容有:超声波的物理基础;诊断用超声换能器;超声诊断仪的原理;组成超声诊断仪的基本电路;常用的超声诊断仪的电路分析;超声诊断仪常见故障的检查和维修方法;以及其他有关技术。书末附有超声生物医学工程常用声学量及其声学公式,常需参考的电子管、晶体管、示波管、显象管的参数表,国内外各种超声诊断设备的性能表,超声诊断装置的发展简史,以及常用超声诊断仪的电原理图。

本书以阐明物理概念为主,图文并茂地介绍各种类型的超声诊断仪及其新技术,并结合国产超声诊断仪,理论联系实际,对多种超声诊断仪电路原理作了比较系统的讨论。

本书可供使用、维修和研制生产超声诊断仪器的医务工作者、工程技术人员以及有关专业师生参考。

超 声 诊 断 仪 原 理 与 维 护

关立勋 雷纪胜 编著

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

(北京市崇文区天坛西里10号)

北 京 顺 义 寺 上 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

787×1092毫米 16开 21印张 434千字
1983年12月第1版 1983年12月第1版第1次印刷

印数: 00,001—10,300

统一书号: 14048·4424 定价: 2.35元

[科技新书目51—69]

前 言

超声诊断是在现代电子学发展的基础上，将雷达技术与声学原理结合起来应用于临床医学的一种方法。由于超声诊断具有无损伤、非侵入性、灵敏度高、重复性好、适于鉴别软组织等一系列优点，受到医学界普遍重视和欢迎，因此，获得了迅速的发展。近十几年来，由于高速机械扫描和高速电子扫描的实时超声断层显象仪以及其他新型超声诊断仪的普遍使用，超声诊断已由非直观性的回声图诊断，发展到高成象质量的灰阶声象图诊断。超声图象诊断已成为医学诊断中的三大图象诊断法之一。

我国自一九五八年开始将超声技术用于临床诊断，至今已有二十多年的历史。目前全国城乡医院已普遍设立了超声波诊断室，使用着我国自己设计生产和部分从国外引进的数万台超声诊断设备。近年来，在国内超声生物医学工程界科技工作者的共同努力下，已研制出性能较好的实时断层显象型超声诊断仪，为超声诊断提供了更新换代的设备，超声诊断正在进入一个崭新的发展阶段。

为了适应我国超声生物医学工程迅速发展的需要，进一步推广普及超声诊断技术，提高超声诊断仪的制造、使用和维护水平，根据广大医务工作者和工程技术人员的需要，我们编写了《超声诊断仪原理与维护》一书。书中介绍了超声波的物理基础和各种类型的超声诊断仪原理。为了便于读者了解近年来国外生产的一些新型断层显象仪的工作原理，我们较系统地介绍了这方面的知识。另一方面，我们还较详细地讲述了超声诊断仪的基本电路和超声诊断仪常见故障的检查和维修方法，希望能对从事电子仪器特别是医用电子仪器维护修理工作的同志有所帮助。

在编写本书的过程中，曾得到全国超声生物医学工程学会各专业组、有关院校、研究所、工厂同志们的支持和帮助，在此一并表示衷心感谢。由于我们水平有限，缺点错误和不妥之处在所难免，殷切的希望广大读者给予批评指正。

作 者

一九八一年十二月

目 录

第一章 超声波的物理基础	1
第一节 振动	1
第二节 波动	2
第三节 波动的物理量	7
第四节 超声波的传播特性	13
第五节 超声波的衰减	25
第六节 超声场的特性	31
第七节 声波和超声波	42
第八节 超声波的效应和特点	44
第九节 声学和超声医学工程	45
参考资料	46
第二章 诊断用超声换能器	47
第一节 压电学的物理基础知识	47
一、压电效应	47
二、压电方程	49
三、压电体的参数	52
第二节 压电振子的特性	58
一、压电振子的力电类比和等效电路	58
二、压电振子的谐振特性	60
三、压电振子的导纳圆	63
四、压电振子的振动模式	65
第三节 压电材料	74
第四节 诊断用超声换能器的特性和结构	79
一、压电换能器的特性	79
二、压电换能器的种类和结构	90
三、压电换能器的测量	101
参考资料	105
第三章 超声诊断仪的原理	108
第一节 超声波在生物组织内的传播特性	108
一、超声波在生物组织内的传播速度	108
二、超声波在人体组织内的衰减	108
三、超声波在人体组织内的反射、折射和透射	110
第二节 超声脉冲反射法	111
一、超声脉冲反射法	111
二、超声脉冲的发射和接收	113
三、超声的分辨力	114

第三节 超声检测仪的类型和原理	115
一、超声检测仪的类型	115
二、超声检测仪的基本原理	116
(一) A 型	116
(二) M 型	116
(三) B 型	116
(四) PPI 型	116
(五) BP 型	117
(六) C 型 F 型	119
(七) 超声全息	119
第四节 断层显象型超声检测仪原理	121
一、高速机械圆形、扇形扫描超声断层显象仪原理	121
二、高速电子相控阵扇形扫描超声断层显象仪原理	123
(一) 超声相控阵扫描原理	123
(二) 超声相控阵发送电路	124
(三) 超声相控接收电路	125
三、高速电子线阵线性扫描超声断层显象仪原理	127
四、为提高声象图质量所采用的新技术	127
(一) 间隔扫描	128
(二) 发收间隔扫描	129
(三) 飞越扫描	129
(四) 微角扫描	130
(五) 电子聚焦、可变孔径	132
(六) 灰阶显示	134
(七) 数字扫描变换器	134
第五节 超声多普勒技术	136
一、超声多普勒信号产生的原理	136
二、超声多普勒诊断仪原理	139
(一) 距离选通式脉冲多普勒诊断仪	139
(二) 鉴相式血流速度剖面仪	140
(三) 多普勒血管显象仪	142
参考资料	143
第四章 常用超声诊断仪器的基本电路	144
第一节 脉冲的基本知识	144
一、概述	144
二、电路的暂态过程	147
三、微分电路	150
四、积分电路	151
第二节 晶体管的开关特性	153
一、晶体管的开关特性	153
二、晶体管开关器的惰性	154
第三节 脉冲控制电路(同步电路)	155

一、自激多谐振荡器电路	155
二、双稳态触发电路	159
三、单稳态触发电路	160
四、间歇振荡器	161
五、单结晶体管及其基本电路	162
第四节 数字集成电路	165
一、集成电路逻辑门	165
二、集成电路触发器	167
三、集成门电路构成的脉冲电路	170
第五节 扫描电路	172
一、锯齿波电路	172
二、锯齿波直线性的改善	174
三、自激幻象电路	177
四、自动平衡式倒相电路	180
第六节 高频脉冲发生器	180
一、闸流管、可控硅	180
(一) 闸流管	180
(二) 可控硅	182
二、高频脉冲发生器	184
第七节 放大电路	186
一、回波接收电路	186
(一) 回波接收放大电路	186
(二) 脉冲检波电路	192
(三) 视频放大电路	193
二、直流放大器	194
三、集成运算放大器	197
第八节 回波接收放大电路中的增益控制	200
一、概述	200
二、增益控制的基本原理	201
三、灵敏度时间补偿电路	201
第九节 显示电路	204
一、电子束管的工作原理	204
(一) 电子束的聚焦	204
(二) 电子束的偏转	205
(三) 荧光屏的特性	209
(四) 荧光屏上展开图形的获得	210
(五) 静电偏转式电子束管的结构	211
(六) 磁偏转电子束管的结构	211
(七) 电子束管的性能和使用	213
二、显示电路	214
三、增辉电路	215
第十节 标志电路	215

一、单式距离刻度·····	216
二、复式距离刻度·····	217
三、点阵形、方格形时间距离刻度·····	217
第十一节 电源·····	219
一、整流和滤波·····	219
(一) 半波整流电路的工作原理·····	219
(二) 电容滤波的工作原理·····	222
(三) 全波整流电路·····	222
(四) 桥式整流电路·····	222
(五) 倍压整流电路·····	223
二、低压稳压电路·····	225
(一) 硅稳压管、辉光管稳压电路·····	225
(二) 串联型直流稳压电源·····	226
(三) 几种实用的串联型直流稳压电源·····	227
三、高压电源·····	230
(一) 产生直流高压的方法·····	230
(二) 晶体管直流变换器的工作原理·····	230
参考资料·····	233
第五章 其他有关技术 ·····	234
第一节 多种生理信号图形的实时同步显示·····	234
第二节 A型超声波的取样记录·····	236
第三节 荧光屏上数字字符的形成·····	240
一、数字字符的形成·····	240
二、九个笔段的产生·····	241
三、多位数的动态循环显示·····	243
四、字符在荧光屏上的位移·····	243
参考资料·····	243
第六章 常用超声诊断仪的电路原理 ·····	244
第一节 JCZ-1 型超声波诊断仪·····	244
一、主要技术参数·····	244
二、电路工作原理·····	244
第二节 CTS-5 型超声波诊断仪·····	246
一、主要技术参数·····	246
二、电路工作原理·····	247
第三节 JTC-4 型超声波诊断仪·····	251
一、主要技术参数·····	251
二、电路工作原理·····	251
第四节 XJY-3 型心脏机能诊断仪·····	253
一、主要技术参数·····	253
二、电路工作原理·····	254
第五节 CDZ-21 型超声多普勒诊断仪·····	258

一、主要技术参数·····	253
二、电路工作原理·····	258
第七章 超声诊断仪的维护修理·····	260
第一节 超声诊断仪的维护·····	260
一、仪器的故障·····	260
二、仪器的维护·····	260
三、仪器的修理·····	261
第二节 故障的检查方法·····	261
一、检查电子管·····	261
二、检查电压·····	262
三、检查电路连接和元器件装配·····	262
四、检查元器件·····	263
(一) 电阻的检查·····	263
(二) 电容器的检查·····	263
(三) 变压器的检查·····	264
(四) 晶体管的检查·····	264
五、元器件置换法·····	267
六、使用仪器进行检查·····	267
第三节 电源部分的故障和检查·····	267
一、整流电路部分·····	267
二、低压稳压电路·····	269
三、高压电路部分·····	270
第四节 显示电路的故障和检查·····	271
一、电子束管部分的故障·····	271
二、显示电路部分·····	271
三、增辉电路部分·····	272
第五节 脉冲控制电路的故障和检查·····	272
一、控制脉冲产生电路部分·····	272
二、延迟电路部分·····	273
第六节 扫描电路的故障和检查·····	273
第七节 标志电路的故障和检查·····	274
第八节 高频脉冲发射电路的故障和检查·····	275
第九节 接收放大电路的故障和检查·····	275
第十节 心电图心音图部分的故障和检查·····	276
参考资料·····	277
附录一 常用电子管、晶体管、电子束管及部分集成电路参数表·····	278
附录二 国产超声诊断仪器的主要性能和用途·····	283
附录三 国外超声诊断仪器的主要性能和用途·····	285
附录四 常用声学量与单位·····	295
附录五 声学常用公式·····	296
附录六 希腊字母和国际单位制用的十进词冠·····	298

附录七	K_t 、 K_{15} 与泛音比关系的数值表	299
附录八	分贝换算表	300
附录九	超声诊断装置的发展简史	303
附录十	常用超声诊断仪电原理图	
	JCZ-1 晶体管超声波诊断仪电原理图	
	CTS-5 型超声诊断仪电原理图	
	JTC-4 型超声波诊断仪电原理图	
	XJY-3 型心脏机能诊断仪电原理图	
	XJY-6 型心脏机能诊断仪电原理图	
	CDZ-21 型超声多普勒诊断仪电原理图	
	超声波血管胎心检测仪电原理图	
	A型超声诊断记录仪电原理图	
附录十一	照片	

第一章 超声波的物理基础

本章所叙述的超声波物理是超声诊断仪器的工作理论基础，也是讨论超声换能器的理论根据。我们将扼要地讲述超声波物理的一般概念。声学的物理本质是力学，振动是声学的基础，本章首先讲振动理论、波的传播特性，而后引述声学的物理量，随着提出超声波的物理特性。这些物理基础对后几章讲述超声诊断仪器原理是必需的预备知识。

读者欲求探讨超声物理可参阅其他有关资料。〔1〕〔2〕〔3〕

第一节 振 动

振动是产生波的根源，谐振动是振动的最基本、最简单的形式，任何复杂的振动都可以看作若干谐振动的迭加合成的结果。物体在弹性力或准弹性力作用下，在一定位置附近作周期性运动称**谐振动**，可以用质点离平衡位置的位移 x 随时间 t 而变化的函数 $x = \phi(t)$ 来描述这一直线振动的运动规律，该函数在很多情况下是周期性的余弦函数或正弦函数

$$\begin{aligned}x &= A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \\&= A \cos(\omega t + \varphi)\end{aligned}$$

若改变起始时刻亦可写成 $= A \sin(\omega t + \varphi)$

式中： x ——质点离平衡位置的振动位移

A ——质点离平衡位置的最大位移绝对值，称振动的振幅

T ——振动周期

ω ——角频率，振动物体在 2π 秒时间所振动的次数 $\left(\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}\right)$

$(\omega t + \varphi)$ ——谐振动随时间而变化的瞬时相位角， φ 是 $t = 0$ 时的相位角即振动的初相

由于位移的结果，质点必具有速度和加速度。质点振动速度 v 等于位移 x 对时间求一阶导数和二阶导数

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \varphi) \quad (1-1)$$

可见速度最大值 $v_m = A\omega$ 称为速度振幅，后者为位移振幅的 ω 倍，所以上式也可写成

$$v = v_m \cos\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (1-2)$$

即谐振动的速度也是时间的余弦函数，从上式看出速度的相位比位移的相位超前 $\frac{\pi}{2}$ 。

取速度对时间的导数，则得质点加速度 a

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) \quad (1-3)$$

或
$$a = \omega^2 A \cos(\omega t + \varphi + \pi) \quad (1-4)$$

可见谐振动的加速度也是时间的余弦函数，且加速度振幅 ($a_m = \omega^2 A$)，为位移振幅的 ω^2 倍，加速度的相位比位移的相位超前 π ，也就是说加速度与位移反相。

式(1-3)和(1-4)说明：当质点作谐振动时，它的位移，速度和加速度都是时间 t 的余弦或正弦函数，任一时刻的加速度 a 与该时刻质点位移 x 成正比，而它的方向指向平衡位置即跟位移方向相反，如图 1-1 所示。

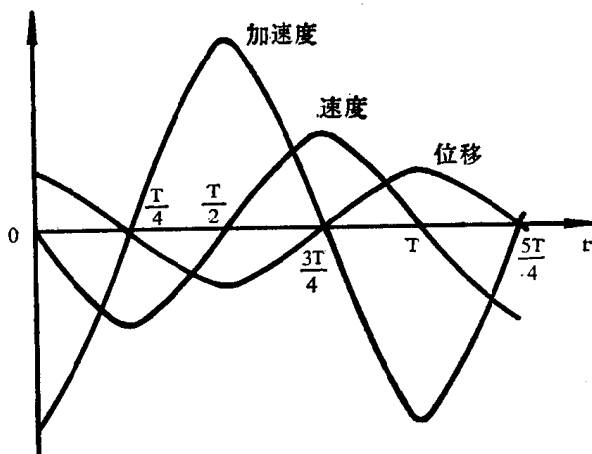


图 1-1 谐振动的位移，速度和加速度与时间的关系

振动的能量 振动过程中能量周期性地由动能转变为位能，或与之相反。

振动物体的动能 E_k 为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi) \quad (1-5)$$

若该时刻物体的位移为 x ，则位能 E_p 为

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}KA^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \quad (1-6)$$

总能量 ΔE 等于动能与位能之和

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_k + E_p \\ \Delta E &= \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi) + \frac{1}{2}KA^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \end{aligned}$$

因 $\omega^2 = K/m$ 或 $K = m\omega^2$ ，所以又可写成

$$\Delta E = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 = \frac{1}{2}KA^2 \quad (1-7)$$

上式表明，在整个振动周期中，动能和位能都是随时间作周期性变化，而且两者相位差 90° ，即动能为零时，位能最大，或与之相反， m 、 K 和 A 都是恒量，其总能量在振动过程中亦是一个恒量，并与其振幅和频率的平方成正比。

第二节 波 动

波动是振动传播的过程，是物质很普遍的一种运动形式，基本上波动有二种形式：

波动形式 $\left\{ \begin{array}{l} \text{机械振动——机械波，声波等。} \\ \text{电磁场运动——电磁波，无线电波，X射线等。} \end{array} \right.$

此外，一些粒子（如电子，质子等）的运动也具有波动性。

当波动在媒质内传播时，由于质点相互间有弹性力的联系及质点位移的传递，因而在波传播经过的方向上，质点交替产生稠密区和稀疏区，稠密区压力增加，稀疏区压力减小，这种交替振动使弹性媒质质点产生压力变化，传播能量。应指出，媒质中各振动质点并不随着波的传播面而向前移动，随波动方向传播出去的只是能量而不是媒质本身，媒质质点只在各自的平衡位置附近振动，就每一质点来说只作振动，就全部质点来说传播振动结果而成波。

振动体和媒质是产生和传播波动的必需条件。

波动方程 当波源作谐振动时，媒质中各点也作谐振动，所形成的波称**简谐波**，亦称**余弦波**或**正弦波**。对于无吸收的均匀媒质质点的位移与时间的关系有，在任一时刻 t 的位移为 $y = A\cos\omega t$ ，经时间 t 后，波动向前移动一段距离 $x = ct$ ，也就是说，在距离为 x 处平面上各点的振动将比 $x = 0$ 处的振动落后了一段时间 $t = x/c$ ，如图 1-2 所示。

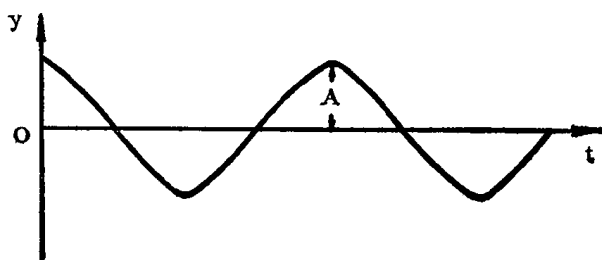


图 1-2 振动点的位移和时间的关系

在距离为 x 处（B 点处）质点在时刻 t 的位移为

$$y = A\cos\omega\left(t - \frac{x}{C}\right) \quad (1-8)$$

由上式求 y 对 x 和 t 的二阶偏导数得出

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (1-9)$$

这个偏微分方程是无衰减理想媒质中平面波的波动方程。

波的振动状态 在弹性媒质中的质点振动，沿某一方向传播时，相对于传播方向来说，因媒质质点振动方向与波在媒质传播方向不同，有不同类型的波。

1. **纵波** 波在媒质中传播时，媒质质点振动方向与波的传播方向相平行的波称**纵波** (Longitudinal wave)。当纵波传播时，在纵波通过的区域内，媒质各点发生周期性的稀疏（膨胀）和稠密（压缩），因之有称纵波为**胀缩波** (dilatational wave) 或**压缩波** (compressional wave)。图 1-3 为纵波传播的示意图，从图中可以看出，对于纵波，媒质的形变是密度的变化，而波本身则以交替疏密形式变化，由于纵波系因媒质容变弹性或长变弹性所引起，固体、液体和气体媒质均有体变弹性，所以纵波在这三种媒质中都可传播，纵波在传播时，媒质只发生体积变化。

2. **横波** 波在媒质中传播时，媒质质点振动方向和波的传播方向互相垂直的波称**横波** (transverse wave)。波在传播时，对整个媒质来说，媒质本身受到剪切应力时，就会相应地发生交变切变形式的振动，如图 1-4 所示。横波常由切变弹性所引起，因之它仅在具有切变弹性的媒质（高粘滞液体和固体）中传播，在横波通过区域，媒质垂直于

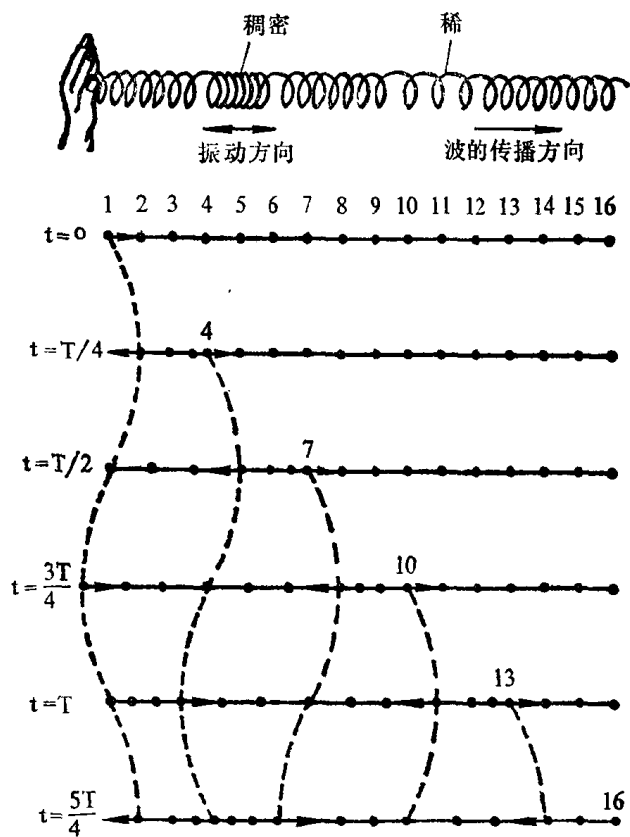
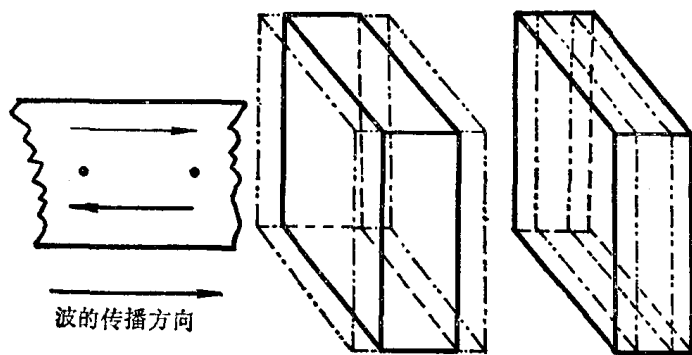
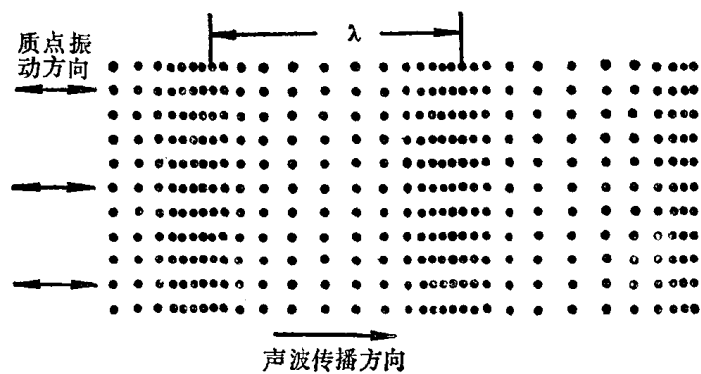


图 1-3 纵波传播的示意图

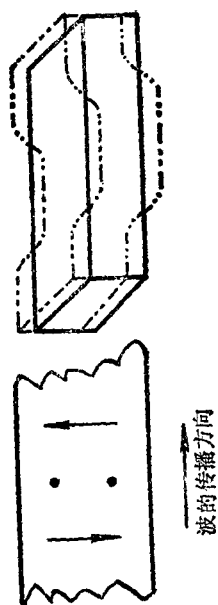
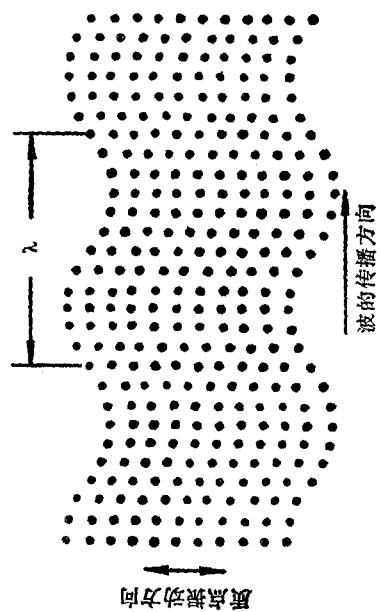
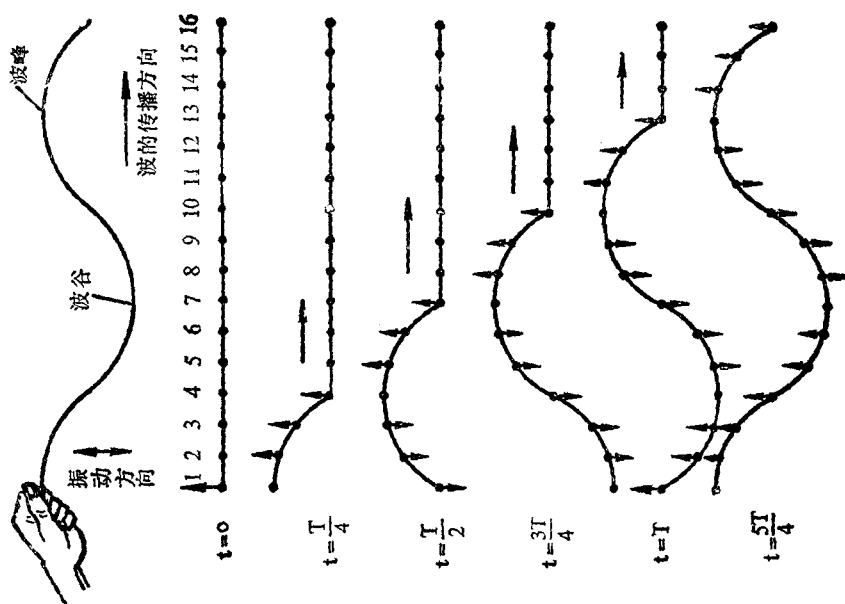


图 1-4 横波传播的示意图

传播方向发生剪切形变，所以横波又称为**切变波** (sheare wave)。横波虽然使媒质发生形变，但没有体积的变化，一般液体和气体均无切变弹性（剪切模量为零），所以横波不能在这些媒质中传播，但横波可在液体表面传播，其性质比较复杂，质点系沿封闭的圆形或椭圆形轨道振动。

综上所述可知，波的振态是由媒质的弹性所决定，固体媒质具有两种弹性（切变和体变），所以固体中可传播纵波，横波以及其他复杂的弹性波。

从运动学的角度来看，根据运动迭加原理，单纯的纵波和横波是两种最简单的波，各种复杂的波都可以分解成为纵波和横波来进行研究。

3. **表面波** 沿媒质表面传播的波称**表面波** (surface wave)，表面波的能量集中在媒质自由表面层或在两种媒质的分界面附近振动，表面波质点振动的轨迹一般呈椭圆形，其波长通常甚短，传播表面波的媒质表面厚度至少数倍于波长，传播表面波时，其质点的振动介于纵波和横波之间，质点位移的长轴垂直于传播方向，质点位移的短轴平行于传播方向，质点位移的振幅随离开表面的深度按指数迅速衰减。表面波只在固体中传播，前者亦称**瑞利波** (Rayleigh wave)。图 1-5 为表面波的振动示意图。

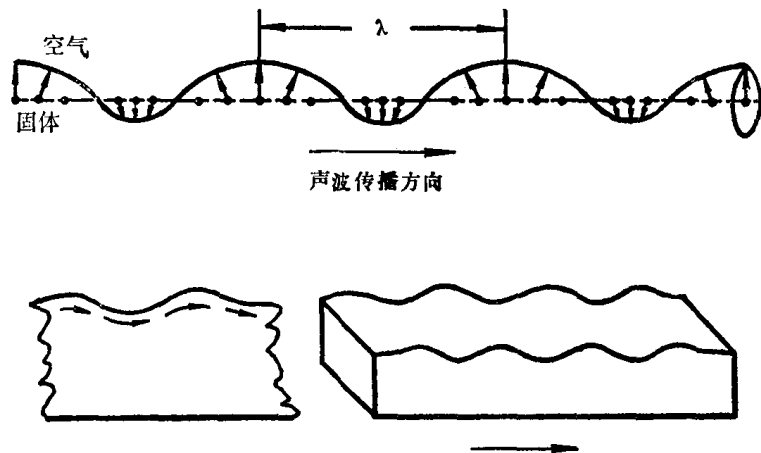


图 1-5 表面波的振动示意图

表面波主要用于超声工业探伤，在超声诊断技术中，尚未发现横波和表面波的应用价值，在人体组织内是否能产生横波也无定论。

如果我们按波在传播时，弹性媒质质点的振动状态，可分为三种波型：平面波、球面波和柱面波。

下面先介绍波动过程中常用的两个概念：

波阵面 波源在弹性媒质中振动时，振动将向各个方向传播，在某一时刻波动传播到媒质各点，以同相位振动（即位移的大小和方向以及运动方向都相同）的质点所联成的轨迹曲面称为**波阵面** (wave front) 或波前。

波线 在各向同性的媒质中，波的传播方向与波阵面垂直的线称为**波线** (wave ray)。

1. **平面波** 波阵面为一平行平面的波称**平面波** (plane wave)，任意时刻波到达各点的轨迹是一个平面，当波源线度远大于其波长时，其波阵面可被认为是一个平面。实际上理想的平面波是不存在的。

平面波传播时,波束不发生扩散,但由于媒质对波的衰减作用,其振幅随传播距离逐渐变小。图 1-6 为平面波的示意图。

2. **球面波** 波阵面为同心球面的波称为**球面波**(spherical wave),后者在各向同性媒质中,各方向的传播速度相同。如果波源线度甚小于其波长时,可被近似认为是球面波,波线是以波源为中心的半径,其能量向四面八方均匀传播,没有方向性,形成一点波源,实际上理想的点波源是不存在的。球面波的振幅与波源距离的平方成反比。图 1-7 为球面波的示意图。

3. **柱面波** 波阵面为同轴柱面的波称为**柱面波**(cylindrical wave)。如果波源是置于各向同性无衰减无限媒质中的一个很长的半径圆柱体,当它作径向振动时,在媒质中就形成柱面波。

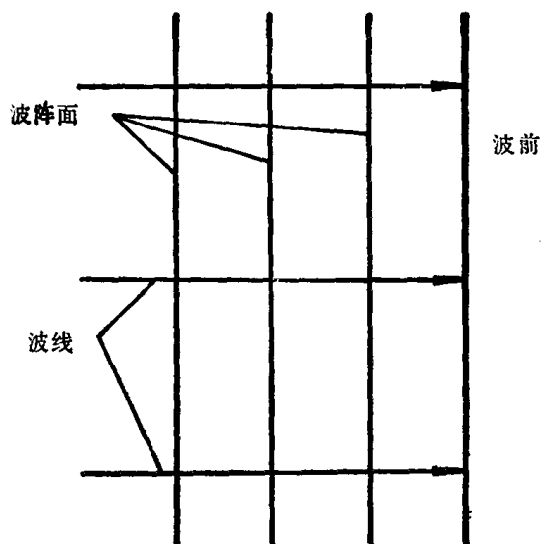


图 1-6 平面波的示意图

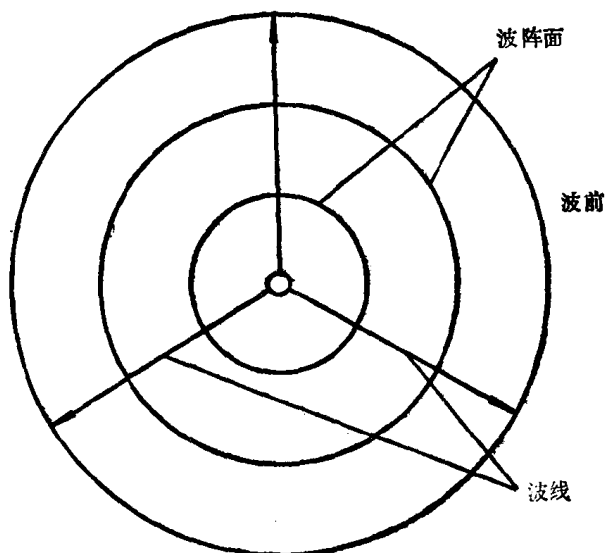


图 1-7 球面波的示意图

第三节 波动的物理量

1. **周期与频率** 波在媒质中传播时,媒质质点完成一次全振动,质点在平衡位置来回振动一次所需的时间称**振动周期**。如用旋转矢量表示谐振动时,即矢量A转动 2π 角度所需的时间。

在单位时间内,媒质质点完成一个全振动的次数称**频率**,基本单位是赫兹(Hz)。

2. **波长** 在一完整的周期时间内,质点振动所传播距离,或者说相位差一周的两个波阵面间的垂直距离称为**波长**。对纵波来说是两个相邻的稠密区(压缩区)中心点的距离或两个相邻的稀疏区(伸张区)中心点的距离。对横波来说是两个相邻波峰间或两个相邻波谷间的距离。可参考图 1-3 与图 1-4。从图中显而易见,在波传播的一个周期时间内,波所传播的距离等于一个波长。

3. **振幅** 从谐振动概念中得知,波在传播时,媒质质点从平衡位置到最大位移的距离称波的**振幅**(amplitude)亦有称幅值或幅度。

4. **波的传播速度** 每一种波动都具有一定的传播速度,波在弹性媒质中传播时,单位时间内波所传播的距离称为波的**传播速度**(简称波速)。波速与质点振动速度不同,后