

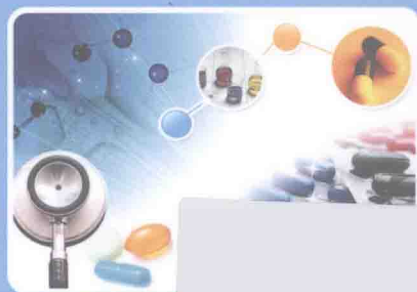
DANGDAI YIXUE YANJIU

YINGXIANG YU JIANYANXUE

当代医学研究

影像与检验学

主编 王玉云 耿铮子



DANGDAI YIXUE YANJIU

YINGXIANG YU JIANYANXUE



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

当代医学研究

(影像与检验学)

王玉云 耿铮子 主编



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

影像与检验是医学科学的一个重要组成部分,本书紧密结合近年来医学发展的新趋势、新进展,详细介绍了各种超声及医学检验方法,如浅表器官疾病、泌尿系统、消化系统、呼吸系统、女性生殖系统等各种疾病的超声诊断,以及肺与纵隔影像学技术、心脏疾病的超声诊断、骨与软组织影像学技术等。同时,本书还介绍了临床微生物鉴定技术、血液学检测技术、粪便检查、尿沉渣检查等各种医学检验方法。在本书的编写过程中,力求文字简明,强调实用性和对临床工作的指导性。本书不仅适合医学科研工作者使用,也可为广大临床医生提供重要参考。

责任编辑:于晓菲
图书在版编目(CIP)数据

影像与检验学 / 王玉云, 耿铮子主编. -- 北京 :
知识产权出版社, 2013.6
(当代医学研究 / 屈传强, 吴志鸿, 王玉云主编)
ISBN 978-7-5130-2132-6

I. ①影… II. ①王… ②耿… III. ①医学摄影②医学检验 IV. ①R445②R446

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 148740 号

当代医学研究

——影像与检验学

DANGDAI YIXUE YANJIU

——YINGXIANG YU JIANYANXUE

王玉云 耿铮子 主编

出版发行: **知识产权出版社**

社 址:北京市海淀区马甸南村 1 号

网 址:<http://www.ipph.cn>

发行电话:010-82000893 转 8101

责编电话:010-82000860 转 8363

印 刷:知识产权出版社电子制印中心

开 本:720mm×960mm 1/16

版 次:2013 年 6 月第 1 版

字 数:480 千字

邮 编:100088

邮 箱:2873049337@qq.com

传 真:010-82005070/82000893

责编邮箱:1143755758@qq.com

经 销:新华书店及相关销售网点

印 张:28.5

印 次:2013 年 6 月第 1 次印刷

定 价:180.00(全套 3 册)

ISBN 978-7-5130-2132-6

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题,本社负责调换。

《当代医学研究·影像与检验学》

编委会

- | | | |
|-----|-----|-----------------|
| 主 编 | 王玉云 | 青岛经济技术开发区第一人民医院 |
| | 耿铮子 | 临夏州人民医院 |
| 副主编 | 张军霞 | 山丹县人民医院 |
| | 杜学晴 | 山丹县人民医院 |
| | 岳燕双 | 博山经济开发区卫生院 |
| | 罗洪云 | 随县卫生局 |
| | 陈小爱 | 邢台县妇幼保健站 |
| | 薛 敏 | 大连医科大学附属第一医院 |
| 编 委 | 吴永娟 | 襄阳市中心医院 |
| | 董战军 | 驻马店市卫生学校 |

目 录

第一章 超声学概述	(1)
第一节 超声波探伤的物理基础	(1)
第二节 超声诊断仪	(11)
第三节 超声多普勒仪	(18)
第四节 超声诊断临床基础	(19)
第五节 超声检查的主要用途	(24)
第六节 多普勒超声技术基础及应用	(24)
第七节 超声新技术和新方法	(33)
第二章 超声检查	(37)
第一节 超声诊断的基本知识	(37)
第二节 超声诊断的类型	(38)
第三节 超声诊断的应用	(39)
第四节 超声诊断的检查方法	(44)
第五节 超声图像的分析与判断	(45)
第六节 超声诊断的应用范围	(49)
第七节 超声诊断报告单的书写	(51)
第八节 医学超声的生物效应及其应用	(53)
第九节 超声医学新技术	(56)
第三章 浅表器官疾病的超声诊断	(65)
第一节 眼部疾病的超声诊断	(65)
第二节 涎腺疾病的超声诊断	(71)
第三节 甲状腺疾病的超声诊断	(74)
第四节 乳腺疾病的超声诊断	(78)
第五节 阴囊疾病的超声诊断	(82)
第六节 浅表淋巴结的超声诊断	(87)
第七节 软组织肿块的超声诊断	(89)
第四章 泌尿系统疾病的超声诊断	(94)
第一节 肾脏的解剖概要	(94)
第二节 仪器探测方法	(95)

第三节 正常肾脏声像图	(96)
第四节 肾脏疾病的超声诊断	(96)
第五节 输尿管疾病的超声诊断	(99)
第六节 膀胱疾病超声诊断	(100)
第七节 肾上腺疾病的超声诊断	(103)
第八节 前列腺疾病的诊断	(105)
第五章 消化系统疾病的超声诊断	(107)
第一节 胰腺疾病的超声诊断	(107)
第二节 脾脏的超声诊断	(110)
第三节 肝脏疾病超声诊断	(114)
第四节 胆道系统疾病超声诊断	(123)
第六章 呼吸系统影像与诊断	(131)
第一节 正常影像学表现	(131)
第二节 异常影像学表现	(136)
第三节 气道疾病	(139)
第四节 肺先天性疾病	(146)
第五节 肺部炎症	(151)
第六节 肺结核	(159)
第七节 肺癌	(163)
第八节 肺转移瘤	(172)
第七章 肺与纵隔影像学技术	(178)
第一节 检查技术	(178)
第二节 影像观察与分析	(179)
第三节 疾病诊断	(193)
第八章 心脏疾病的超声诊断	(204)
第一节 心脏解剖概要	(204)
第二节 二维超声心动图检测方法及正常值	(206)
第三节 M型超声心动图检查方法及正常值	(209)
第四节 心脏超声多普勒检查方法及正常值	(212)
第五节 心脏超声探查方法和正常心脏超声表现	(214)
第六节 心脏瓣膜疾病	(219)
第七节 先天性心脏病	(228)
第八节 心肌和心包疾病	(234)
第九节 冠心病	(237)
第十节 心脏肿瘤及心内异常回声	(238)

第九章 宫颈病变	(242)
第一节 宫颈的解剖	(242)
第二节 宫颈良性病变	(243)
第三节 宫颈妊娠	(245)
第四节 宫颈肌瘤	(247)
第五节 宫颈癌	(249)
第六节 宫颈良性病变与恶性病变的鉴别诊断	(257)
第十章 子宫内膜病变与宫腔病变	(259)
第一节 正常子宫内膜解剖与生理	(259)
第二节 常见内膜病变与超声鉴别诊断	(260)
第三节 各种宫内环的超声表现与鉴别诊断	(272)
第四节 子宫内膜癌	(276)
第五节 内膜病变的鉴别诊断	(280)
第六节 乳癌术后服用三苯氧胺后超声追踪观察子宫内膜病变	(282)
第十一章 正常子宫解剖和子宫的病变与超声	(288)
第一节 正常子宫的解剖特点	(288)
第二节 常见的子宫病变	(291)
第三节 子宫病变的鉴别诊断	(297)
第四节 子宫肌瘤变性的种类与超声表现	(298)
第十二章 骨与软组织影像学技术	(307)
第一节 检查技术	(307)
第二节 影像观察与分析	(308)
第三节 疾病诊断	(314)
第十三章 临床微生物鉴定技术	(333)
第一节 葡萄球菌属	(333)
第二节 链球菌属	(337)
第三节 奈瑟氏菌属	(341)
第四节 卡他布兰汉氏菌属	(344)
第五节 肠球菌属	(345)
第六节 棒状杆菌属	(348)
第七节 李斯特菌属	(349)
第八节 炭疽杆菌	(350)
第九节 弧菌属	(351)
第十节 气单胞菌属和邻单胞菌属	(353)
第十一节 弯曲菌属	(356)

第十二节 肠杆菌科	(357)
第十三节 结核杆菌的标本采集、分型及鉴定	(366)
第十四章 血液学检测技术	(373)
第一节 红细胞检查	(373)
第二节 白细胞检查	(388)
第三节 仪器法血细胞检查	(397)
第十五章 粪便检查	(414)
第一节 标本的采集、保存和检验后处理	(414)
第二节 一般性状检查	(415)
第三节 化学检查	(416)
第四节 显微镜检查	(420)
第五节 基因检验	(424)
第六节 其他检验技术	(427)
第十六章 尿沉渣的检查	(430)
第一节 尿细胞成分的检查	(431)
第二节 尿管型的检查	(437)
第三节 尿结晶的检查	(442)
第四节 尿液细胞及管型的计数	(445)
第五节 尿沉渣检查	(446)

第一章 超声学概述

物体的机械性振动在具有质点和弹性的媒介中的传播现象称为波动,而引起人耳听觉器官有声音感觉的波动则称为声波(Sonic wave,sound wave)。人耳的听阈范围,其振动频率为16 赫(Hertz;Hz)~20 千赫(KHz)。超过人耳听阈上限的声波,即大于20 千赫的称超声波(Ultrasonic wave)简称超声,临床常用的超声频率为2~10 MHz。

超声医学(ultrasonic medicine)是利用超声波的物理特性与人体器官、组织的声学特性相互作用后得到诊断或治疗效果的一门学科。向人体发射超声,并利用其在人体器官、组织中传播过程中,由于声的透射、反射、折射、衍射、衰减、吸收而产生各种信息,将其接收、放大和信息处理形成波型、曲线、图像或频谱,籍此进行疾病诊断的方法学,称为超声诊断学(ultrasonic diagnostics);利用超声波的能量(热学机制、机械机制、空化机制等),作用于人体器官、组织的病变部位,以达到治疗疾病和促进机体康复的目的方法学,称为超声治疗学(ultrasonic therapeutics)。

超声治疗(ultrasonic therapy)的应用早于超声诊断,1922 年德国就有了首例超声治疗机的发明专利,超声诊断到1942 年才有德国 Dussik 应用于脑肿瘤诊断的报告。但超声诊断发展较快,20 世纪50 年代国内外采用A 型超声仪,以及继之问世的B 型超声仪开展了广泛的临床应用,至20 世纪70 年代中下期灰阶实时(grey scale real time)超声的出现,获得了解剖结构层次清晰的人体组织器官的断层声像图,并能动态显示心脏、大血管等许多器官的动态图像,是超声诊断技术的一次重大突破,与此同时一种利用多普勒(Doppler)原理的超声多普勒检测技术迅速发展,从多普勒频谱曲线能计测多项血流动力学参数。20 世纪80 年代初期彩色多普勒血流显示(color Doppler flow imaging,CDFI)的出现,并把彩色血流信号叠加于二维声像图上,不仅能直观地显示心脏和血管内的血流方向和速度,并使多普勒频谱的取样成为快速便捷,20 世纪80~90 年代以来超声造影、二次谐波和三维超声的相继问世,更使超声诊断锦上添花。

第一节 超声波探伤的物理基础

一、基本知识

超声波是一种机械波,机械振动与波动是超声波探伤的物理基础。

物体沿着直线或曲线在某一平衡位置附近作往复周期性的运动,称为机械振动。振动的传播过程,称为波动。波动分为机械波和电磁波两大类。机械波是机械振动在弹性介质中的传播过程。超声波就是一种机械波。

机械波主要参数有波长、频率和波速。波长 λ :同一波线上相邻两振动相位相同的质点间的距离称为波长,波源或介质中任意一质点完成一次全振动,波正好前进一个波长的距离,常用单位为米(m);频率 f :波动过程中,任一给定点在1 秒钟内所通过的完整波的个数称

为频率,常用单位为赫兹(Hz);波速 C:波动中,波在单位时间内所传播的距离称为波速,常用单位为米/秒(m/s)。

由上述定义可得: $C=\lambda f$,即波长与波速成正比,与频率成反比;当频率一定时,波速愈大,波长就愈长;当波速一定时,频率愈低,波长就愈长。

次声波、声波和超声波都是在弹性介质中传播的机械波,在同一介质中的传播速度相同。它们的区别主要在于频率不同。频率在 20~20000Hz 的能引起人们听觉的机械波称为声波,频率低于 20Hz 的机械波称为次声波,频率高于 20000Hz 的机械波称为超声波。次声波、超声波不可闻。

超声探伤所用的频率一般在 0.5~10MHz,对钢等金属材料的检验,常用的频率为 1~5MHz。超声波波长很短,由此决定了超声波具有一些重要特性,使其能广泛用于无损探伤。

1.方向性好 超声波是频率很高、波长很短的机械波,在无损探伤中使用的波长为毫米级;超声波像光波一样具有良好的方向性,可以定向发射,易于在被检材料中发现缺陷。

2.能量高 由于能量(声强)与频率平方成正比,因此超声波的能量远大于一般声波的能量。

3.能在界面上产生反射、折射和波型转换 超声波具有几何声学的一些特点,如在介质中直线传播,遇界面产生反射、折射和波型转换等。

4.穿透能力强 超声波在大多数介质中传播时,传播能量损失小,传播距离大,穿透能力强,在一些金属材料中其穿透能力可达数米。

二、波的类型及波速测量

(一)波的类型

根据波动传播时介质质点的振动方向相对于波的传播方向的不同,可将波动分为纵波、横波、表面波和板波等。

1.纵波 L

介质中质点的振动方向与波的传播方向互相平行的波,称为纵波,用 L 表示。

当介质质点受到交变拉压应力作用时,质点之间产生相应的伸缩形变,从而形成纵波;凡能承受拉伸或压缩应力的介质都能传播纵波。固体介质能承受拉伸或压缩应力;液体和气体虽不能承受拉伸应力,但能承受压应力产生容积变化。因此固体、液体和气体都能传播纵波。钢中纵波声速一般为 5960m/s。纵波一般应用于钢板、锻件探伤。

2.横波 S(T)

介质中质点的振动方向与波的传播方向互相垂直的波,称为横波,用 S 或 T 表示。当介质质点受到交变的剪切应力作用时,产生剪切形变,从而形成横波;只有固体介质才能承受剪切应力,液体和气体介质不能承受剪切应力,因此横波只能在固体介质中传播,不能在液体和气体介质中传播。钢中横波声速一般为 3230m/s。横波一般应用于焊缝、钢管探伤。

3.表面波 R

当介质表面受到交变应力作用时,产生沿介质表面传播的波,称为表面波,常用 R 表示。又称瑞利波。

表面波在介质表面传播时,介质表面质点作椭圆运动,椭圆长轴垂直于波的传播方向,短轴平行于波的传播方向;椭圆运动可视为纵向振动与横向振动的合成,即纵波与横波的合成,因此表面波只能在固体介质中传播,不能在液体和气体介质中传播。

表面波的能量随深度增加而迅速减弱,当传播深度超过两倍波长时,质点的振幅就已经很小了,因此,一般认为表面波探伤只能发现距工件表面两倍波长深度内的缺陷。表面波一般应用于钢管探伤。

4.板波

在板厚与波长相当的薄板中传播的波,称为板波。根据质点的振动方向不同可将板波分为 SH 波和兰姆波。板波一般应用于薄板、薄壁钢管探伤。

(二)超声波声速测量

对探伤人员来说,用探伤仪测量声速是最简便的,用这种方法测声速,可用单探头反射法或双探头穿透法;可用于测纵波声速和横波声速。

1.反射法测纵波声速

声速按下式计算:

$$\text{声速 } C=2d/(T_1-t); t=2T_1 - T_2$$

式中 d ——工件厚度;

t ——由探头晶片至工件表面传输时间;

T_1 ——由探头晶片至工件底一次波传输时间;

T_2 ——由探头晶片至工件底二次波传输时间;

2.穿透法测纵波声速

声速按下式计算:

$$\text{声速 } C=d/(T_1-t); t=2T_1 - T_2$$

式中 d ——工件厚度;

t ——由探头晶片至工件表面传输时间;

T_1 ——由探头晶片至工件底一次波传输时间;

T_2 ——由探头晶片至工件底二次波传输时间;

3.反射法测横波声速

用半圆弧测横波声速,按下式计算:

$$\text{声速 } C=2d/(T_1-t); t=2T_1 - T_2$$

式中 d ——半圆半径长度;

t ——由探头晶片至半圆弧探测面传输时间;

T_1 ——由探头晶片至圆弧面一次波传输时间;

T_2 ——由探头晶片至圆弧面二次波传输时间;

三、波的若干概念

(一)波的迭加与干涉

1.波的迭加原理

当几列波在同一介质中传播时,如果在空间某处相遇,则相遇处质点的振动是各列波引起振动的合成,在任意时刻该质点的位移是各列波引起的位移的矢量和。几列波相遇后仍保持自己原有的频率、波长、振动方向等特性并按原来的传播方向继续前进,好像在各自的途中没有遇到其他波一样,这就是波的迭加原理,又称波的独立性原理。

波的迭加现象可以从许多事实观察到,如两石子落水,可以看到两个石子入水处为中心的圆形水波的迭加情况和相遇后的传播情况。又如乐队合奏或几个人谈话,人们可以分辨出

各种乐器或各人的声音,这些都可以说明波传播的独立性。

2.波的干涉

两列频率相同,振动方向相同,位相相同或位相差恒定的波相遇时,介质中某些地方的振动互相加强,而另一些地方的振动互相减弱或完全抵消的现象叫做波的干涉现象。波的迭加原理是波的干涉现象的基础,波的干涉是波动的重要特征。在超声波探伤中,由于波的干涉,使超声波源附近出现声压极大极小值。

(二)惠更斯原理和波的衍射

1.惠更斯原理

如前所述,波动是振动状态的传播,如果介质是连续的,那么介质中任何质点的振动都将引起邻近质点的振动,邻近质点的振动又会引起较远质点的振动,因此波动中任何质点都可以看作是新的波源。据此惠更斯提出了著名的惠更斯原理:介质中波动传播到的各点都可以看作是发射子波的波源,在其后任意时刻这些子波的包迹就决定新的波阵面。

2.波的衍射(绕射)

波在传播过程中遇到与波长相当的障碍物时,能绕过障碍物边缘改变方向继续前进的现象,称为波的衍射或波的绕射。

当 $D < \lambda$ 时,波的绕射强,反射弱,缺陷回波很低,容易漏检;当 $D > \lambda$ 时,反射强,绕射弱,声波几乎全反射。

波的绕射对探伤即有利又不利。由于波的绕射,使超声波产生晶料绕射顺利地在介质中传播,这对探伤有利;但同时由于波的绕射,使一些小缺陷回波显著下降,以致造成漏检,这对探伤不利。一般超声波探伤灵敏度约为 $\lambda/2$ 。

(三)超声场的特征值

充满超声波的空间或超声振动所波及的部分介质,叫超声场;超声场具有一定的空间大小和形状,只有当缺陷位于超声场内时,才有可能被发现。描述超声场的特征值(即物理量)主要有声压、声强和声阻抗。

1.声压 P

2. 超声场中某一点在某一时刻所具有的压强 P_1 与没有超声波存在时的静态压强 P_0 差,称为该点的声压,用 P 表示($P = P_1 - P_0$)。

3.声压幅值 $p = \lambda c u = \lambda c (2\lambda f A)$ 。

其中 λ ——介质的密度;

c ——波速;

u ——质点的振动速度;

A ——声压最大幅值;

f ——频率。

超声场中某一点的声压的幅值与介质的密度、波速和频率成正比。在超声波探伤仪上,屏幕上显示的波高与声压成正比。

4.声阻抗 Z

超声场中任一点的声压 p 与该处质点振动速度 u 之比称为声阻抗,常用 Z 表示。

$$Z = p/u = \lambda c u / u = \lambda c$$

由上式可知,声阻抗的大小等于介质的密度与波速的乘积。由 $u = P/Z$ 可知,在同一压

下, Z 增加, 质点的振动速度下降。因此声阻抗 Z 可理解为介质对质点振动的阻碍用。超声波在两种介质组成的界面上的反射和透射情况与两种介质的声阻抗密切相关。

5. 声强 I

单位时间内垂直通过单位面积的声能称为声强, 常用 I 表示。

$$I = Zu^2/2 = P^2/(2Z)$$

当超声波传播到介质中某处时, 该处原来静止不动的质点开始振动, 因而具有动能。同时该处介质产生弹性变形, 因而也具有弹性位能, 声能为两者之和。声波的声强与频率平方成正比, 而超声波的频率远大于可闻声波。因此超声波的声强也远大于可闻声波的声强。这是超声波能用于探伤的重要原因。在同一介质中, 超声波的声强与声压的平方成正比。

(四) 分贝的概念与应用

1. 概念

由于在生产和科学实验中, 所遇到的声强数量级往往相差悬殊, 如引起听觉的声强范围为 $10^{-16} \sim 10^{-4}$ 瓦/厘米², 最大值与最小值相差 12 个数量级。显然采用绝对量来度量是不方便的, 但如果对其比值(相对量)取对数来比较计算则可大简化运算。分贝就是两个同量纲的量之比取对数后的单位。

通常规定引起听觉的最弱声强为 $I_1 = 10^{-16}$ 瓦/厘米² 作为声强的标准, 另一声强 I_2 与标准声强 I_1 之比的常用对数称为声强级, 单位是贝尔(BeL)。实际应用时贝尔太大, 故常取 1/10 贝尔即分贝(dB)来作单位。(如取自然对数, 则单位为奈培 NP)。

$$\lambda = \lg(I_2/I_1)(\text{Bel})$$

$$= 10 \lg(I_2/I_1) = 20 \lg(P_2/P_1)(\text{dB})$$

在超声波探伤中, 当超声波探伤仪的垂直线性较好时, 仪器屏幕上的波高与声压成正比。

$$\lambda = 20 \lg(P_2/P_1) = 20 \lg(H_2/H_1)(\text{dB})$$

这时声压基准 P_1 或波高基准 H_1 可以任意选取。

2. 应用

分贝用于表示两个相差很大的量之比显得很方便, 在声学 and 电学中都得到广泛的应用, 特别是在超声波探伤中应用更为广泛。例如屏上两波高的比较就常常用 dB 表示。

例如, 屏上一波高为 80%, 另一波高为 20%, 则前者比后者高。

$$\lambda = 20 \lg(H_2/H_1) = 20 \lg(80/20) = 12(\text{dB})$$

用分贝值表示回波幅度的相互关系, 不仅可以简化运算, 而且在确定基准波高以后, 可直接用仪器的增益值(数字机)或衰减量(模拟机)来表示缺陷波相对波高。

四、波的反射、透射及衰减

超声波从一种介质传播到另一种介质时, 在两种介质的分界面上, 一部分能量反射回原介质内, 称为反射波; 另一部分能量透过界面在另一种介质内传播, 称为透射波。在界面上声能(声压、声强)的分配和传播方向的变化都将遵循一定的规律。

(一) 单一界面的反射和透射

声能的变化与两种介质的声阻抗密切相关, 设波从介质 1(声阻抗 Z_1)入射到介质 2(声阻抗 Z_2), 有以下几种情况:

1. $Z_2 > Z_1$

声压反射率小于透射率。如水/钢界面。

2. $Z_1 > Z_2$

声压反射率大于透射率。如钢/水界面。

声强反射率及透射率只与 Z_1 、 Z_2 的数值有关,与从哪种介质入射无关。

3. $Z_1 \gg Z_2$

声压(声强)几乎全反射,透射率趋于 0。如钢/空气界面。

4. $Z_1 \ll Z_2$

此时几乎全透射,无反射。因此在焊缝探伤中,若母材与填充金属结合面没有任何缺陷,是会产生界面回波的。

(二)薄层界面的反射和透射

此情况主要对探头保护膜设计具有指导意义。

当超声波依次从三种介质 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 (如晶片—保护膜—工件)中穿过,则当薄层厚度等于半波长的整数倍时,通过薄层的声强透射与薄层的性质无关,即好像不存在薄层一样;当薄层厚度等于四分之一波长的奇数倍且薄层声阻抗为其两侧介质声阻抗几何平均值($Z_2 = (Z_1 Z_3)^{1/2}$)时,超声波全透射。

(三)波型转换和反射、折射定律

当超声波倾斜入射到界面时,除产生同种类型的反射和折射波外,还会产生不同类型的反射和折射波,这种现象称为波型转换。

1. 纵波斜入射

2. 横波入射

(四)超声波的衰减

超声波在介质中传播时,随着距离增加,超声波能量逐渐减弱的现象叫做超声波衰减。引起超声波衰减的主要原因是波束扩散、晶粒散射和介质吸收。

1. 扩散衰减

超声波在传播过程中,由于波束的扩散,使超声波的能量随距离增加而逐渐减弱的现象叫做扩散衰减。超声波的扩散衰减仅取决于波阵面的形状,与介质的性质无。

2. 散射衰减

超声波在介质中传播时,遇到声阻抗不同的界面产生散乱反射引起衰减的现象,称为散射衰减。散射衰减与材质的晶粒密切相关,当材质晶粒粗大时,散射衰减严重,被散射的超声波沿着复杂的路径传播到探头,在屏上引起林状回波(又叫草波),使信噪比下降,严重时噪声会湮没缺陷波。

3. 吸收衰减超声波在介质中传播时,由于介质中质点间内磨擦(即粘滞性)和热传导引起超声波的衰减,称为吸收衰减或粘滞衰减通常所说的介质衰减是指吸收衰减与散射衰减,不包括扩散衰减。

五、超声波发射声场和规则反射体的回波声压

超声波探头(波源)发射的超声场,具有特殊的结构,只有当缺陷位于超声场内时,才有可能被发现。

(一)圆盘波源辐射的纵波声场

在不考虑介质衰减的条件下,当离波源较远处轴线上的声压与距离成反比,与波源面积

成正比。

1.近场区

波源附件由于波的干涉而出现一系列声压极大极小值的区域,称为超声场的近场区。近场区声压分布不均,是由于波源各点至轴线上某点的距离不同,存在波程差,互相叠加时存在位相差而互相干涉,使某些地方声压互相加强,另一些地方互相减弱,于是就出现声压极大极小值的点。

波源轴线上最后一个声压极大值至波源的距离称为近场区长度,用 N 表示。

$$N=(D_s^2-\lambda^2)/(4\lambda)\lambda D_s^2/(4\lambda)$$

2.远场区

波源轴线上至波源的距离 $x > N$ 的区域称为远场区。远场区轴线上的声压随距离增加单调减少。当 $x > 3N$ 时,声压与距离成反比,近似球面波的规律。因为距离 x 足够大时,波源各点至轴线上某一点的波程差很小,引起的相位差也很小,这样干涉现象可以略去不计,所以远场区不会出现声压极大极小值。

3.近场区在两种介质中分布

实际探伤时,有时近场区分布在两种不同的介质中,如水浸探伤,超声波先进入水,然后再进入钢中,当水层厚度较小时,近场区就会分布在水、钢两种介质中。设水层厚度为 L ,则钢中剩余近场区长度 N 为:

$$N=D_s^2/(4\lambda)-Lc_1/c_2$$

式中 c_1 ——介质 1 水中波速;

c_2 ——介质 2 钢中波速;

λ ——介质 2 钢中波长。

在近场区内,实际声场与理想声场存在明显区别,实际声场轴线上声压虽也存在极大极小值,但波动幅度小,极值点的数量也明显减少。

(二)横波声场

目前常用的横波探头,是使纵波斜入射到界面上,通过波形转换来实现横波探伤的,当入射角在第一、第二临界角之间时,纵波全反射,第二介质中只有折射横波。横波声场同纵波声场一样由于波的干涉存在近场区和远场区,当 $x \geq 3N$ 时,波束轴线上的声压与波源面积成正比,与至假想波源的距离成反比,类似纵波声场。当横波探头晶片尺寸一定时, K 值增大,近场区长度将减小。

(三)规则反射体的回波声压

在实际探伤中一般采用反射法,即根据缺陷反射回波声压的高低来评价缺陷的大小。然而工件中的缺陷形状性质各不相同,目前的探伤技术还难以确定缺陷的真实大小和形状,回波声压相同的缺陷的实际大小可能相差很大,为此特引用当量法;当量法是指在同样的探测条件下,当自然缺陷回波与某人工规则反射体回波等高时,则该人工规则反射体的尺寸就是此自然缺陷的当量尺寸。自然缺陷的实际尺寸往往大于当量尺寸。

超声波探伤中常用的规则反射体有平底孔、长横孔、短横孔、球孔和大平底面等。

(四)AVG 曲线

AVG 曲线是描述规则反射体的距离、回波高及当量大小之间关系的曲线; A 、 V 、 G 是德文距离、增益和大小的字头缩写,英文缩写为 DGS。AVG 曲线可用于对缺陷定量和灵敏度调整。

以横坐标表示实际声程,纵坐标表示规则反射体相对波高,用来描述距离、波幅、当量大小之间的关系曲线,称为实用 AVG 曲线。实用 AVG 曲线可由以下公式得到;不同距离的大平底回波 dB 差。

$$\Delta=20\lg PB1/PB2=20\lg X2/X1$$

不同距离的不同大小平底孔回波 dB 差

$$\Delta=20\lg Pf1/Pf2=40\lg Df1X2/Df2X1$$

同距离的大平底与平底孔回波 dB 差

$$\Delta=20\lg PB/Pf=20\lg 2\lambda X/\pi DfDf$$

用以上公式计算绘制实用 AVG 曲线时,要统一灵敏度基准。

六、仪器、探头和试块

超声波探伤仪、探头和试块是超声波探伤的重要设备,了解这些设备的原理、构造和作用及其主要性能的测试方法是正确选用探伤设备进行有效探伤的保证。

(一)超声波探伤仪

1.作用

超声波探伤仪的作用是产生电振荡并加于换能器(探头)上,激励探头发射超声波,同时将探头送回的电信号进行放大,通过一定方式显示出来,从而得到被探工件内部有无缺陷及缺陷位置和大小等信息。

2.分类

按缺陷显示方式分类,超声波探伤仪分为三种。

A 型:A 型显示是一种波形显示,探伤仪的屏幕的横坐标代表声波的传播距离,纵坐标代表反射波的幅度。由反射波的位置可以确定缺陷位置,由反射波的幅度可以估算缺陷大小。

B 型:B 型显示是一种图象显示,屏幕的横坐标代表探头的扫查轨迹,纵坐标代表声波的传播距离,因而可直观地显示出被探工件任一纵截面上缺陷的分布及缺陷的深度。

C 型:C 型显示也是一种图象显示,屏幕的横坐标和纵坐标都代表探头在工件表面的位置,探头接收信号幅度以光点辉度表示,因而当探头在工件表面移动时,屏上显示出被探工件内部缺陷的平面图象,但不能显示缺陷的深度。

目前,探伤中广泛使用的超声波探伤仪都是 A 型显示脉冲反射式探伤仪。

3.A 型脉冲反射式模拟超声波探伤仪的一般原理

(二)探头

超声波的发射和接收是通过探头来实现的。下面介绍探头的工作原理、主要性能及其结构。

1.压电效应

某些晶体材料在交变拉压应作用下,产生交变电场的效应称为正压电效应。反之当晶体材料在交变电场作用下,产生伸缩变形的效应称为逆压电效应。正、逆压电效应统称为压电效应。

超声波探头中的压电晶片具有压电效应,当高频电脉冲激励压电晶片时,发生逆压电效应,将电能转换为声能(机械能),探头发射超声波。当探头接收超声波时,发生正压电效应,将声能转换为电能。不难看出超声波探头在工作时实现了电能和声能的相互转换,因此常把探头叫做换能器。

2.探头的种类和结构

直探头用于发射和接收纵波,主要用于探测与探测面平行的缺陷,如板材、锻件探伤等。

斜探头可分为纵波斜探头、横波斜探头和表面波斜探头,常用的是横波斜探头。横波斜探头主要用于探测与探测面垂直或成一定角度的缺陷,如焊缝、汽轮机叶轮等。

当斜探头的入射角大于或等于第二临界角时,在工件中产生表面波,表面波探头用于探测表面或近表面缺陷。

双晶探头有两块压电晶片,一块用于发射超声波,另一块用于接收超声波。根据入射角不同,分为双晶纵波探头和双晶横波探头。

双晶探头具有以下优点:①灵敏度高。②杂波少盲区小。③工件中近场区长度小。④探测范围可调。

双晶探头主要用于探伤近表面缺陷。

聚焦探头种类较多。

3.探头型号

探头型号的组成项目及排列顺序如下:基本频率-晶片材料-晶片尺寸-探头种类-特征。

(三)试块

按一定用途设计制作的具有简单几何形状人工反射体的试样,通常称为试块。试块和仪器、探头一样,是超声波探伤中的重要工具。

1.试块的作用

(1)确定探伤灵敏度

超声波探伤灵敏度太高或太低都不好,太高杂波多,判伤困难,太低会引起漏检。因此在超声波探伤前,常用试块上某一特定的人工反射体来调整探伤灵敏度。

(2)测试探头的性能

超声波探伤仪和探头的一些重要性能,如放大线性、水平线性、动态范围、灵敏度余量、分辨力、盲区、探头的入射点、K 值等都是利用试块来测试的。

(3)调整扫描速度

利用试块可以调整仪器屏幕上水平刻度值与实际声程之间的比例关系,即扫描速度,以便对缺陷进行定位。

(4)评判缺陷的大小

利用某些试块绘出的距离-波幅-当量曲线(即实用 AVG)来对缺陷定量是目前常用的定量方法之一。特别是 3N 以内的缺陷,采用试块比较法仍然是最有效的定量方法。此外还可利用试块来测量材料的声速、衰减性能等。

2.试块的分类

(1)按试块来历分为:标准试块和参考试块。

(2)按试块上人工反射体分:平底孔试块、横孔试块和槽形试块

3.试块的要求和维护

4.常用试块简介(仪器使用时重点讲解):IIW(CSK-IA)、CS-1、CSK-III A。

七、仪器和探头的性能及其测试

仪器和探头的性能包括仪器的性能、探头的性能以及仪器与探头的综合性能。仪器的性能仅与仪器有关,如仪器的垂直线性、水平线性和动态范围等。探头的性能仅与探头有关,如