

陈照峰 主编

Materials Science

高等学校教材 · 材料科学与工程

无损检测

NONDESTRUCTIVE
EXAMINATION

西北工业大学出版社

高等学校教材·材料科学与工程

WUSUN JIANCE

无损检测

陈照峰 主编



西北工业大学出版社

【内容简介】 本书内容包括超声波检测、射线检测、涡流检测、磁粉检测、激光检测、渗透检测、声振检测、微波检测、声发射检测、红外检测、工业 CT 检测和核磁共振检测等 12 种常用检测技术。各章重点阐述无损检测的原理、方法和特点,部分章节对无损检测相片中的缺陷形貌进行了详细的讲解,是目前较为全面地概括无损检测传统方法及其新兴技术的专门教材。本书注重理论、原理、仪器、方法的结合,融合多学科知识,具有基础性强、应用面广的特点。

本书可作为航空、航天、船舶、机械、材料、电子、土木工程或相关专业的本科生教材,也可供从事无损检测技术研发、生产、应用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无损检测/陈照峰主编. —西安:西北工业大学出版社,2015.7

ISBN 978-7-5612-4478-4

I. ①无… II. ①陈… III. ①无损检验—高等学校—教材 IV. ①TG115.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 170008 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpup.com

印刷者:兴平市博闻印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:11.25

字数:268 千字

版次:2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

定价:28.00 元

前 言

无损检测是利用声、光、电、磁等基本物理现象,对构件进行相应的物理场作用,获得构件内部、表面的图像、尺寸或物理波的强度,通过与标准件对比,确定构件中缺陷位置和大小、化学成分和组织结构、疲劳强度以及服役周期的方法,从而判断被检物的质量状况。无损检测因其采用物理方法的特点,对材料、构件没有损伤,已广泛应用于航空、航天、高铁、舰船、石化等关系到人民的生命安全和生产安全的重要部门。无损检测技术是一门综合工程技术,是控制产品质量、保证设备安全运行的极为重要的技术手段。目前,无损检测已从单纯的探伤,发展到质检和性能评价,并对生产环节进行指导,以提高产品质量的可靠性。

现有的无损检测课程教材有的偏重于原理,有的偏重于方法,有的仅介绍了传统的几种技术,没有把最新的无损检测技术展现出来。大中专学生,尤其是非无损检测专业的大学生仅通过一门课程无法获得全面的无损检测知识。但是在企业里,无损检测技术又是品质管理的制胜工具和关键环节。因此,基于高校大类招生、综合培养的教学特点,以及各学科、专业广泛设置无损检测课程的现状,迫切要求一本融合传统与现代无损检测技术的较为全面、系统的教材,本书就是在这样的背景下编写的。

本书由陈照峰编写。管胜男、叶信立、王少刚、李斌斌、李世广、谭彦、赵琳、王昊坤、郑逸超为本书的文字、图、表录入提供了帮助,向他们表示感谢。在本书编写过程中,参考了相关的图书和期刊资料,在此特向这些文献的作者表示衷心的感谢。

由于水平有限,疏漏之处在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2015年6月

目 录

第 1 章 超声波检测	1
第 1 节 超声波检测的基础知识	1
第 2 节 超声波检测的基本原理	6
第 3 节 超声波检测方法	12
第 4 节 超声波检测技术	20
复习思考题	26
参考文献	26
第 2 章 射线检测	27
第 1 节 射线检测的基础知识	27
第 2 节 X 射线检测的基本原理	32
第 3 节 常见缺陷及其影像特征	42
第 4 节 射线的防护	46
复习思考题	47
参考文献	47
第 3 章 涡流检测	48
第 1 节 涡流检测的基础知识	48
第 2 节 涡流检测的基本原理	53
第 3 节 涡流检测技术	54
第 4 节 涡流检测应用	59
复习思考题	64
参考文献	64
第 4 章 磁粉检测	65
第 1 节 磁粉检测的基础知识	65
第 2 节 磁粉检测的基本原理	68
第 3 节 磁粉检测技术	75
复习思考题	81
参考文献	81
第 5 章 激光检测	82
第 1 节 激光检测的基础知识	82
第 2 节 激光全息照相检测的基本原理	84

第3节 激光全息检测方法	85
复习思考题	89
参考文献	89
第6章 渗透检测	90
第1节 渗透检测的基础知识	90
第2节 渗透检测的基本原理	92
第3节 渗透检测方法	93
复习思考题	100
参考文献	100
第7章 声振检测	101
第1节 声振检测的基础知识	101
第2节 声振检测的基本原理	104
第3节 声振检测方法	107
第4节 声振检测应用	110
复习思考题	112
参考文献	112
第8章 微波检测	113
第1节 微波检测的基础知识	113
第2节 微波检测的基本原理	119
第3节 微波检测方法	120
复习思考题	124
参考文献	124
第9章 声发射检测	125
第1节 声发射检测的基础知识	125
第2节 声发射检测的基本原理	127
第3节 声发射检测方法	132
复习思考题	137
参考文献	137
第10章 红外检测	138
第1节 红外检测的基础知识	138
第2节 红外检测的基本原理	141
第3节 红外检测方法	145
复习思考题	149
参考文献	150

第 11 章 工业 CT 检测	151
第 1 节 工业 CT 检测的基础知识	151
第 2 节 工业 CT 检测的基本原理	154
第 3 节 工业 CT 检测应用	158
复习思考题	161
参考文献	161
第 12 章 核磁共振检测	162
第 1 节 核磁共振检测的基础知识	162
第 2 节 核磁共振检测的基本原理	165
第 3 节 核磁共振检测应用	170
复习思考题	172
参考文献	172

第 1 章 超声波检测

超声波是指频率高于 20 kHz, 在弹性介质中传播的机械波, 具有方向性好, 能量高, 穿透能力强, 对人体无害, 能在界面上产生折射、反射和波形转换等特点。超声波检测就是利用超声波在构件中的传播和反射原理, 通过测量声波强度变化, 以探测构件内部缺陷的大小、性质、位置及材质的某些物理性能。

第 1 节 超声波检测的基础知识

一、超声波的发射与接收

超声波产生的基础是逆压电效应。如图 1-1 所示, 若对压电晶体沿着电轴向施加适当的交变信号, 在电场作用下, 会引起压电晶体内部正负电荷中心位移, 这一极化位移使材料内部产生应力, 导致压电晶体发生交替的压缩和拉伸, 从而产生振动。若把晶体耦合到弹性介质上, 则晶体将成为一个超声源, 将超声波辐射到弹性介质中去。超声波传感器就是利用压电晶体的逆压电效应将脉冲电压转换成超声波脉冲, 从而构成超声波源。

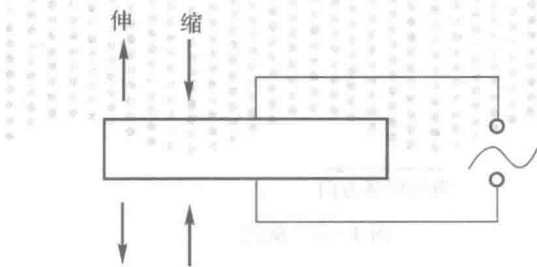


图 1-1 超声波的发射与接收

超声波接收的基础是正压电效应。压电晶体在外部拉力或压力的作用下, 引起晶体内部原来重合的正负电荷中心发生相对位移, 在相应表面上表现为符号相反的表面电荷, 其电荷密度与应力成正比。由于超声波能在压电晶体上产生一定大小的声压, 从而在压电晶体两端产生正比于声压的压电信号。超声波脉冲回波能在超声波传感器上产生相应的脉冲电压信号, 压电晶体利用此原理可确定超声回波的大小。

二、超声波的分类

超声波在弹性介质中传播时, 根据介质质点的振动方向与波的传播方向之间的关系, 可将超声波分为以下 4 种波型。

1. 纵波 L

介质中质点的振动方向与波的传播方向相同的波叫纵波,用 L 表示,如图 1-2 所示。介质质点在交变拉压应力的作用下,质点间产生相应的伸缩变形,从而形成了纵波。因为弹性力是由于弹性介质体积发生变化而产生的,所以纵波在固体、液体和气体中均能传播。

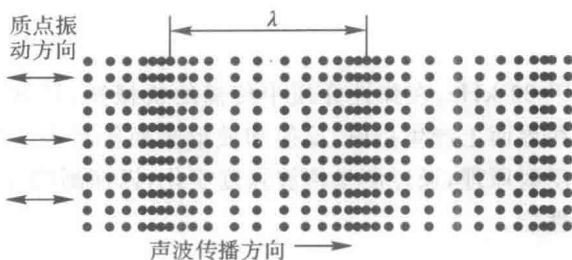


图 1-2 纵波

2. 横波 T

介质中质点的振动方向垂直于波的传播方向的波叫横波,用 T 表示,如图 1-3 所示。介质质点受到交变切应力时,产生剪切形变,从而形成了横波。由于液体和气体中只具有体积弹性,而不具有剪切弹性,所以横波只能在固体中传播,不能在液体、气体中传播。

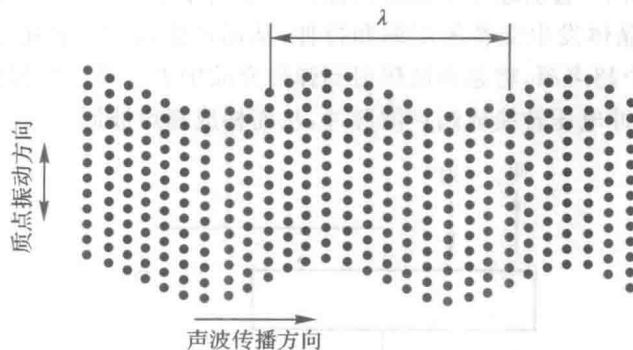


图 1-3 横波

3. 表面波 S

超声波沿固体介质表面传递,传声介质的质点沿椭圆形轨迹振动的波叫表面波,用 S 表示,如图 1-4 所示。表面波仅限于材料表面传播,超过一个波长的深度时,能量急剧下降。此外,质点振动平面与波的传播方向相平行时称 SH 波,如图 1-5 所示,也是一种沿介质表面传播的波。

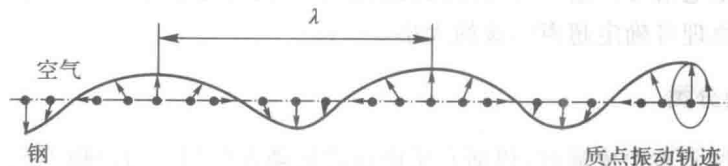


图 1-4 表面波

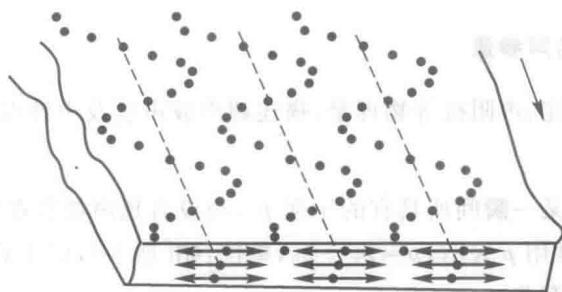


图 1-5 SH 波

4. 板波 P

在板厚和波长相当的弹性薄板中传播的超声波叫板波或兰姆波,用 P 表示。板波是一种由纵波与横波叠加合成,以特定频率被封闭在特定有限空间内产生的制导波(guide wave)。板波在薄板中传递时,薄板上下表面层质点沿椭圆形轨迹振动,而薄板中层的质点将以纵波分量或横波分量形式振动,从而构成全板振动,这是薄金属板材板波检测的显著特征。根据薄板中层的质点是以纵波分量或横波分量形式振动,可以分为对称型板波和非对称型板波两种类型的板波,如图 1-6 所示。在细棒和薄壁管中也能激发出兰姆波,其模式有扭曲波、膨胀波等。

超声波主要的分类方法还有,按波振面的形状分类、按振动的持续时间分类等(见图 1-7)。

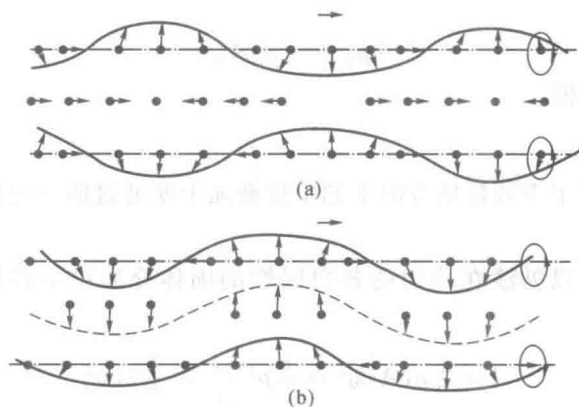


图 1-6 板波

(a) 对称型板波; (b) 非对称型板波

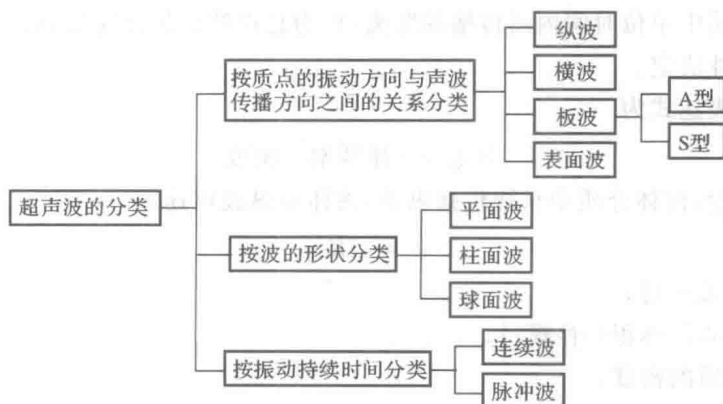


图 1-7 超声波的分类

三、超声场及介质的声参量

常用声压、声强、声速、声阻抗等物理量,描述超声波声场及声波在介质中的传播特性。

(一) 声压 p

超声场中某一点在某一瞬间所具有的压强 p_1 ,与没有超声场存在时同一点的静态压强 p_0 之差叫作该点的声压,常用 p 表示, $p = p_1 - p_0$, 单位: 帕[斯卡], 记作 Pa。声压与介质密度、声速及质点振动瞬时速度有关。

对于平面余弦波, 有

$$p = \rho c A \omega \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) + \frac{\pi}{2} \right] \quad (1-1)$$

式中 ρ ——介质的密度;
 c ——介质中的波速;
 A ——介质质点的振幅;
 ω ——介质中质点振动的圆频率 ($\omega = 2\pi f$);
 t ——时间;
 x ——至波源的距离。

且有

$$|p_m| = |\rho c A \omega| \quad (1-2)$$

式中, p_m 为声压的极大值。

(二) 声强 I

单位时间内在垂直于声波传播方向上的单位截面上所通过的声能称为声强, 常用 I 表示, 单位: W/cm^2 。

声强与声压有关。以纵波在均匀的各向同性的固体介质中的传播为例, 可证明平面波传播:

$$I = \frac{1}{2} \rho c A^2 \omega^2 = \frac{1}{2} p_m^2 \frac{1}{\rho c} = \frac{1}{2} \rho c v_m^2 \quad (1-3)$$

式中, v_m 为质点振动的速度振幅 ($v_m = A\omega$)。

(三) 声速 c

超声波在介质中单位时间内所传播的距离, 称为超声波的传播速度, 简称声速。声速由振动特性及介质特性决定。

声速的一般表达式为

$$\text{声速} = \sqrt{\text{弹性率} / \text{密度}} \quad (1-4)$$

根据声学理论, 液体介质中只能传播纵波, 液体中纵波声速为

$$c_L = \sqrt{K/\rho} \quad (1-5)$$

式中 c_L ——纵波声速;

K ——介质的体积弹性模量;

ρ ——介质的密度。

在无限大固体介质中, 纵波声速 c_L 可表示为

$$c_L = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}} = \sqrt{\frac{K+4/3G}{\rho}} \quad (1-6)$$

横波声速 c_T 为

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

表面波声速 c_s 为

$$c_s = \frac{0.87 + 1.12\sigma}{1 + \sigma} \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1-8)$$

式中 E ——介质的杨氏模量；

σ ——介质的泊松比；

G ——介质的切变模量。

通常可认为横波声速约为纵波声速的一半。表面波声速约为横波声速的 90%，故又称表面波为慢波。

(四) 声阻抗 Z

超声波在介质中传播时，任一点的声压 p 与该点速度振幅 v 之比叫声阻抗，常用 Z 表示，单位为 $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ，有

$$Z = \frac{p}{v} \quad (1-9)$$

声阻抗表示声场中介质对质点振动的阻碍作用。在同一声压下，介质的声阻抗愈大，质点的振动速度就愈小。即使同是固体介质或液体介质，介质成分不同其声阻抗亦不同。同一种介质中，若波型不同则声阻抗也不同。当超声波由一种介质传入另一种介质，或是从介质的界面上反射时，透过或反射特性主要取决于这两种介质的声阻抗。

在所有传声介质中，气体、液体和固体的声阻抗相差较大，通常认为气体的密度约为液体密度的千分之一，为固体密度的万分之一。实验证明，气体、液体与金属之间特性声阻抗之比接近于 1 : 3 000 : 8 000。

四、近场区和远场区

超声波检测中使用的超声波探头，其主要部件是由压电材料做成的压电晶片，通常将直探头所产生的超声场作为圆形活塞声源来处理。

在不考虑介质衰减的条件下，对于圆盘源辐射的纵波声场，在轴线上任一点的声压振幅可表示为

$$p = 2p_0 \sin \left[\frac{\pi}{\lambda} (\sqrt{R_s^2 + R^2} - R) \right] \quad (1-10)$$

式中 p ——轴线上距离声源 R 处的声压；

p_0 ——点源处的起始声压；

λ ——波长；

R_s ——圆盘源半径；

R ——轴线上某一点到声源的距离。

在超声理论中，将声压分布分成了两个区：近场区和远场区。

1. 近场区

波源附近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,又叫菲涅耳区。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,互相迭加时存在相位差而互相干涉,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。

近场区长度取决于声源的尺寸和声波波长。

当 $\left(\frac{\pi}{\lambda}\right)(\sqrt{R_s^2 + R^2} - R) = (2n+1)\left(\frac{\pi}{2}\right)$ ($n=0,1,2,\dots$) 时,声压有最大值,在轴线上的坐标为

$$R_1 = \frac{4R_s^2 - \lambda^2(2n+1)^2}{4\lambda(2n+1)} \quad (1-11)$$

当 $n=0$ 时,有

$$R_1 = N = \frac{R_s^2}{\lambda} - \frac{\lambda}{4} \quad (1-12)$$

当 $R \leq N$ 时,该范围的声场是近场区,由式(1-12)可知,近场区长度与波源面积成正比,与波长成反比。近场区对于定量探伤是不利的,处于声压极小处的较大缺陷回波可能较低,而处于声压极大处的较小缺陷回波可能较高,这样就容易引起误判,甚至漏检,因此,应尽可能避免在近场区定量探伤。

2. 远场区

波源轴线上至波源的距离 $R > N$ 的区域称为远场区,远场区轴线上的声压随距离增加而单调减少。

当 $4\lambda R/R_s^2 > 3$ 时,声压已稳定,随距离的增加而衰减,符合球面波的衰减规律,这一声场范围称为远场区。通常要求超声波检测的声场范围在远场区,即选择参数时要满足:

$$R \geq \frac{3R_s^2}{4\lambda} \quad (1-13)$$

因为只有距离足够大时,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,这样干涉现象可略去不计,所以远场区轴线上不会出现声压极大、极小值。

波束扩散角可以近似为

$$\theta_0 \approx \frac{\lambda}{D} \quad (1-14)$$

式中, D 为圆形活塞声源直径。由式(1-14)可见,声源尺寸越大,得到的声场指向性越好,也即得到的横向分辨率越高。超声信号的频率越高,其声场波束越窄。

第2节 超声波检测的基本原理

一、超声波在介质中的传播特性

超声波在无限大的介质中传播时,不改变方向。但当遇到声阻抗差异较大的异质界面时,就会产生反射和透射,一部分超声波在界面上被反射回第一介质,另一部分超声波透过介质界

面进入到第二种介质中。

(一) 超声波垂直入射到平面界面上的反射和透射

当超声波垂直入射到一个足够大的光滑平面界面上时,会在第一介质中产生一个与入射波方向相反的反射波,在第二介质中产生一个与入射方向相同的透射波。反射波与透射波的声压和声强按一定比例分配,由声压反射率或声强反射率和声压透射率或声强透射率来表示。

1. 声压反射率

声压反射率是界面上反射波声压 p_r 与入射波声压 p_0 的比值,用符号 r 来表示,则有

$$r = \frac{p_r}{p_0} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (1-15)$$

式中 Z_1 ——介质 1 的声阻抗;

Z_2 ——介质 2 的声阻抗。

2. 声压透射率

声压透射率是界面上透射波声压 p_t 与入射波声压 p_0 的比值,用符号 t 来表示,则有

$$t = \frac{p_t}{p_0} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (1-16)$$

3. 声强反射率

声强反射率是界面上反射波声强 I_r 与入射波声强 I_0 的比值,用符号 R 表示,则有

$$R = \frac{I_r}{I_0} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \quad (1-17)$$

4. 声强透射率

声强透射率是界面上透射波声强 I_t 与入射波声强 I_0 的比值,用符号 T 表示,则有

$$T = \frac{I_t}{I_0} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad (1-18)$$

以上说明声波垂直入射到平面界面上时,声压和声强的分配比例仅与界面两侧介质的声阻抗有关。当声波垂直入射时,介质两侧的声波必须满足下述边界条件。

(1) 一侧总声压等于另一侧总声压,否则界面两侧受力不等,将会发生界面运动。

(2) 两侧质点速度振幅相等,以保持波的连续性。

在实际检测中,有如下几种情况:

(1) 当 $Z_1 = Z_2$ 时,不产生反射波,可以视为全透射,即 $p_0 = p_t$;

(2) 当 $Z_1 \approx Z_2$ 时(反射率 $r < 0.0005$),则可认为基本上不产生反射波,即 $p_0 \approx p_t$;

(3) 当 $Z_1 > Z_2$ ($t > r$) 时,超声波由声阻抗高的介质射向声阻抗低的介质,反射声压 p_r 与入射声压 p_0 符号相反,表示声波相位产生变化,且透射声压小于反射声压,如图 1-8(a) 所示;

(4) 当 $Z_2 > Z_1$ ($t > 1$) 时,超声波由声阻抗低的介质射向声阻抗高的介质,反射声压 p_r 与入射声压 p_0 符号相同,相位也相同,透射声压大于入射声压,如图 1-8(b) 所示。

超声波纵波垂直入射到单一平面界面上的声压、声强与其反射率、透射率的计算公式,同样适用于横波入射的情况。但在固-液、固-气界面上,横波将发生全反射,这是因为横波不能在液体和气体中传播。

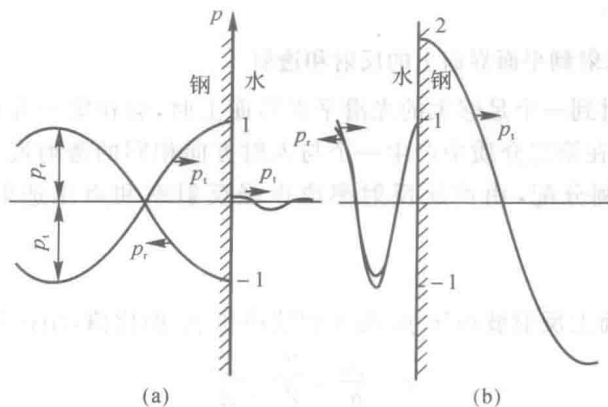


图 1-8 在水-钢界面上的反射和透射声压值

(a) 钢-水入射; (b) 水-钢入射

(二) 超声波倾斜入射到平面界面上的反射和透射

超声波检测时,经常会遇到耦合层和缺陷薄层等问题,这些都可以归结为超声波在薄层界面的反射和透射问题。

在实际检测中,探头与工件之间有气隙时,由于探头、工件的声阻抗和空气声阻抗相差特别大,超声波极难传播。如果是油层或水层,超声波在薄层中就能传播。但超声波在薄层介质中的反射和透射较为复杂,不可能用某一个数值简单地表示。超声波通过异质薄层时的声压反射率和透射率不仅与介质声阻抗和薄层声阻抗有关,而且与薄层厚度同其波长之比(d_2/λ_2)有关。

超声波在厚度较大的薄层中能产生多次反射,如图 1-9 所示。当入射波脉冲宽度很狭窄时,可以看到反射声波和透射声波能分成多个脉冲。但在一般情况下,这些波会重叠在一起,产生干涉现象,以致反射声波和多次透射声波的大小产生变化。简单来讲,薄层厚度略有变化,透射声波大小就会产生变化,而且脉冲宽度会变得较宽。

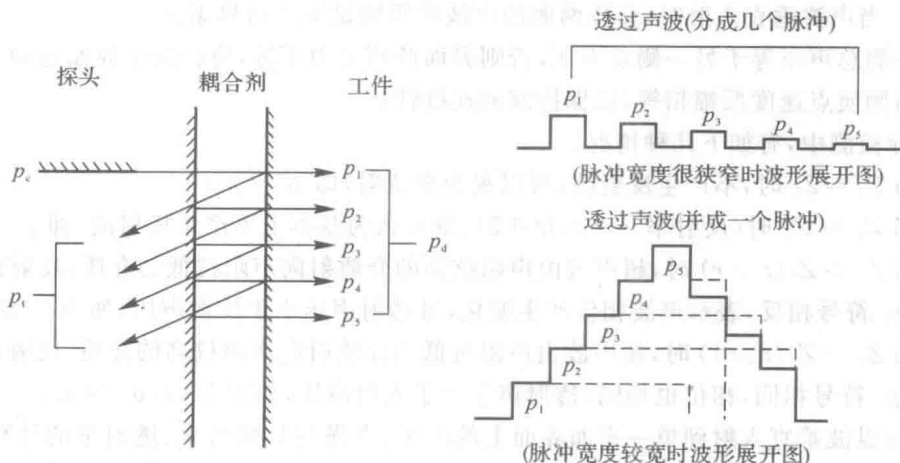


图 1-9 超声波在薄层介质中的反射和透射

因此,在实际超声波检测中,要求探头与工件接触稳定。如果探头与工件接触不稳定,超

声波检测结果的判定,就不能简单凭缺陷反射回波大小下结论。

1. 斯涅耳定律

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,这种现象称为波形转换,如图1-10所示。

从图1-10可知,当超声纵波L倾斜入射到固-固界面时,除产生反射纵波L'和折射纵波L''外,还会产生反射横波S'和折射横波S''。各种反射波和折射波按几何光学原理符合反射、折射定律:

$$\frac{\sin \alpha_L}{C_{L1}} = \frac{\sin \alpha'_L}{C_{L1}} = \frac{\sin \alpha'_S}{C_{S1}} = \frac{\sin \beta_L}{C_{L2}} = \frac{\sin \beta_S}{C_{S2}} \quad (1-19)$$

式中 C_{L1}, C_{S1} ——第一介质中的纵波、横波波速;

C_{L2}, C_{S2} ——第二介质中的纵波、横波波速;

α_L, α'_L ——纵波入射角、反射角;

β_L, β_S ——纵波、横波折射角;

α'_S ——横波反射角。

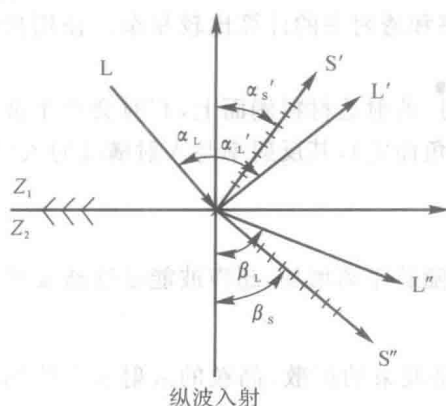


图 1-10 倾斜入射

2. 临界角

(1) 第一临界角 α_I 。当 $C_{L2} > C_{L1}$ 时, $\beta_L > \alpha_L$, 令 $\beta_L = 90^\circ$, 这时所对应的纵波入射角称为第一临界角, 用 α_I 表示(见图1-11(a)), 则

$$\alpha_I = \arcsin \frac{C_{L1}}{C_{L2}} \quad (1-20)$$

(2) 第二临界角 α_{II} 。当 $C_{S2} > C_{L1}$ 时, $\beta_S > \alpha_L$, $\beta_S = 90^\circ$, 这时所对应的纵波入射角称为第二临界角, 用 α_{II} 表示(见图1-11(b)), 则

$$\alpha_{II} = \arcsin \frac{C_{L1}}{C_{S2}} \quad (1-21)$$

由 α_I 和 α_{II} 的定义可知:

① 当 $\alpha_L < \alpha_I$ 时, 第二介质中既有折射纵波 L'' 又有折射横波 S'' 。

② 当 $\alpha_L = \alpha_I \sim \alpha_{II}$ 时, 第二介质中只有折射横波 S'' , 没有折射纵波 L'' 。这就是常用横波探头的制作原理。

③ 当 $\alpha_L \geq \alpha_{II}$ 时, 第二介质中既无折射纵波 L'' , 又无折射横波 S'' 。这时在其介质的表面存在表面波 R , 这就是常用表面波探头的制作原理。

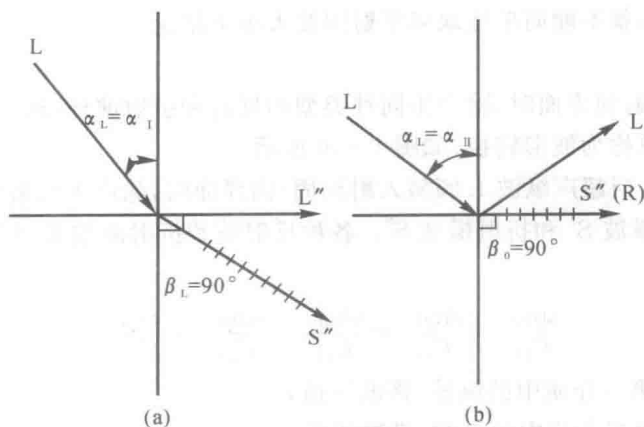


图 1-11 临界角

(a) 第一临界角 α_I ; (b) 第二临界角 α_{II}

(三) 声压反射率和透射率

声波倾斜入射时的反射率和透射率的计算比较复杂。使用折射横波检测时,其透射率随折射角的变化而变化。

横波在固体材料内传播时,若射达材料侧面上,有时会产生波形转换,从而可能产生反射纵波和反射横波(视横波入射角而定),其反射率与入射横波的入射角有关。

二、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作超声波衰减。

(一) 衰减的机理

超声波衰减的主要因素是波束的扩散、晶粒的散射和介质的吸收,以及其引起的扩散衰减、散射衰减和吸收衰减。

1. 扩散衰减

扩散衰减是指超声波在传播过程中,由于波束的扩散,超声波的能量随距离增加而逐渐减弱的现象。超声波的扩散衰减仅取决于波阵面的形状,与介质的性质无关。平面波波阵面为平面,波束不扩散,不存在扩散衰减。柱面波波阵面为同轴圆柱面,波束向四周扩散,存在扩散衰减,声压与距离的二次方根成反比。球面波波阵面为同心球面,波束向四面八方扩散,存在扩散衰减,声压与距离成反比。

2. 散射衰减

散射衰减是指超声波在介质中传播时,遇到声阻抗不同的界面时产生散乱反射,引起声波衰减的现象。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,在示波屏上引起林状回波,又叫草波,使信噪比下降,严重时噪声会淹没缺陷波,如图 1-12 所示。

3. 吸收衰减

吸收衰减是指超声波在介质中传播时,由于介质中质点间内摩擦(黏滞性)和热传导引起超声波的衰减现象。

除了以上 3 种主要的衰减形式外,还有位错引起的衰减、磁畴壁引起的衰减和残余应力引