

无损检测培训参考教材

超 声 波 探 伤

中国无损检测学会 编译



机械工业出版社

7/24/11, 28

2 71

256113

无损检测培训参考教材

超 声 波 探 伤

中国无损检测学会编译



机械工业出版社

本书是根据联邦德国无损检测学会的培训超声波探伤中级人员的教材编译而成。其内容包括教材和实验两部分。教材部分简要介绍了超声波探伤的基础理论、基本的探伤操作方法、实施检验过程各个阶段的调试技术等,并列举了钢板、焊缝、铸锻件等典型检测对象的应用实例;实验部分共列举了八类53项内容丰富、颇有启发性的实验。可作为我国超声波探伤中级人员的培训参考教材,也可供有关专业人员参考。

无损检测培训参考教材

超 声 波 探 伤

中国无损检测学会 编译

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本850×1168 1/32·印张10 1/2 ·字数255千字

1987年1月北京第一版·1987年1月北京第一次印刷

印数 0.001—4.030 ·定价2.65元

统一书号:15033·6045

编译者的话

对于从事无损检测实际工作的中级（Ⅱ级）人员来说，无论是国内还是国外，都要求其能了解所从事检测方法的基础知识；能按给定的规程熟练而又准确地调整和使用仪器，对产品进行检测，并解释所得的结果；能按规定的技术文件签发检验报告。显然，用于培训这一级别人员的教材就应具有如下特点：（1）基础知识部分内容应简要，但物理概念应叙述清楚；（2）应有足够数量的、系统的实验指导，这对准确掌握仪器、熟练地进行检测是极为必要的；（3）应列入一些典型的技术说明书，这对提高学员的理解能力是有好处的。

联邦德国无损检测学会提供给我国无损检测学会一套由有关专家编写的中级（Ⅱ级）人员培训教材，我们认为其内容与上述要求是比较相适应的，故将其编译成这套“无损检测培训参考教材”出版，这对于我国从事本专业的人员，了解国外的情况，并从中取得收益，会有一定的帮助。

编译出版的这套教材有《超声波探伤》、《射线检测》、《电磁检测》三本。本教材的内容有基础知识六章，分别叙述了物理基础、检验过程、测距校正与缺陷定位、探测灵敏度的调节、缺陷大小的评定及应用实例、体系比较完整。与基础知识相配合，列入实验指导五十三个，内容比较全面。附录中列有联邦德国有关超声检验的说明书三份及检验报告示例等，可供参考。

本教材系由中国机械工程学会无损检测学会组织编译的，参加译校的人员有清华、单渊鉴、史常仁、施季华、王文忠、马铭刚、李家伟、郑中兴等同志，最后由郑家勋同志整理

目 录

超声波探伤教材	1
第一章 超声波探伤的物理基础	1
一、振动	1
1. 振幅 (A)	1
2. 振动周期 (T)	1
3. 频率 (f)	2
4. 相位	2
二、波动	2
1. 波的形成	3
2. 波的分类	4
3. 不同材料中声波的传播	6
4. 波长与波的传播速度	8
三、超声波的发生与接收	11
1. 压电效应	11
2. 磁致伸缩效应	13
四、超声场	14
1. 近场	14
2. 远场	15
3. 声压分布	15
4. 指向角	16
五、超声波在界面上的反射与透射	19
1. 反射与透射系数	19
2. 反射定律与折射定律	22
3. 由折射产生横波	25
4. 由折射产生表面波	26
5. 耦合介质中的折射	27

六、超声波的衰减	23
1. 散射、绕射	28
2. 吸收	30
3. 材料中的衰减	30
4. 衰减系数及其测定	31
第二章 超声波检验的过程	33
一、探伤方法及其选择	33
1. 穿透法	33
2. 脉冲反射法	35
二、仪器和探头性能的校验	37
1. 仪器特性	37
2. 探头特性	39
3. 检验系统的特性	43
三、按标准、规程或协议选定探测条件	45
1. 最常用的标准和规程	45
2. 关于检测条件	47
四、探伤图形中回波的判别	50
1. 没有缺陷时的探伤图形	50
2. 有缺陷时的探伤图形	50
3. 异型回波与附加回波	51
五、检验报告	57
1. 检验的一般说明	57
2. 检验方法的技术参数	58
3. 检验结果	61
第三章 测距校正及缺陷定位	63
一、测距校正	63
1. 校正前的准备	63
2. 应用 K1 标准试块校正测距标度	66
3. 应用 K2 标准试块校正测距标度	69
4. 应用对比试块校正测距标度	71
5. 测距标度的置换及以后的复核	73
二、用垂直法时缺陷深度的读取与测厚	74

1. 标度直读法	74
2. 零点位移法	74
3. 多次回波法	74
4. 分割式探头法	76
三、斜入射法时缺陷定位	77
1. 缺陷垂直距离的确定	77
2. 缺陷水平距离的确定	83
第四章 探测灵敏度的调节	84
一、探测灵敏度的概念与调节的必要性	84
1. 探测灵敏度的概念	84
2. 调节的必要性	85
二、调节探测灵敏度的基准	86
1. 基准反射体	86
2. 基准高度	88
3. 基准高度曲线的绘制	88
三、调节探测灵敏度时的修正因子	94
1. 声程差 ΔV_s	94
2. 传输损失 ΔV_T	94
3. 材质衰减差 ΔV_δ	97
4. 基准孔径差 ΔV_d	98
5. 曲面差 ΔV_K	99
6. 近表面缺陷修正值 ΔV_0	100
四、探测灵敏度调节程序	103
1. 按不变的基准高度调节	103
2. 按基准高度曲线调节	104
第五章 回波高度和缺陷大小的评定	106
一、回波高度的测定	106
1. 回波高度的度量	106
2. 回波高度的读取法	106
3. 分贝值与回波高度比的关系	108
二、缺陷当量的评定	109
1. 缺陷当量的定义	109

2. 用对比试块上的人工缺陷回波求得缺陷当量	110 ²
3. 用AVG线图求得缺陷当量	111
4. 用定量面板求得缺陷当量	117
三、缺陷延伸度的评定	119
1. 关于延伸度的概念	119
2. 缺陷延伸度的测定法	120
3. 影响测定结果的因素	122
第六章 超声波探伤的应用实例	125
一、钢板探伤	125
1. 钢板中的缺陷	125
2. 探测方法与条件	125
3. 缺陷的确认	127
4. 缺陷的测定	131
5. 质量评级	132
二、焊缝探伤	133
1. 焊缝分类	133
2. 焊缝的常见缺陷	134
3. 探伤方法及其应用	136
4. 探测条件	141
5. 缺陷的评定	143
三、铸锻件探伤	146
1. 铸件的探伤	146
2. 复合材料及其制品的探伤	149
3. 锻件的探伤	149
超声波探伤实验	152
绪言	152
实验指导书	153
一、探头、仪器和检验系统性能测试	153
实验一、水平线性的测定	153
实验二、检验系统灵敏度测定	155
实验三、放大器余量的测定	156
实验四、比较几种探头的灵敏度	157

实验五、盲区的测定	158
实验六、深度分辨率的测定	162
实验七、分贝调节器精度的测定	166
实验八、斜探头入射点和折射角的测定	167
实验九、斜探头楔内声程的测定	168
实验十、波束指向性的测定	170
实验十一、近场长度的测定	171
二、测距校正	173
实验十二、测距标度按深度校正	173
实验十三、测距标度按声程校正	175
实验十四、测距标度按水平距离校正	176
实验十五、测距标度按缩短的水平距离校正	178
实验十六、跨距的测定及测距标度按跨距校正	179
实验十七、非钢材料检测时测距标度的校正	182
三、测厚与定位	185
实验十八、试件厚度的测定	185
实验十九、测定几个简单试件的全部尺寸	187
实验二十、测定人工缺陷深度	189
实验二十一、斜探头探测时反射体定位	190
实验二十二、简易定位面板的制作和应用	192
实验二十三、空心圆柱体周向探测时缺陷定位	194
实验二十四、斜探头探测非钢材料时缺陷定位	195
实验二十五、串列式扫查时的缺陷定位	197
四、探测灵敏度调节	198
实验二十六、以背面为基准调节探测灵敏度	198
实验二十七、以四分圆为基准调节探测灵敏度	200
实验二十八、以人工缺陷为基准调节探测灵敏度	202
实验二十九、传输损失值的测定及其在调节探测灵敏度 时的修正	203
实验三十、探测灵敏度基准差值的测定	206
实验三十一、基准曲线的测绘和探测灵敏度调节时的使 用	212

五、回波高度的测定和缺陷当量的求得	214
实验三十二、回波高度比与分贝的关系	214
实验三十三、缺陷当量的试块对比法	216
实验三十四、缺陷当量的基准曲线对比法	217
实验三十五、缺陷当量用AVG线图求解法	219
实验三十六、缺陷当量用AVG面板求解法	221
实验三十七、当量与实际大小之间的误差因素	224
六、回波动态特征的测定与延伸度的求得	227
实验三十八、典型反射体回波动态特征的测定	227
实验三十九、反射体延伸度的可测界限	229
实验四十、测定几个大面积反射体的投影形状	234
实验四十一、反射体延伸度的测定	234
实验四十二、回波动态特征与反射体尺寸的关系	237
七、异常回波的判别	244
实验四十三、轴向探测时的异常回波	244
实验四十四、轴类径向探测时的附加回波	245
实验四十五、轮廓回波	246
实验四十六、倾斜界面反射波的方向与波型变化规律	251
实验四十七、侧面再反射形成的迟到回波	252
实验四十八、60°斜探头探测时的早到回波	256
八、试件或模拟试件的检验	258
实验四十九、板材的检验	258
实验五十、锻轴的检验	263
实验五十一、平板对接焊缝的检验	266
实验五十二、管材的检验	269
实验五十三、全面检测几个工件	271
实验用试块示意图及其编号	272
附录	293
一、DIN54119 超声波检测术语定义	293
二、DIN54120 K1 标准试块及其在调整与校验脉冲反 射式超声波探伤仪中的应用	303

超声波探伤教材

第一章 超声波探伤的物理基础

一、振 动

振动是什么？人们在日常生活中是不难想象出来的：钟摆或怀表平衡轮有规律的往复运动、扬声器纸盆的振动、水面上小软木块上下地跳动，都是属于振动。因此可以把振动定义为：物体在一定位置附近往复的运动。

振动是产生波动的根源，振动的发生则是物体受到弹性力或准弹性力的作用。如图 1-1 所示，带有一个质量的弹簧摆挂任何固定点上（图 1-1a）。当摆不振动时，其所处位置称为零位；如将其拉紧又放松后，它就在弹性力的作用下在其零位附近作上下振动，即在上下两个换向点之间不断地往复运动。如果将摆所处的位置 x 作为时间 t 的函数作图，则得常见的振动图如图 1-1b 所示。若以速度 c 或加速度 b 作为时间的函数作图，则可得到完全相似的图形，如图 1-1c 和 1-1d 所示。

为了能详细地描述振动，我们引用下述一些概念。

1. 振幅 (A)

一般地说，振动的振幅就是振动的物体偏离其零位的最大位移。以弹簧摆为例，图 1-1b 中的 A ，就是位移振幅；而图 1-1c 中的 V_0 及图 1-1d 中的 b_0 ，则是速度振幅及加速度振幅。

2. 振动周期 (T)

振动周期是指物体完成一次完全振动即物体往复运动一次

所经历的时间, 如图 1-1 中的 T 所示。

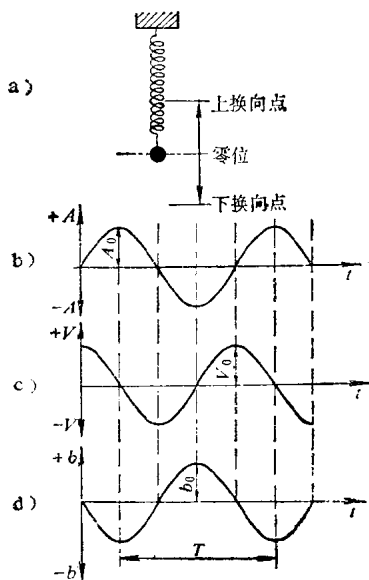


图1-1 弹簧摆的振动

频率与周期之间存在下列关系:

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

4. 相位 ($\omega t + \varphi$)

相位是表示振动物体运动状态的参量。根据相位可以决定物体在某一时刻的位置、速度和运动方向。物体开始振动时的运动状态, 称为初相位。两个频率相同的振动初相位之差, 称为相位差; 根据相位差, 可比较出一个振动比另一个振动达到振幅值时的越前或滞后时间 (或相当多少分之一周期)。

二、波 动

振动在介质中的传播过程, 称为波动, 简称为波。

3. 频率 (f)

频率是单位时间 (通常为秒) 内物体所作完全振动的次数。频率的单位是赫兹或简称赫 (以发现电磁波的 H. Hertz 命名)。其值如下:

1 赫 (Hz) = 每秒时间内振动一次

1 千赫 (kHz) = 1000 Hz
= 10^3 Hz

1 兆赫 (MHz) = 1000000 Hz
= 10^6 Hz

1 千兆赫 (GHz)
= 1000000000 Hz
= 10^9 Hz

1. 波的形成

图 1-2 所示是一整排相同的，并排挂着的弹簧摆。在图 1-2a 中，各摆之间没有耦合作用，因此其中任一个摆的振动不会传递给别的摆，只有它在振动而其他摆静止不动。在图 1-2b 中，各摆之间有着充分紧密的耦合，例如用一根绝对坚硬的棒把各个摆联接起来（图上未曾绘出，但装有一个无阻尼的联动装置），这样，每一个摆只能上下运动但不能横向移动，因此当某一个摆被外力推动而发生振动时，所有的摆也立即以相同的幅度振动。图 1-2c 则是一种中间状态，即在各摆之间有一个弹性的耦合，例如以弹簧或橡皮带的形式进行耦合，那末，假如把最左边的摆推起振动，则该振动就以一定速度依次传递给其余的摆，从而形成振动的传播，产生了波峰与波谷相间的波，因为此时摆一个接着一个开始振动起来。

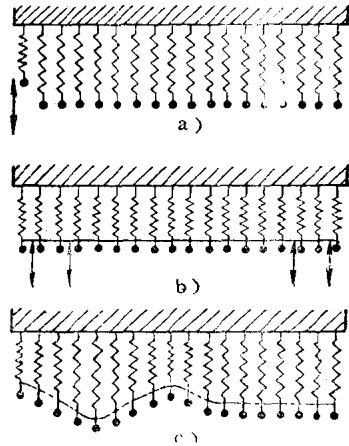


图 1-2 不同耦合时沿着摆链传播的振动

a) 无耦合 b) 全部紧密耦合
c) 弹性耦合

由上述可见，波的形成，不仅需要一个振动着的物体即所谓波源，而且还需要传播振动物体之间有弹性力相联，亦即传播的介质必须是弹性介质。

波传播时各个摆的位置随时间变化的情形如图 1-3 所示，可以看出，由于弹性力作用将一个摆的振动传递给相邻摆使之振动所形成的波动，是从左向右移动的。自然界中波的传播过程如同上述简单的理想条件下的实验一样，也就是说：组成传播介质的无数质点中的任一个质点产生振动时，将依靠弹性力传播至相邻的质点使之也发生振动，然后振动又传给下一个

质点，依次类推，这样振动就由近及远向各个方向以一定速度传播出去，由此形成了波。

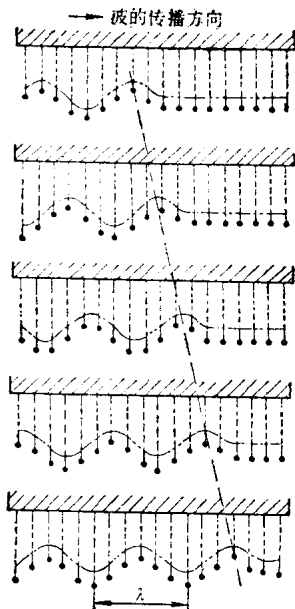


图1-3 波沿着摆链的传播

波动与振动之不同，主要在于前者只有能量的传递而无质量的传递，不会使传播介质本身发生总体运动。这一区别可以从图1-3的实例中看出，即各个阶段的波峰上整个摆链自左向右移动，而每一个摆的运动只在其零位作上下振动。同时，两者之区别也可用下述简单的例子说明：波动可比作水面上的波浪或者是被风吹动的麦浪，波浪或麦浪虽然可以滚滚向前，伸展到远方，但浮在水面上的一小块软木或一棵单独的麦秆却只能在那里作上下或左右往复运动。

2. 波的分类

借弹性力作用，各质点从其零位位移而迫使相邻质点振动而形成的波，是一种弹性波。声波是弹性波的一种，到处都有；但在自然界中，我们所能觉察到的仅是非常少的一部分可以听觉到的声波。声波有如下分类方法。

1) 按照振动频率分类

(1) 次声波：频率低于16Hz，不能听觉到的声波。

(2) 声波：频率为16Hz~20kHz、可以听到或听觉感受到的波。事实上，可听声波的频率界限并不如这里规定的严格，它依人而定，而且也根据人们的年龄不同而变化。

(3) 超声波：频率高于20kHz，不能听觉到的波。用于超声波检测的频率范围从可听频段开始（检测混凝土用，这本

来不属于超声波)，直至100MHz。金属材料超声波探伤的超声波频率一般在0.5~20MHz之间。

2) 按照振动持续性分类

(1) 连续波：波源振动持续不断，波的传播可以无限伸展，具有许多单独的等幅波峰的波。连续波通常由无阻尼振动或依靠外力补给的受迫振动所形成，如图1-4a所示。

(2) 脉冲波：与连续波相反，波的传播距离有限，在此过程中只有几个单独的不等幅波峰，波源振动持续时间有限的波，如图1-4b所示。在静止的水面上投入一块石子，就可产生脉冲状的波，以石子投入处为中心向四周传播。脉冲波通常由阻尼量很大的振动或外加阻尼因子而获得。

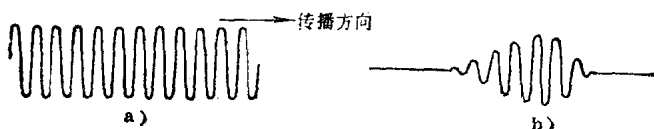


图1-4 连续波与脉冲波

a) 连续波 b) 脉冲波

3) 按照质点振动方向分类

(1) 横波：图 1-3 中所举例的波，其传播方向与各个摆的质点振动方向相垂直，即为横波。

(2) 纵波：质点振动方向与波的传播方向相一致的波，称为纵波。图 1-5 所示的装置是演示产生纵波用的，这里，各个摆联接于一根有弹性力的线上，当某一个摆振动时，可引起相邻摆的振动，此时便产生与振动方向一致的各摆呈稠密与稀

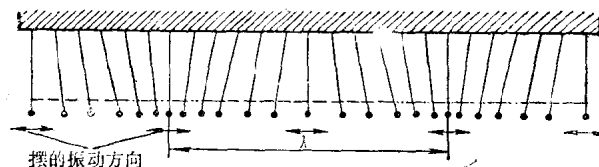


图1-5 摆链中的纵波

疏相间的波。图 1-5 中各摆相互靠拢而呈最稠密之处，可以比拟为横波的波峰，而摆之间最稀疏之处，就相当横波的波谷。

(3) 表面波：质点振动循椭圆形轨迹。只能沿着固体表面传播，深入表面深度约为一、二个波长值的波，即为表面波，如图 1-6e 所示。

(4) 板波：在厚度为波长数量级的试件如薄板中，由适当频率和入射角激发的，充塞整个试件截面的波，通常称为板波或兰姆波。板波传播时质点振动方向既有与板面垂直的分量，又有与板面平行的分量。根据板波传播时板的形变特点，板波又可分为对称型板波（膨胀波）和非对称型板波（弯曲波）两种，如图 1-6c 和图 1-6d 所示。

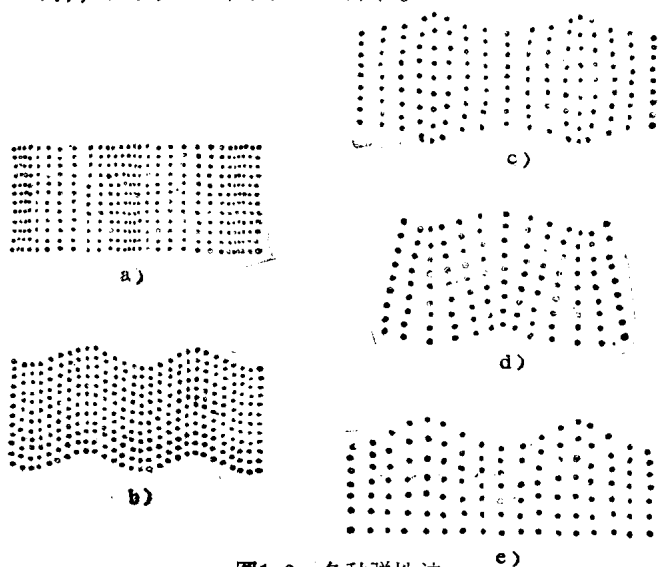


图 1-6 各种弹性波

a) 无限大介质中的纵波 b) 无限大介质中的横波 c) 膨胀波
d) 弯曲波 e) 表面波

3. 不同材料中声波的传播

原则上，声波是能到处（即在气体、液体、及固体材料中）传播的，但由于任何一个质点或者说材料的原子与分子在传

播声波时都要受到弹性振动的支配，因此不能在真空中传播，因为真空中没有传递振动能量的质点存在。

虽然在各种材料中，由于振动能量转换成热能后，声波或多或少地被吸收，然而这并不能改变声波在所有介质中，原则上是能够传播的事实。不过各类声波在气体、液体与固体中传播的可能性，则有原则性的区别。

1) 气体、液体中的声波

在气体中的纵波，我们可以用一张膜在空间振动的过程来描述。就象人们喉头的声带或扬声器的纸盆一样，在膜振动时，其附近的空气随着振动的节奏而交替地压缩与膨胀，运动着的膜分子通过撞击另外的分子而将振动传播出去，这样形成的纵波传播可看作为是在交替的加压区与减压区中进行的；图 1-7 所示就是这种过程的示意图。将上述过程中分子运动的形式与图 1-5 中摆链振动形式相对照，就不难看出两个过程之间有着完全相同的机理。

横波在空气中是不能传播的，这可以从下面的实验结果推测而知。如图 1-8 所示，设有一个分成两半的气缸，里面封入

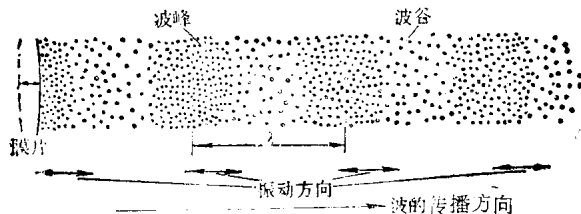


图1-7 膜在空气中振动产生纵波

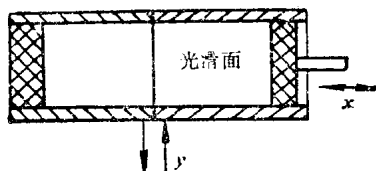


图1-8 空气对压缩力与剪切力作用的研究