

# 无损检测 II 级培训教材

中国机械工程学会无损检测分会 编

## 超声波检测

第2版



机械工业出版社  
China Machine Press



数据加载失败，请稍后重试！

无损检测 II 级培训教材

# 超 声 波 检 测

第 2 版

中国机械工程学会无损检测分会 编



机 械 工 业 出 版 社

本书是无损检测学会推荐使用的Ⅱ级人员培训教材之一。  
本修订本与第1版相同,包括基础教材和实验指导两大部分,但具体内容则有所增删,基础教材共12章,第1、2章为物理基础和  
设备器材,第3~7章为各种检测方法的基础知识;第8~12章为  
方法的主要应用,以致形成一较完整的体系,实验共26个,与教  
材内容是紧密配合的。每章后面并附有复习题。

本书主要读者对象是生产第一线的工人、工程技术人员以及  
参加无损检测等级培训的教师、工程师。

## 图书在版编目(CIP)数据

超声波检测/中国机械工程学会无损检测学会编. 2版.—北京:  
机械工业出版社, 2000.4

无损检测Ⅱ级培训教材

ISBN 7-111-01477-4

I.超… II.中… III.超声检验-无损检验-技术培训-教材  
IV.TG115.28

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第05685号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:武江

封面设计:李雨桥 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000年4月第2版第1次印刷

850mm×1168mm<sup>1/32</sup>·9.625印张·244千字

18601—24600册

定价:18.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

# 第 1 版 前 言

当前全国各地已广泛开展对无损检测人员进行技术培训和资格鉴定工作。Ⅱ级人员自于工业生产的第一线，但大量人员未经过正式培训。为了确保检测质量并逐步适应广泛国际经济技术合作的需要，加速对Ⅱ级人员培训已是当前一项紧迫而又繁重的任务。为此，中国机械工程学会无损检测学会在全国范围内组织力量编写无损检测五种常用方法的Ⅱ级教材，《超声波探伤》就是其中的一体。

这本教材的编写原则是在 1984 年无损检测第三届全国年会期间提出的。考虑到各工业部门的主要检测对象并不相同，编写本教材的意图是满足一个最低的公共需求，各部门可在此基础上增加更多的专业内容，以适合各自的培训需要。

本书内容包括基础教材和实验指导两大部分。基础教材共十二章。第一、二章为物理基础和设备、器材；第三～七章为各种探伤方法的基础知识；第八～十二章为方法的主要应用，以之形成一较完整的体系，希望读者能循序渐进。限于本书的性质，有些问题不宜展开，若读者想进一步研究学习，可参阅其它有关书籍。实验共二十六个，与教材内容是紧相配合的。我们深感只有理解了的东西才能更好的掌握，而实验又可加深理解，两者相辅相成而绝不可有所偏废，恳切希望本教材的采用者能注意这一点。

本书是由李家伟、王怡之两人编写的。但在此之前很多同志（如郑家勋、苏恒兴、顾世瑶、李克明、李衍、张国城、马铭刚等同志）都为超声Ⅱ级人员的培训做过大量工作，其中就包括有教材的编写和翻译，可以说，本书的编写是在他们辛勤劳动的基础上完成的。在此编者谨向他们表示诚挚的感激。此外左厚扬、夏纪真、李克明、孙德江等同志对本书的编掩等均提出有益的意见，我们谨向他们表示谢意。

在这套教材的组织编写过程中，陶亭咸、应崇福、赖坚、程

瑞全、张企耀、王务同、李明等都曾直接予以指导和支持，谨此表示感谢。

我们希望通过本教材的使用，能使学员对超声探伤方法有较清晰的物理概念，为准确使用仪器对产品进行可靠检查打下了较好的基础。但由于编者水平所限，书中错误不当之处在所难免，恳请读者指正。

编 者

一九八八年四月

## 第 2 版 前 言

### (一)

自 1989 年本教材第 1 版问世至今已 10 年。在此期间,无损检测界的国际标准化组织 (ISO) 发布了由无损检测技术委员会 (ISO / TC135) 负责草拟、经全体成员国协商表决通过的国际标准 ISO9712:1992 “无损检测人员的资格鉴定与认证”。其后,又发布了 ISO / DIS9712:1997,这说明无损检测人员的资格鉴定与认证已由长期的各国自行其事向全球的统一迈进了一大步,可以认为这正是在全球经济一体化大潮下的一种必然。在此背景下,修订教材使之与 ISO9712 的要求相适应也可认为是势在必行的了。

ISO9712 提出的对 II 级人员总的要求是能按 ( III 级人员) 所建立的或被认可的规程完成和指导 ( I 级人员进行) 无损检测,可见他们所处的位置是多么重要——承上启下,完成实施检测的全过程。报考 II 级的人员已具有一定的实际操作经验,为使他们对实际的操作有较深的理解,进而能与对他们的要求相适应,ISO 9712 在附录 A 中列出了涉及培训内容的三份出版物,即

1. ANSI / ASNT CP-189-1995, “美国国家标准一无损检测人员的资格鉴定与认证”,附录 B—培训大纲和参考文献;

2. IAEA—TECDOC—628, “无损检测技术培训指南”,国际原子能委员会,1991;

3. “关于无损检测人员培训、资格鉴定与认证国际协调的推荐”,无损检测国际委员会,1985。

本教材的修订是参考上述出版物进行的,以期与国际的要求接轨。

### (二)

本修订本与第 1 版相同,包括基础教材和实验指导两大部分,但具体内容则有所增删,基础教材共 12 章,第 1、2 章为物理基础

和设备器材；第 3~7 章为各种检测方法的基础知识；第 8~12 章为方法的主要应用，以之形成一较完整的体系，希望读者能循序渐进。限于本教材的性质，有些问题不宜涉及或展开，读者想进一步研究、学习，可参阅其他有关书籍。实验共 26 个，与教材内容是紧密配合的。我们深感只有理解了的东西才能更好的掌握，而实验正可加深理解，两者相辅相成而绝不可有所偏废，恳切希望本教材的采用者能注意到这一点。

考虑到各部门的主要检测对象并不相同甚至有很大的区别，编写本教材的意图是满足一个较低的公共要求，各部门应在此基础上结合本部门的实际情况有目的的增加更多的专业内容，如所涉及的材料和工艺以及相应的缺陷分析，有关的法典、标准和规范，特殊技术的运用等，使培训能收更好实效。

此外，如未就“无损检测概论”作专门的讲授，建议在开始本教材的讲授之前就无损检测的定义、内涵、最通用方法（射线、磁粉、液体渗透、涡流）及其应用领域进行介绍，而在结束本教材的讲授之后就超声检测的优点及局限性进行小结。

### （三）

高温、高压、高速度、高效率是现代工业的标志，而这是建立在高质量的基础之上的。须知，产品的高质量是建立在高质量设计的基础之上的，而工艺的高质量则是使产品质量符合设计要求的必要前提。当今，人们已再也不能把材料看成是连续均匀介质和其性能可不随时间而改变的了，设计和工艺人员理应了解：非均一的组织结构、随机出现的微观、宏观缺陷，常常可以有时甚至是只能依靠无损检测技术的运用方可予以发现、评价。当然，这与数十年来多方的重视和广大从业人员的艰辛努力、使无损检测技术在这方面已具有一定的能力有关。现在，在工业发达国家，无损检测在产品的设计、研制、使用部门已被卓有成效的运用，1981 年美国前总统里根在给美国无损检测学会成立 40 周年大会的贺信中就说过：“你们能够给飞机和空间飞行器、发电厂、船舶、汽车和建筑物等带来更大程度的可靠性。没有无损检测，我们就不可能享有目

前在这些领域和其他领域的领先地位”。无损检测学正在以迅猛之势向纵、深发展，客观的需要毕竟是一种专业得以发展的最大动力。

我们希望通过本教材的使用能使学员对超声检测有较清晰的概念，为准确进行可靠检测打下较好的基础，希望对产品的设计、研制、使用人员也能有所裨益。但限于编者水平等原因，书中错误、不当之处，恳请读者指出，以便在再版修订时改正。

李家伟、王怡之

2000年2月

# 目 录

第 1 版 前言

第 2 版 前言

## 基 础 教 材

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 超声波检测的物理基础 .....      | 1  |
| 1.1 振动与波 .....              | 1  |
| 1.1.1 机械振动和机械波 .....        | 1  |
| 1.1.2 超声波的波型 .....          | 6  |
| 1.2 超声波的传播特性 .....          | 9  |
| 1.2.1 波长和声速 .....           | 9  |
| 1.2.2 超声场的特征量 .....         | 12 |
| 1.2.3 超声波的波形 .....          | 14 |
| 1.2.4 超声波的波动特性 .....        | 16 |
| 1.3 超声平面波在界面上垂直入射的行为 .....  | 19 |
| 1.3.1 反射和透射 .....           | 19 |
| 1.3.2 往返透射比 .....           | 22 |
| 1.3.3 多层平界面时的反射和透射 .....    | 23 |
| 1.4 超声平面波在界面上斜入射的行为 .....   | 25 |
| 1.4.1 反射、折射和波型转换 .....      | 25 |
| 1.4.2 临界角, 全反射和反射波的位移 ..... | 27 |
| 1.4.3 斜入射时的反射系数和透射系数 .....  | 28 |
| 1.4.4 在曲面上的反射和透射 .....      | 31 |
| 1.5 圆盘声源的声场 .....           | 33 |
| 1.5.1 圆盘声源在声束轴线上的声压分布 ..... | 33 |
| 1.5.2 指向性 .....             | 34 |
| 1.5.3 脉冲波声场 .....           | 36 |
| 1.5.4 规则形状反射体的反射 .....      | 37 |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 1.6 超声波在传播过程中的衰减 .....          | 40        |
| 1.6.1 衰减的起因 .....               | 40        |
| 1.6.2 衰减规律和衰减系数 .....           | 41        |
| 1.6.3 衰减系数的粗略测定 .....           | 42        |
| 复习题 .....                       | 42        |
| <b>第2章 超声波检测仪、探头及试块 .....</b>   | <b>44</b> |
| 2.1 超声波检测仪 .....                | 44        |
| 2.1.1 概述 .....                  | 44        |
| 2.1.2 A型显示仪器的工作原理 .....         | 45        |
| 2.1.3 A型显示超声仪的基本组成及各部分功能 .....  | 47        |
| 2.1.4 B型显示和C型显示 .....           | 52        |
| 2.1.5 数字化A型显示超声检测仪 .....        | 54        |
| 2.2 超声波探头 .....                 | 56        |
| 2.2.1 压电换能器探头的基本结构和各部分的作用 ..... | 56        |
| 2.2.2 压电换能器探头的主要种类 .....        | 58        |
| 2.2.3 压电换能器探头的型号标识 .....        | 61        |
| 2.2.4 压电换能器探头与仪器的连接 .....       | 62        |
| 2.2.5 电磁声换能器 .....              | 63        |
| 2.3 试块 .....                    | 64        |
| 2.3.1 分类和作用 .....               | 64        |
| 2.3.2 IIW试块 .....               | 65        |
| 2.3.3 铝合金超声波标准试块 .....          | 66        |
| 2.4 仪器、探头及其组合的性能测定 .....        | 67        |
| 2.4.1 超声仪某些电性能的测定 .....         | 68        |
| 2.4.2 超声探头性能测定 .....            | 68        |
| 2.4.3 仪器和探头组合性能的测定 .....        | 68        |
| 复习题 .....                       | 69        |
| <b>第3章 超声波检测的基本问题 .....</b>     | <b>70</b> |
| 3.1 对检测对象的了解与要求 .....           | 70        |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| 3.2 入射方向和探测面的选择 .....          | 71        |
| 3.3 对探头的选择 .....               | 71        |
| 3.4 对仪器的要求 .....               | 73        |
| 3.5 对耦合剂的选择 .....              | 74        |
| 3.6 对比试块 .....                 | 75        |
| 3.7 扫查 .....                   | 77        |
| 3.8 影响缺陷回波幅度的因素 .....          | 78        |
| 3.9 实际缺陷的定量评定方法 .....          | 80        |
| 3.9.1 当量法 .....                | 81        |
| 3.9.2 缺陷回波高度法 .....            | 81        |
| 3.9.3 底面回波高度法及 $F/B_F$ 法 ..... | 82        |
| 3.9.4 缺陷延伸度定量评定法 .....         | 82        |
| 3.10 记录与报告 .....               | 83        |
| 3.10.1 记录 .....                | 83        |
| 3.10.2 报告 .....                | 84        |
| 复习题 .....                      | 84        |
| <b>第4章 纵波检测 .....</b>          | <b>85</b> |
| 4.1 扫查 .....                   | 85        |
| 4.1.1 时间基线的调整 .....            | 85        |
| 4.1.2 检测灵敏度的调整 .....           | 86        |
| 4.1.3 扫查方式、速度及间距的确定 .....      | 89        |
| 4.1.4 同步脉冲重复频率的调整 .....        | 90        |
| 4.2 缺陷位置的确定 .....              | 90        |
| 4.2.1 缺陷平面位置的确定 .....          | 90        |
| 4.2.2 缺陷埋藏深度的确定 .....          | 91        |
| 4.3 缺陷当量值的确定 .....             | 91        |
| 4.3.1 用 AVG 图法确定缺陷的当量值 .....   | 91        |
| 4.3.2 用试块对比法测定缺陷的当量值 .....     | 95        |
| 4.3.3 以缺陷波高与底波波高之比评定缺陷大小 ..... | 96        |

|            |                          |            |
|------------|--------------------------|------------|
| 4.4        | 缺陷长度测量 .....             | 96         |
| 4.5        | 背面回波的检测 .....            | 97         |
| 4.6        | 纵波检测时侧边界面的影响 .....       | 98         |
| 4.6.1      | 侧壁对检测灵敏度及缺陷定位的影响 .....   | 98         |
| 4.6.2      | 61°反射 .....              | 99         |
| 4.6.3      | 在直角边与方角内反射 .....         | 100        |
| 4.6.4      | 迟到回波 .....               | 100        |
| 4.7        | 分割型探头（联合双探头）的运用 .....    | 101        |
| 4.8        | 水浸法检测 .....              | 102        |
| 4.8.1      | 特点 .....                 | 102        |
| 4.8.2      | 水浸平探头的运用 .....           | 105        |
| 4.8.3      | 水浸聚焦探头的运用 .....          | 106        |
|            | 复习题 .....                | 110        |
| <b>第5章</b> | <b>横波检测</b> .....        | <b>111</b> |
| 5.1        | 斜探头发射的横波声场 .....         | 111        |
| 5.1.1      | 近场影响区长度 .....            | 111        |
| 5.1.2      | 指向性 .....                | 112        |
| 5.2        | 横波检测的基本工作方式 .....        | 114        |
| 5.3        | 检测条件选择的考虑 .....          | 115        |
| 5.4        | 横波检测前的准备 .....           | 116        |
| 5.4.1      | 斜探头性能的测定 .....           | 116        |
| 5.4.2      | 时间基线的调整 .....            | 118        |
| 5.4.3      | 入射点、折射角和测定范围的综合校正 .....  | 121        |
| 5.4.4      | 距离幅度曲线的制作及检测灵敏度的调整 ..... | 121        |
| 5.5        | 检测作业 .....               | 122        |
| 5.5.1      | 扫查 .....                 | 122        |
| 5.5.2      | 缺陷位置的确定 .....            | 123        |
| 5.5.3      | 缺陷当量值的确定 .....           | 126        |
| 5.5.4      | 缺陷长度的测定 .....            | 128        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 5.6 横波检测时侧壁的影响 .....         | 130        |
| 复习题 .....                    | 131        |
| <b>第 6 章 瑞利波和蓝姆波检测 .....</b> | <b>132</b> |
| 6.1 瑞利波检测 .....              | 132        |
| 6.1.1 瑞利波的产生 .....           | 132        |
| 6.1.2 时间基线及灵敏度的调整 .....      | 133        |
| 6.1.3 缺陷的检测 .....            | 134        |
| 6.2 蓝姆波检测 .....              | 135        |
| 6.2.1 蓝姆波的激励 .....           | 137        |
| 6.2.2 模式的选择 .....            | 138        |
| 6.2.3 缺陷的探测 .....            | 140        |
| 复习题 .....                    | 140        |
| <b>第 7 章 铸锻件的超声波检测 .....</b> | <b>142</b> |
| 7.1 铸件的超声波检测 .....           | 142        |
| 7.1.1 铸件及铸件超声检测的特点 .....     | 142        |
| 7.1.2 检测方法和检测条件的选定 .....     | 143        |
| 7.1.3 铸件中缺陷的评定 .....         | 145        |
| 7.1.4 铸件超声检测的例子 .....        | 145        |
| 7.2 锻件的超声波检测 .....           | 147        |
| 7.2.1 锻件中常见缺陷 .....          | 147        |
| 7.2.2 轴类锻件的超声波检测 .....       | 149        |
| 7.2.3 饼类锻件的检测 .....          | 153        |
| 7.2.4 筒类锻件的检测 .....          | 154        |
| 复习题 .....                    | 157        |
| <b>第 8 章 板材的超声波检测 .....</b>  | <b>158</b> |
| 8.1 板材的制造方法及常见缺陷 .....       | 158        |
| 8.1.1 普通钢板 .....             | 158        |
| 8.1.2 复合板 .....              | 158        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 8.2 中厚板的超声波检测 .....         | 159        |
| 8.2.1 检测的方法 .....           | 159        |
| 8.2.2 板材的纵波扫查方法 .....       | 161        |
| 8.2.3 纵波扫查使用的频率和扫查灵敏度 ..... | 162        |
| 8.2.4 纵波检测图形及缺陷评定 .....     | 162        |
| 8.2.5 横波单斜探头法 .....         | 164        |
| 8.3 复合板的超声波检测 .....         | 165        |
| 8.3.1 复合板的结合面回波 .....       | 165        |
| 8.3.2 复合板的检测 .....          | 166        |
| 8.4 薄板的超声波检测 .....          | 167        |
| 8.4.1 蓝姆波法 .....            | 167        |
| 8.4.2 穿透反射法 .....           | 168        |
| 复习题 .....                   | 169        |
| <b>第9章 管材的超声检测 .....</b>    | <b>170</b> |
| 9.1 管材超声波横波接触法检测基础 .....    | 170        |
| 9.1.1 折射角和内表面入射角 .....      | 170        |
| 9.1.2 跨距和声程 .....           | 172        |
| 9.2 直接接触法(包括间隙扫查法) .....    | 174        |
| 9.2.1 对比试验样管 .....          | 174        |
| 9.2.2 折射角 .....             | 175        |
| 9.2.3 测定范围 .....            | 175        |
| 9.2.4 检测灵敏度 .....           | 175        |
| 9.2.5 由曲面引起的折射角的扩散 .....    | 175        |
| 9.2.6 扫查注意点 .....           | 175        |
| 9.2.7 双探头横波接触法 .....        | 176        |
| 9.3 水浸法 .....               | 176        |
| 9.3.1 水浸检测的基本方法 .....       | 177        |
| 9.3.2 聚焦声束宽度的影响 .....       | 181        |
| 9.4 厚壁管检测法 .....            | 181        |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 复习题 .....                     | 183        |
| <b>第 10 章 棒材的超声波检测 .....</b>  | <b>184</b> |
| 10.1 棒材的制造方法及常见缺陷 .....       | 184        |
| 10.2 棒材超声波检测的特点 .....         | 184        |
| 10.2.1 直探头径向垂直入射时的情况 .....    | 184        |
| 10.2.2 斜探头径向斜入射时的情况 .....     | 187        |
| 10.3 大直径轧棒的超声波检测 .....        | 188        |
| 10.4 较小直径轧制棒材的检测 .....        | 189        |
| 10.5 细棒的检查 .....              | 191        |
| 10.6 灵敏度的调整和缺陷的评定 .....       | 191        |
| 复习题 .....                     | 194        |
| <b>第 11 章 焊缝的超声波检测 .....</b>  | <b>195</b> |
| 11.1 预备知识 .....               | 195        |
| 11.1.1 焊接法概要 .....            | 195        |
| 11.1.2 焊缝的接头形式 .....          | 196        |
| 11.1.3 焊缝坡口形式 .....           | 197        |
| 11.1.4 焊接缺陷 .....             | 198        |
| 11.2 平板对接焊缝的超声波检测 .....       | 200        |
| 11.2.1 探测面的修整 .....           | 200        |
| 11.2.2 检测条件的选择 .....          | 200        |
| 11.2.3 扫查 .....               | 201        |
| 11.2.4 薄板对接焊缝的检测 .....        | 203        |
| 11.3 T 字形焊缝、角焊缝及搭接焊缝的检测 ..... | 204        |
| 11.4 干扰回波 .....               | 205        |
| 11.4.1 干扰回波的判别 .....          | 205        |
| 11.4.2 一些典型干扰回波的例子 .....      | 206        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 复习题 .....                          | 209        |
| <b>第 12 章 材料声速、声衰减及厚度的测量</b> ..... | <b>210</b> |
| 12.1 声速的测量 .....                   | 210        |
| 12.1.1 纵波速度的测量 .....               | 210        |
| 12.1.2 横波速度的测量 .....               | 211        |
| 12.2 声衰减的测量 .....                  | 212        |
| 12.2.1 视在衰减值的测量方法 .....            | 212        |
| 12.2.2 视在衰减值的给出 .....              | 215        |
| 12.3 超声测厚 .....                    | 215        |
| 12.3.1 共振法 .....                   | 215        |
| 12.3.2 脉冲反射法 .....                 | 216        |
| 复习题 .....                          | 218        |

## 实 验 指 导

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 第一部分 仪器性能、探头（纵波）性能、仪器—探头<br>组合性能的测定 ..... | 220 |
| 实验一 仪器水平线性的测定 .....                       | 220 |
| 实验二 仪器垂直线性的评定 .....                       | 221 |
| 实验三 分贝调节器准确度的测定 .....                     | 223 |
| 实验四 纵波直射单探头近场长度的测定 .....                  | 225 |
| 实验五 纵波直射单探头在近场和远场区中声束横<br>截面上声压的分布 .....  | 227 |
| 实验六 仪器-探头组合性能测试之一：深度分辨力的测定 .....          | 229 |
| 实验七 仪器-探头组合性能测试之二：灵敏度和信<br>噪比的测定 .....    | 232 |
| 实验八 双晶纵波探头性能的测试 .....                     | 234 |
| 第二部分 纵波检测 .....                           | 236 |
| 实验九 时间基线的校准及缺陷深度的测定 .....                 | 236 |
| 实验十 探测灵敏度的调整 .....                        | 238 |
| 实验十一 传输损失值的测定及其在调灵敏度时的应用 .....            | 240 |