

超声检测新技术

〔英〕 J. 西拉德 主编



科学出版社

超声检测新技术

[英] J. 西拉德 主编

陈积懋 余南廷 译

科学出版社

1991

内 容 简 介

本书重点介绍超声检测的非常规方法。全书共分15章：首先阐明超声检测的物理原理，简要评述了常规超声检测技术；接着论述新成像技术、超声全息照相、超声频谱测定、谐振法、声发射等多种新检测技术的原理、方法、设备、特点、应用和发展前景；专题介绍了这些新技术在粘接结构检测、金属晶粒组织和应力测定中的应用；叙述了干耦合和非接触耦合技术、高温下的检测、利用弹性波对表面机械性质的测定和利用波的传输技术测量线材和纤维的动弹性性质等问题；最后还论述了极短距离检测和钢的氢脆检测等其他检测问题和方法。

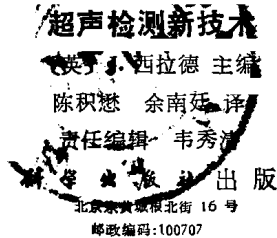
本书注重实际，概念清楚，系统性强，公式推导简洁，理论分析适度，且深入浅出。

本书适合于无损检测工程技术人员及大专院校有关专业师生阅读。

Editor: J. Szilard

ULTRASONIC TESTING—NON-CONVENTIONAL TESTING TECHNIQUES

John Wiley & Sons, Ltd., 1982



中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1991年4月第一版	开本：850×1168 1/32
1991年4月第一次印刷	印张：20 1/4
印数：0 001—1 700	字数：528 000

ISBN 7-03-002006-5/O · 382

定价：20.90 元

译 者 的 话

J. Szilard 主编的 *Ultrasonic Testing—Non-conventional testing techniques* 一书出版后，引起了无损检测专业领域各方面的广泛关注。

近10余年来，由于对结构整体性、安全可靠性以及经济效益方面的要求日益提高，摆在无损检测工作者面前的课题也日益增多，遇到的困难层出不穷，这本书可以说是在这种情况下应运而生的产物。国内，在“中国机械工程学会无损检测学会”第三届学术年会期间和其他一些专业学术会议上，无损检测界的有关专家纷纷推荐此书，希望能翻译出版。有关大专院校的无损检测专业还准备把它作为主要的教学参考书。受科学出版社之约，我们与范峰宪、陶扬、郑鸣宗等同志对该书进行了翻译。

在翻译过程中，我们进一步体会到该书的确是无损检测工程技术人员和有关专业师生的“良师益友”，它将为遇到困难的工程师们提供某些行之有效的方法或启示。原书题材的编排注意学科的系统性，重视联系实际；取材适当，充分反映了常规超声无损检测之外的先进技术；所介绍的内容由浅入深，物理概念清楚，既有一定深度的理论分析，又避免了过于烦琐的数学推导，很适合于国内无损检测工作的实际需要。

原著的不足之处是时有差错出现，有些显然是排印、校对问题，而有些公式推导上的错误、单位换算时的混淆等则可能是编写时的疏漏。对这些差错，译者查阅了不少有关资料，着重核对了编著者引用的原始文献，并一一作了订正。其中，比较重要的改正用译注形式加以说明；更正明显的排印错误则未作注解。

尽管我们在翻译时比较重视保持编著者的原意，但译本的差错还恐在所难免，热切期望读者指正。

序

35年来，主要由于无损检测专业人员的创造和实践中的发明，超声频率的弹性波能量已成功地作为重要的探测手段，用以确定板材、锻件和焊接件内部二维缺陷的位置。在此期间，人们已把研制简单的、便携的、可靠的检测仪器作为主要任务，这些仪器现在已广泛用于结构件生产的现场检测、大批量零部件的质量控制以及在役机器设备的定期维修检测。由于在较短时间内取得了很大成就，所以在实际应用的标准和制造规范中，已经广泛地和有把握地要求将超声无损检测作为射线照相术的补充手段。射线照相术的应用历史要悠久得多，在检测内部的三维缺陷方面，这种方法无疑更为适用。

然而，近来随着结构件整体性和安全可靠性问题的日益突出，且由于材料管理和设计工作的日臻完善，对缺陷尺寸和缺陷特征的更确切的定量判别有了紧迫的要求；同时，缺陷尺寸和缺陷特征通常又和合金中微结构均质性的严格控制相联系，而合金的性能又往往易被制造和热处理的可变项所影响。所有这些因素已引起人们更密切地关注超声技术的广泛潜力，并期望对于材料内部所发生的弹性波相互作用过程在理论上能有更清楚的认识；与不连续的矩阵结构特性和离散结构特性相联系的微结构特性也在研究之中。

本书恰好及时地提示了适用范围很广的超声技术是怎样满足或预见到某些更麻烦的检测要求的。我确信，它将能在迅速发展和逐年有所创新的学科，在高等院校的物理学、材料科学和工程学，在与现代技术实践相联系的研究机构、各行各业的尖端技术以及工业检测和质量控制部门等许多方面提供有价值的主要参考资料。

本书编著者在超声研究和实践方面具有充足的第一手经验，使得他个人对本书作出如此广泛的贡献，并使它有了必要的连贯性。他还注意挑选某些公认的专家与之合作，扩充了本书的内容，为这个学科的新领域和边缘领域提供均衡的评述。这些领域大都是涉及当前无损检测工业实践的非常规技术，不过，根据学科的合乎逻辑的科学开拓的观点，就其具有进一步发展和应用潜力的角度来看，这些技术又无疑都是常规技术。

R. S. Sharpe

于 Harwell 无损检测中心

1979.8.1

前 言

在无损检测领域中，采用了超声技术的工程师们往往会碰到困难而特殊的检测问题，对于这些问题，常规的检测技术几乎完全不能给出满意的结果。于是，人们不得不寻找不同的、特殊的检测技术，并进一步探索超声在熟知的方法之外还能作出的贡献。这里所说的“特殊”技术，也许不是什么新东西，而只是“常规”范围之外的一些方法罢了。

有许多技术，在还没有实际需要或者还没有适当的制造工艺可供利用的情况下，却提前得到了发展。换句话说，有许多科学上和技术上的好主意已经处于一定的发展阶段，只是没有获得商业应用方面的成就，因而被搁置起来，或在某种程度上被遗忘了。在遇到上述检测问题时，人们根据变化了的条件再重新审查这些技术，可能会找到合适的解决办法，至少能提供一点线索。

同样，最近进行的一些与某个检测问题可能有关的专题研究，也不大可能轻易为最需要解决实际问题的人们所利用。

即使在成熟类型的超声方法既不实用又无可能性的其他无损检测领域里，本书论及的专门技术也可能指出当前采用的检测方法的改善途径；更重要的是，在传统技术穷于应付的时候，还能借以寻求新的解决办法。

我们曾收到大量诸如“能否帮助解决常规方法无能为力的这种、那种或另外一些检测问题”之类的询问，正是这些询问促使我们萌发了编纂本书的念头。

鉴于这些要求，本人决定编纂一本不但包含我个人的经验，而且也反映多年活跃在这个领域中的许多他人工作的书。

本人着重把大量特殊的检测问题和超声检测技术汇集在一起，以便为遇到困难工程师们提供帮助。本书首先概述超声物

理的基础(第一章)、评述常规的检测技术并简要说明它们在实际应用中的局限(第二章),尔后,在以下的章节里叙述各项专门技术。各章主题的叙述方法是:结合有关的实际情况,给出检测问题的详细背景材料和解决这些问题所使用的检测方法;讨论它的应用范围,在适当之处指出所受的限制。我们期望这一方式会有助于读者为特殊的检测问题选用正确的检测技术;并期望有助于促进所叙述的各种技术的适应能力,进一步发展它们以获得新的应用。

为较全面地叙述这个主题,在最后一章里收进了一些简要的、大部分是互不关联的方法,这些方法可能是有意义、有用处的。有一种方法(极短距离检测)是很久以前就发明的,几乎已被人们遗忘,但为了解决某个专门的检测问题,它可能应当再次受到关注。另一些方法还处于发展阶段,或者只是一种建议性的意见,通过这些方法的介绍,也许会鼓励人们去进行新的探索。

J. Szilard

1980.1.

目 录

序	xi
前言	xiii
第一章 超声检测的物理原理..... J.Szilard	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 声波	1
§ 1.3 声速	4
§ 1.4 声场参数	6
§ 1.5 边界	7
1.5.1 嵌入层	9
§ 1.6 曲面;镜和透镜	10
§ 1.7 分贝符号	11
§ 1.8 声耦合	11
§ 1.9 声束的形成	12
§ 1.10 谐振	14
§ 1.11 换能器	16
§ 1.12 衰减	21
第二章 常规检测技术评述..... J. Szilard	24
§ 2.1 超声检测简史	24
§ 2.2 探头	28
§ 2.3 穿透法	31
2.3.1 基本原理	31
2.3.2 设备	32
2.3.3 精度	33
2.3.4 应用	33
2.3.5 结论要点	33
§ 2.4 谐振技术	34
2.4.1 有关的原理	34
2.4.2 设备的基本类型	35

2.4.3 精度.....	38
2.4.4 应用.....	38
2.4.5 结论要点.....	38
§ 2.5 脉冲回波技术.....	39
2.5.1 有关的原理.....	39
2.5.2 商用探伤仪.....	40
2.5.3 显示方法.....	42
2.5.4 脉冲回波技术中的声耦合.....	44
2.5.5 自动化.....	44
2.5.6 应用.....	45
2.5.7 限制.....	46
2.5.8 精度.....	47
2.5.9 结论要点.....	49
第三章 新成像技术.....J. Szilard, P. D. Hanstead	50
§ 3.1 引言.....	50
§ 3.2 新成像系统概述.....	53
§ 3.3 缺陷的直接超声显像 (DUVD).....	65
3.3.1 现存图形方法的缺点.....	66
3.3.2 DUVD 原理.....	67
3.3.3 可行的 DUVD 系统的条件.....	67
3.3.4 声聚焦系统.....	68
3.3.5 实用的设计技术.....	72
3.3.6 图解设计方法.....	75
3.3.7 透镜设计.....	75
3.3.8 在可行性论证后的改进.....	78
3.3.9 DUVD 的局限性.....	83
3.3.10 DUVD 的发展前景.....	85
§ 3.4 SRI 或 Green 摄像装置.....	88
§ 3.5 EMI 摄像管.....	88
§ 3.6 超声电视系统.....	94
§ 3.7 讨论.....	95
第四章 超声全息照相.....	
.....E. E. Aldridge, M. J.-M. Clément	99
§ 4.1 引言.....	99

§ 4.2	超声全息图的理论	101
4.2.1	空间频率	101
4.2.2	全息图的形成	102
4.2.3	图像重建	104
4.2.4	场深	106
4.2.5	空间频率分布	109
4.2.6	通用参考全息图	111
4.2.7	瞬时参考全息图	111
4.2.8	光学模拟	113
§ 4.3	取样全息图	114
4.3.1	笛卡儿取样	114
4.3.2	圆周取样	115
4.3.3	随机取样	118
§ 4.4	全息照相程序	119
4.4.1	空间频率滤波	119
4.4.2	相减法	120
4.4.3	微弱信号的增强	122
§ 4.5	超声全息照相	124
4.5.1	光学模拟	125
4.5.2	扫描系统	130
4.5.3	重建装置	138
§ 4.6	超声全息照相实用概况	140
§ 4.7	讨论	151
附录 4.1	空间频率、射线和分辨率	155
附录 4.2	符号一览表	158
第五章	超声频谱测定法	A. F. Brown 161
§ 5.1	引言(早期工作)	161
§ 5.2	扩散界面	165
5.2.1	胶接结构	165
5.2.2	附着和内聚	169
§ 5.3	腐蚀监视	172
§ 5.4	离散特征	174
5.4.1	散射截面随频率的变化	174
5.4.2	人工缺陷	176

§ 5.5 理论上的工作	178
5.5.1 “倒频谱测定法 (cepstroscopy)”	181
5.5.2 瑞利分析	181
5.5.3 实际的超声数据处理	182
§ 5.6 表面波	182
5.6.1 表面裂缝的表征	182
§ 5.7 宽带超声的发生与接收	184
5.7.1 常规换能器带宽的限制	185
5.7.2 实际的宽带换能器	187
5.7.3 多元换能器	189
5.7.4 非均质换能器	190
5.7.5 其他宽带换能器	192
5.7.6 换能器激励	194
5.7.7 宽带放大器	196
5.7.8 选通单元	196
5.7.9 频谱分析仪	198
§ 5.8 数字技术	198
5.8.1 数字化系统	199
5.8.2 数字结果	200
5.8.3 数字方法的前景	200
§ 5.9 近期发展情况评论	201
5.9.1 超短脉冲	201
5.9.2 裂缝的表征	201
5.9.3 附着作用和内聚作用	202
5.9.4 宽带换能器的设计	203
5.9.5 粗糙表面的表征	204
5.9.6 超声频谱测定法原理	204
§ 5.10 讨论	205
第六章 检测金属的晶粒组织	J. Szilard 207
§ 6.1 引言	207
§ 6.2 历史背景	208
§ 6.3 理论基础	216
§ 6.4 非均质介质组织变化的显示	222
6.4.1 一般原理	222
6.4.2 装置的描述	226

6.4.3 观察晶粒组织局部变化的试验	229
§ 6.5 晶粒大小(和晶粒类型)	234
6.5.1 利用散射回波系数	235
6.5.2 利用衰减	237
6.5.3 确定晶粒大小的试验	247
§ 6.6 讨论	248
第七章 谐振方法	P. Highmore, J. Szilard 251
§ 7.1 引言	251
§ 7.2 多层结构中的谐振现象	252
§ 7.3 板材的厚度测量	253
7.3.1 超声干涉测微计	255
7.3.2 PREDEF 系统	261
§ 7.4 谐振穿透技术	262
§ 7.5 双层叠层结构的检测	267
§ 7.6 多层结构中脱粘深度的定位	268
§ 7.7 讨论	274
附录 7.1 换能器阻抗匹配的双层谐振器	274
第八章 表面弹性波在检查表面机械性能中的应用	
..... G. J. Curtis	281
§ 8.1 引言	281
§ 8.2 表面弹性波的特性	283
§ 8.3 表面弹性波的产生和检测	290
§ 8.4 近表面裂缝的检测	300
§ 8.5 表面残余应力的检测	310
§ 8.6 表面弹性性质的检查	325
8.6.1 各向同性表面	325
8.6.2 具有最容易形成的取向的多晶表面	329
§ 8.7 钢的表面硬化层的检验	347
§ 8.8 概述和评论	358
第九章 干耦合或非接触耦合技术	J. Szilard 362
§ 9.1 引言	362
§ 9.2 干压力耦合	362
§ 9.3 直接磁致伸缩技术	363

§ 9.4	电磁耦合	367
§ 9.5	静电耦合	376
§ 9.6	空气耦合	380
§ 9.7	激光技术(热学的、光学的)	382
§ 9.8	用“炭粒接触送话器”接收	385
§ 9.9	讨论	386
第十章	高温下的检测	K. W. Andrews 390
§ 10.1	引言	390
§ 10.2	某些基本的物理因素	392
§ 10.3	检测热钢材的实际成就	398
§ 10.4	金属凝固中的应用	408
§ 10.5	其他研究工作	411
§ 10.6	讨论	413
第十一章	应力的超声测量	D. I. Crecraft 415
§ 11.1	用原子标度衡量应力和应变	415
§ 11.2	数学模型	416
§ 11.3	应力和应变对声波速度的影响	418
11.3.1	应力对于波速影响的测量	419
11.3.2	体波速度变化的测量	422
§ 11.4	声的二次折射	426
11.4.1	声二次折射的测量	426
11.4.2	二次折射、残余应力和最容易形成的取向(“晶体结构”)	429
11.4.3	晶体结构引起的二次折射的频率依从关系	430
§ 11.5	区分应力和晶体结构的影响	432
§ 11.6	应力测量的实际考虑	433
§ 11.7	近期的工作	433
第十二章	声发射——无损检测的新工具	R. W. B. Stephens, H. C. Kim 435
§ 12.1	引言	435
§ 12.2	与声发射有关的物理概念简述	436
§ 12.3	声发射的参数和检测仪器	438
12.3.1	频率(或波形)分析	439
12.3.2	振铃计数和计数速率	441

12.3.3	发射能量	442
§ 12.4	单晶和多晶的声发射特性	442
12.4.1	单晶	442
12.4.2	多晶体	446
12.4.3	周期加载和卸载	446
§ 12.5	影响声发射的因素	448
12.5.1	晶粒大小的影响	448
12.5.2	应变率的影响	449
§ 12.6	声发射的应用	450
12.6.1	断裂韧性试验	450
12.6.2	疲劳期间的裂缝增长	454
12.6.3	复合材料的声发射	455
12.6.4	焊接件的检测	461
12.6.5	发射源的定位	463
§ 12.7	术语汇编	463
§ 12.8	小结和前景	467
附录 12.1	符号一览表	469
第十三章	胶接结构的声技术无损检测	G. J. Curtis 471
§ 13.1	引言	471
§ 13.2	控制接头强度的因素	473
§ 13.3	测量粘接强度的谐振方法	478
§ 13.4	评定粘接状态的脉冲回波法	494
§ 13.5	用板波和界面波评价粘接质量	511
§ 13.6	用声发射现象评定粘接强度	516
§ 13.7	总结和结论	524
第十四章	确定线材和纤维的动态弹性性质中的波传输技术	G. J. Curtis 527
§ 14.1	引言	527
§ 14.2	圆柱体中的弹性波传输	528
14.2.1	连续波和脉冲波分析	529
§ 14.3	导波传输现象对弹性模量测定的意义	540
§ 14.4	弹性模量的确定	543
14.4.1	各向同性弹性材料	543
14.4.2	各向异性弹性材料	544

14.4.3	滞弹性材料	547
§ 14.5	确定动态模量的实验技术	549
14.5.1	将声波发射到线材和纤维内的几种方法	549
14.5.2	测量波速的方法	552
§ 14.6	测定弹性模量的实例	556
§ 14.7	概要和评述	565
第十五章	其他检测问题和方法	J. Szilard 569
§ 15.1	引言	569
§ 15.2	极短距离的检测	569
§ 15.3	改善超声探伤仪的信噪比	571
15.3.1	脉冲压缩法	572
15.3.2	平均或时间积分	575
15.3.3	随机信号相关技术	576
§ 15.4	使泊松比的精确测量简便易行	579
§ 15.5	钢的氢脆的超声检测	581
15.5.1	引言	581
15.5.2	理论	582
15.5.3	实验步骤	584
15.5.4	实验结果	585
15.5.5	结果的讨论和结论	587
§ 15.6	砂轮的检测	590
§ 15.7	在低频下产生窄声束	592
参考文献	595

第一章 超声检测的物理原理

J. Szilard

§ 1.1 引 言

本章不准备全面阐述基础物理声学知识，因为一些著名作者已在声学、超声、超声无损检测等许多著作中对这个课题作了详尽的论述^[1-10]。这一章的真正目的在于复习或迅速查阅一下物理原理，以便为初次接触这个课题或需要在某一方面重温原有知识的读者提供方便。

不过，有一个例外的情况要提醒读者注意：极细裂纹的检测是一个相当重要的问题，而这个问题又几乎总是被掩饰着，充其量也只是叙述了某些有意义的实验结果而并未给予理论上的说明^[4]。所以我们在这里对所观察到的有关现象作了简要解释。此外，对实践中判别能否检测出潜在危险细裂纹这一课题，也给出了一些结论。

§ 1.2 声 波

将如图 1.1 所示的质量块和弹簧系统拉离平衡状态后再放开，在与位移成正比的回复力作用下，其运动将遵循简谐振动规律。在简谐振动中，储存在弹簧中的势能逐渐转变为储存在运动质量块中的动能，反之亦然。不过，在这一转换过程中，某些能量会因各种损失而转变为热能。质量块的质量和弹性系数将决定该阻尼振动的频率。如果系统是由正弦性质的外力驱动的，那么，质量块的运动振幅将随驱动力的频率而保持恒定。