

CHAOSHENG XIANGKONGZHEN
JIANCE JISHU YU YINGYONG

超声相控阵 检测技术与应用

王悦民 李衍 陈和坤 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

超声相控阵检测 技术与应用

王悦民 李衍 陈和坤 主编



国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书介绍了超声相控阵成像检测技术相关理论知识,包括超声相控阵的基本概念、扫查模式和图像显示、探头和声场、主要公式和基本参数等;另外,介绍了超声相控阵仪器操作方法,包括仪器界面介绍、相控阵扫描及测量设置、向导程序、管理操作、仪器设置及配附件、工业应用实例、仪器保养及常见问题。全书内容翔实,图文并茂,既有超声相控阵检测的基本理论及知识方法的讲解,又有实践操作及应用的指导。

本书适合于从事无损检测技术及相关领域的研究人员、工程技术人员、研究生及高年级本科生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

超声相控阵检测技术与应用/王悦民,李衍,陈和坤
主编. —北京:国防工业出版社,2014. 12
ISBN 978-7-118-09803-7

I. ①超... II. ①王... ②李... ③陈... III. ①相控
阵—超声成像—超声检测 IV. ①TB553

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 268646 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 插页 4 1/16 印张 14 字数 314 千字

2014 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

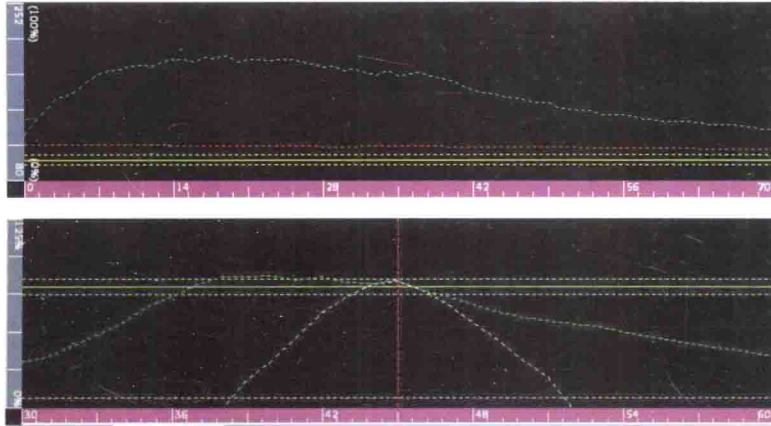


图 7-1 校准参考线

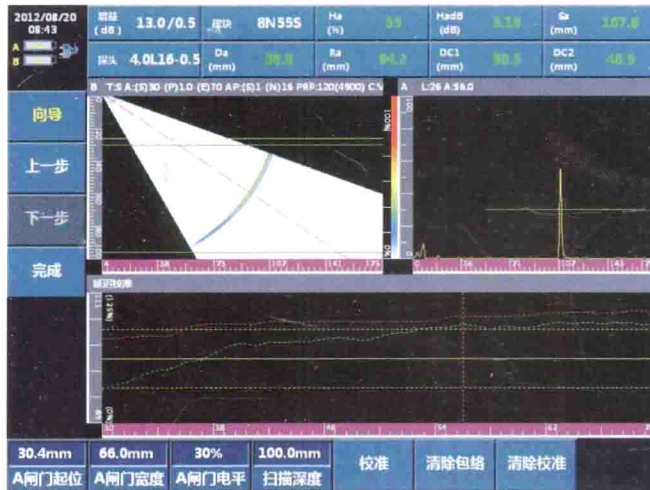


图 7-15 建立包络

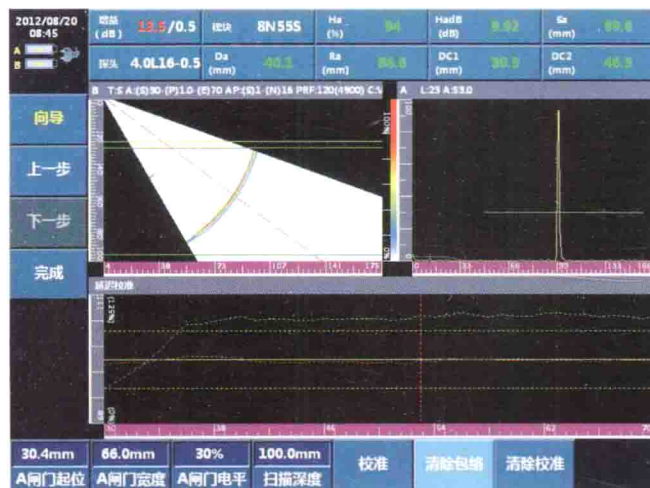


图 7-16 延迟校准完成

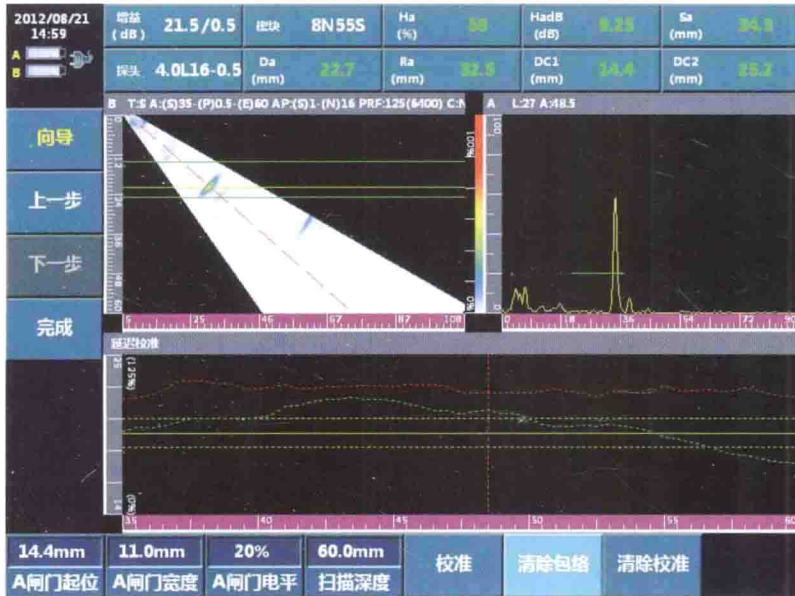


图 7-19 建立包络

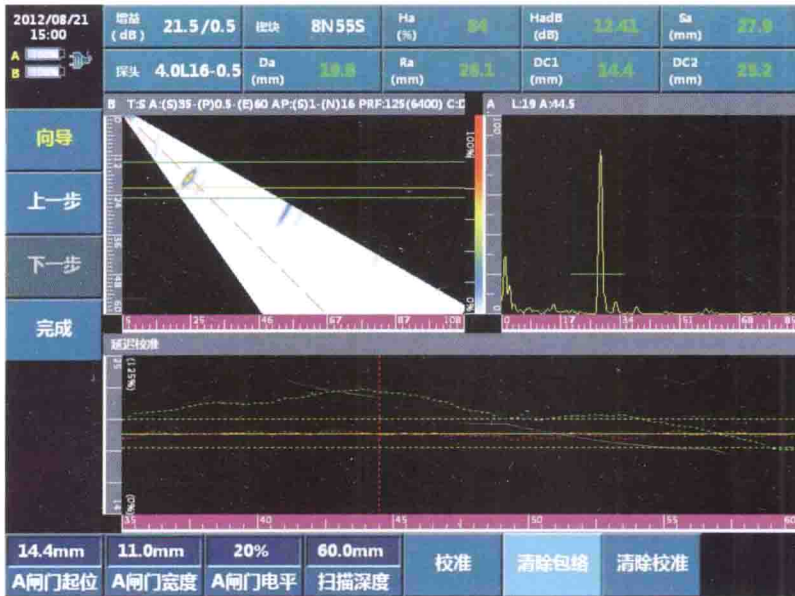


图 7-20 延时校准完成



图 7-23 建立包络



图 7-24 延时校准完成

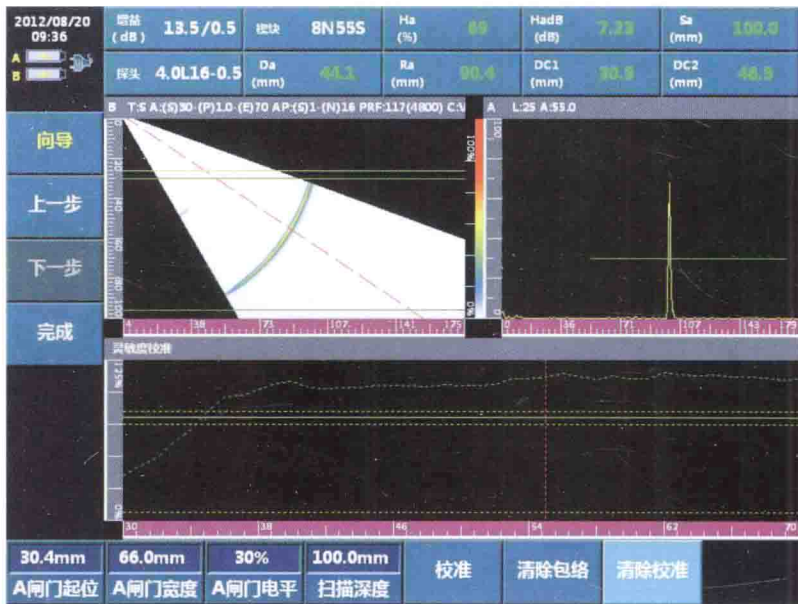


图 7-27 建立包络

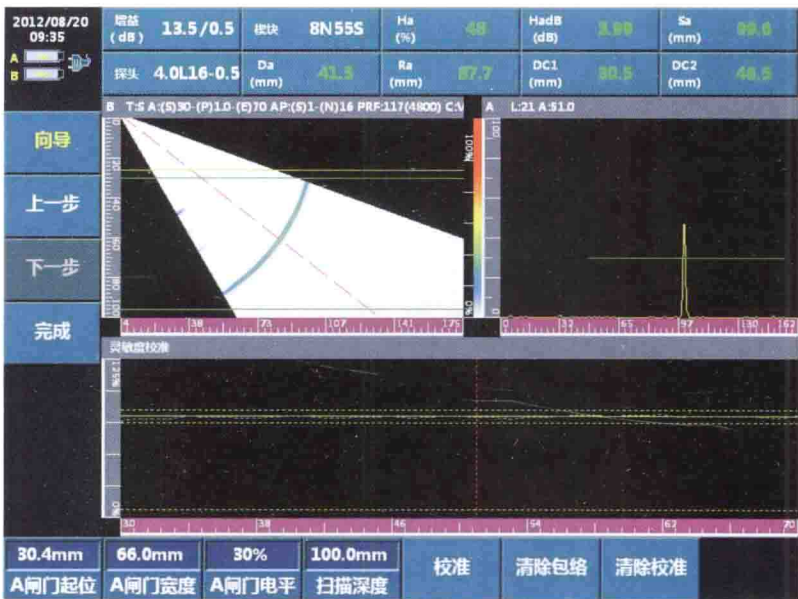


图 7-28 灵敏度校准

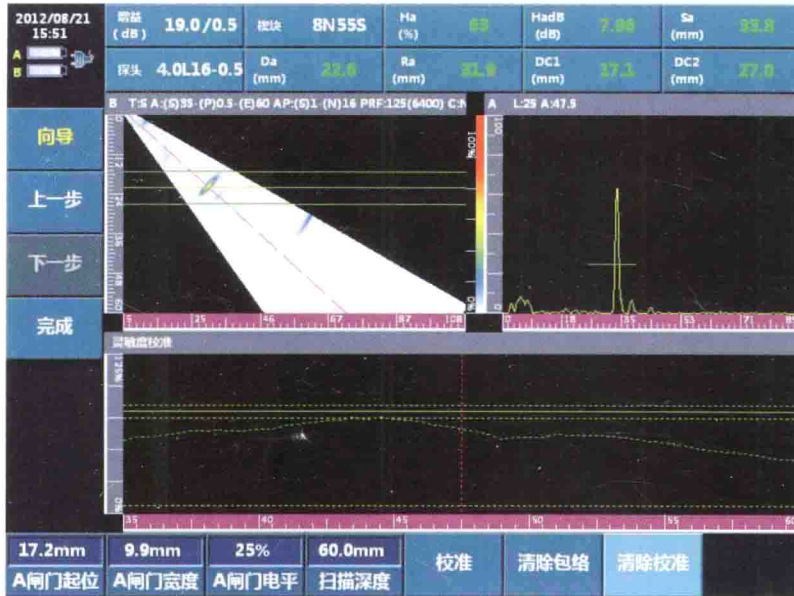


图 7-31 建立包络

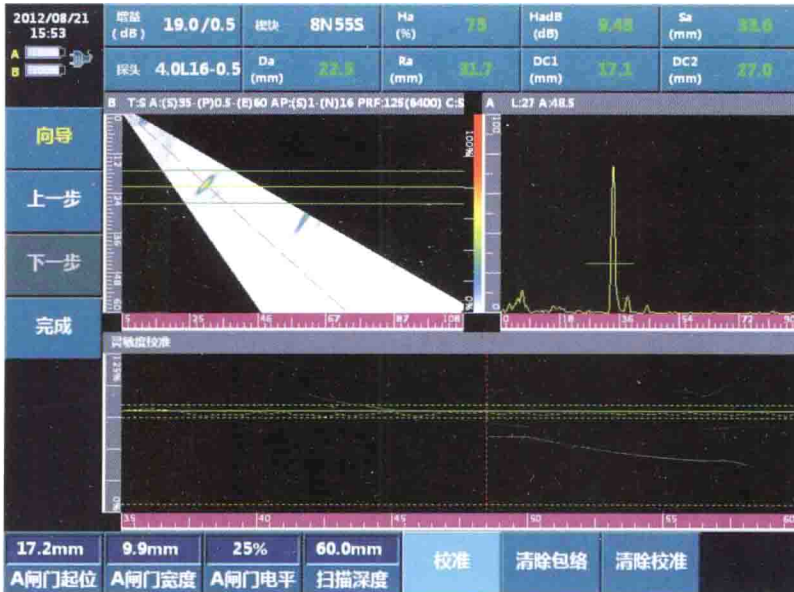


图 7-32 灵敏度校准



图 7-35 建立包络



图 7-36 灵敏度校准

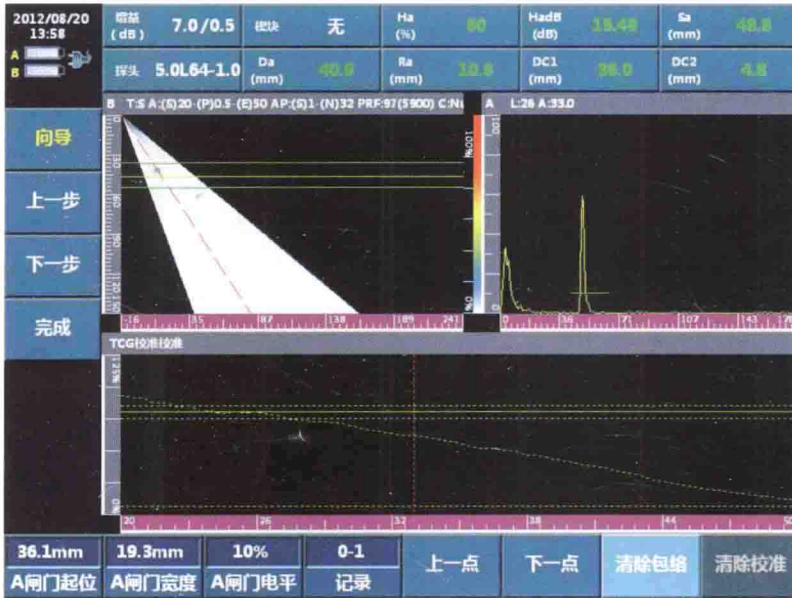


图 7-39 建立记录点 1 包络

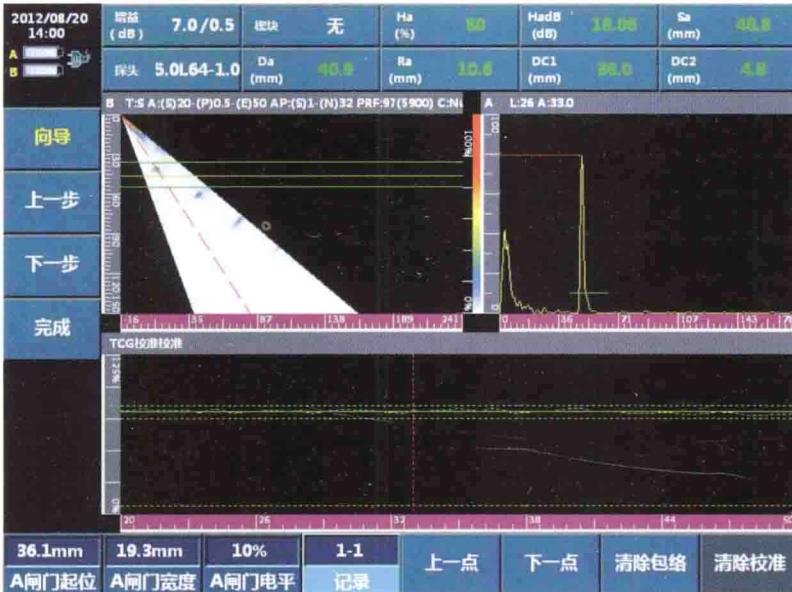


图 7-41 记录点 1 校准完成



图 7-46 建立记录点 1 包络

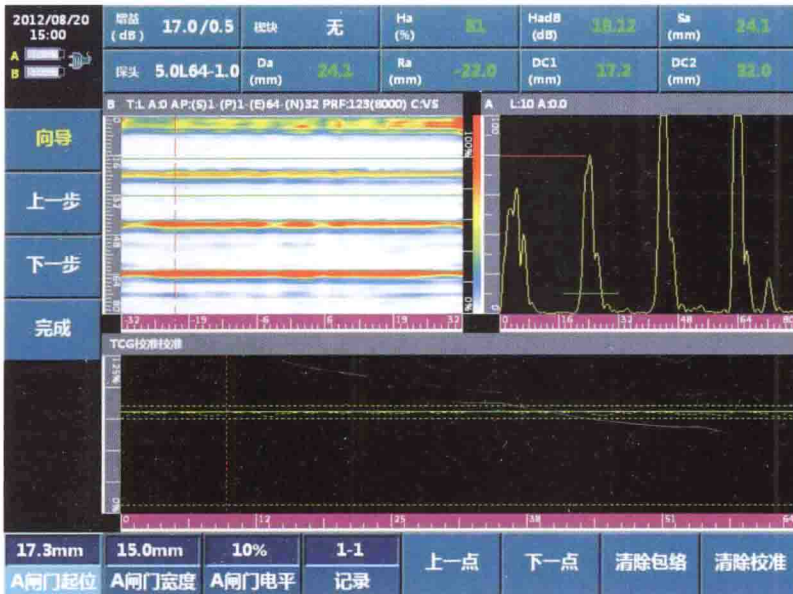


图 7-47 记录点 1 校准完成

序 言

工业超声 NDT 进入 21 世纪,计算机成像技术(CITs)获得了最重要的发展,而 CITs 应用,应首推相控阵(包括 TOFD)技术。20 世纪 90 年代中期,Olympus NDT 的前身 R/D 科技公司成为工业相控阵超声技术的开发先导,随后 20 年间,相控阵超声检测作为一种成熟的高端技术,在世界各地获得日益广泛的应用。我国于 21 世纪初,在全程 4000 km 的西气东输管道上,首先成功应用相控阵技术进行焊接在线检测。基于相控阵的种种技术优势,近年来,国内多种工业领域都在积极推广使用,而且出现了多家制造相控阵超声检测仪器的公司,有的还能提供自制专用探头和专用软件。

本书前 4 章和第 10 章,是在 R/D 科技公司 10 年前推出的有关工业相控阵技术应用介绍的初作基础上,根据 2007 年和 2008 年在国内专业期刊上连续发表的专题讲座材料,历经半年时间,作了全面修订,并参照相关经典系列新版,增补了一些很有实用价值的新内容,如图谱解读和探头标识等。修订时,对原文图表、公式、术语及行文表述,均作了全面校改和适当修正。

国际权威法规 ASME 自 2010 版开始,中间经 2011a,到最新版 2013,至今列入法规的重要标准有 SE-2491 和 SE-2700,还有 5 个强制性附录。这些法规标准为相控阵超声在工业上的普及应用和完善提高,提供了强大的技术支撑。

相控阵技术在工业上用途极为广泛,书中解析的应用强调了这一事实。所举实例有来自核电工业、航空航天、管道工业的,也有来自一般制造行业的。新课题,诸如仪器评定、设备校验、设备置换,以及探头测试等,也都作了概略介绍和示范说明。PAUT 技术对工程临界评定所需要的很多数据,显示了良好的可靠性,本书对此作了概述和简析。

相控阵在当今和未来工业无损检测中发挥的作用日益彰显,无论是在制或在用检测,为确保结构完整性,相控阵无疑是极为重要的检测手段,能灵活、快速、可靠、有重复性地检出和定量缺陷,适应多种工业需求。目前,相控阵技术正推向一个新高度、新境界,即聚焦、检测、定量和图像显示(简称“四优化”),解决了很多经典难题。随着工业和科技发展,相控阵技术应用还将向高、精、深、细推进,企盼本书内容在今后教学和应用实践中,博采众长,吐故纳新,不断修正完善。



2014 年 5 月

前 言

超声相控阵成像检测技术是采用多阵元的阵列换能器,依靠计算机技术控制阵列中各阵元发射超声波的时间来控制各阵元的声束在声场中偏转、聚焦,或控制接收阵列换能器中各阵元接收回波信号的时间,进行偏转、聚焦成像检测的一种高端技术,是目前超声检测技术中的发展热点之一。由于其声束偏转角度、焦距位置等参数可以在一定范围内连续、动态可调,从而使得超声相控阵成像检测更加快捷、高效。超声相控阵成像检测技术是由医学领域发展到工业领域的,现已有国内外厂家生产此类超声相控阵仪器,并取得了良好的效果。

本书具体章节安排如下:第1章介绍了超声相控阵的基本概念,包括成像原理、延时法则或聚焦法则、相控阵系统的基本组成、相控阵基本扫描与成像等;第2章介绍了超声相控阵检测的多种扫查模式和常用的图像显示模式;第3章介绍了探头和声场,包括相控阵探头的常用材料、探头的特性、探头声场特性、探头实例等;第4章介绍了超声相控阵检测的主要公式和基本参数;第5章介绍了仪器的菜单界面、基本功能等;第6章介绍了相控阵扫描及测量的方法;第7章介绍了仪器的向导程序,包括仪器的声束校准、延迟校准、灵敏度校准、TCG校准、焊缝模拟等;第8章介绍了仪器管理操作,包括存储管理、编码器管理、探头管理、楔块管理等;第9章介绍了仪器的设置及配附件,包括仪器的设置、相控阵探头及楔块、电池及适配器等;第10章介绍了超声相控阵检测的工业应用实例;第11章介绍了仪器保养和常见问题,包括人员培训、仪器保养和维修的说明、常见问题的解决办法等。

本书由王悦民教授、李衍高级工程师、陈和坤高级工程师负责编写,全书由王悦民教授统稿。

在超声相控阵理论方面,李衍高工翻译了大量外文文献,本书将其相关内容编译其中,实验操作部分参考了汕头超声仪器研究所有限公司提供的相关资料,特向译者及相关作者表示感谢。

本书在编写过程中参阅了大量其他著作和文献资料,特向有关作者表示感谢。另外,感谢教研室全体同志的大力支持和帮助。

超声相控阵检测技术是一种较新的超声检测技术,希望本书能对相关专业的学生及人员提供帮助。但由于作者水平所限,书中错误和不妥之处在所难免,殷切希望广大读者及同仁提出宝贵意见。

作者

2014年5月于武汉

目 录

第 1 章 基本概念	1
1.1 引言	1
1.2 超声相控阵原理	2
1.2.1 概述	2
1.2.2 特点	2
1.2.3 发射和接收	3
1.2.4 延时和聚焦	3
1.2.5 扫描模式	4
1.3 相控阵延时法则或聚焦法则	6
1.3.1 意义	6
1.3.2 示例	6
1.3.3 无斜楔探头	6
1.3.4 有斜楔探头	6
1.3.5 延时容差	8
1.4 相控阵系统基本组成	9
1.5 相控阵基本扫描与成像	9
1.5.1 B 扫描显示和 S 扫描显示	9
1.5.2 组合扫描显示	10
1.5.3 相控阵图像示例	10
1.6 相控阵超声技术的局限性与发展动向	11
1.7 小结	13
第 2 章 扫查模式和图像显示	14
2.1 超声相控阵扫查模式	14
2.1.1 双向式扫查	14
2.1.2 单向式扫查	14
2.1.3 直线式扫查	15
2.1.4 转角式扫查	15
2.1.5 螺旋式扫查	16
2.1.6 螺线式扫查	16

2.1.7	扫查声束方向	16
2.1.8	其他扫查模式	17
2.1.9	扫查时基模式	17
2.2	相控阵扫查图像显示模式	18
2.2.1	A 显示	19
2.2.2	B 显示	20
2.2.3	C 显示	20
2.2.4	D 显示	20
2.2.5	S 显示	21
2.2.6	极坐标图	21
2.2.7	带状图	22
2.2.8	多视图和汇总图	22
2.2.9	TOFD 图	24
2.2.10	TOFD 法与脉冲回波法	24
2.2.11	组合带状图	25
2.2.12	立方体展开显像图	26
2.3	小结	26
第 3 章	探头和超声声场	27
3.1	换能器材料	27
3.1.1	主要问题	27
3.1.2	匹配层及电缆	27
3.1.3	阻尼材料	28
3.1.4	压电复合结构	28
3.2	工业相控阵探头	29
3.2.1	探头类型	29
3.2.2	聚焦模式	31
3.3	相控阵探头特性	32
3.3.1	线型阵列	32
3.3.2	声束宽度	36
3.3.3	焦深与场深	39
3.3.4	相控阵分辨力	40
3.4	相控阵声场特征	43
3.4.1	相控阵超声波瓣	43
3.4.2	动态深度聚焦	44
3.5	有斜楔相控阵探头	46
3.5.1	楔内延时	46

3.5.2	入射点后沿距离	47
3.5.3	入射点位移量	47
3.5.4	斜楔楔内声束偏转	48
3.5.5	探头和楔块位置	49
3.6	二维矩阵探头	51
3.7	聚焦法则计算器	53
3.8	标准阵列探头	55
3.9	相控阵探头的其他特征	56
3.9.1	灵敏度	56
3.9.2	电阻抗	56
3.9.3	串扰幅度	56
3.9.4	信噪比	56
3.9.5	时间—频率响应特征	57
3.10	相控阵探头设计	58
3.10.1	模拟软件	58
3.10.2	探头设计	58
3.11	超声设置细节	60
3.12	探头标识	63
3.13	探头特性定期校核	64
3.13.1	探头表征	64
3.13.2	允许误差	64
3.13.3	曲面楔块	65
3.14	工业相控阵探头	66
3.15	小结	69
第4章	相控阵超声主要公式和基本参数	71
4.1	超声物理基本参数	71
4.1.1	声波表征和波形	71
4.1.2	超声声速和波长	72
4.1.3	超声建模	73
4.1.4	温度对声速及扫查范围的影响	76
4.2	超声发射声场和回波特性	78
4.2.1	圆形换能器	78
4.2.2	矩形换能器	83
4.2.3	聚焦声场	84
4.2.4	时频响应	88
4.2.5	基于带宽(阻尼)的探头分类和用途	89

4.3	超声与人工反射体的相互作用	90
4.3.1	可检测区范围	90
4.3.2	平底孔反射体的 DGS 曲线	91
4.3.3	信噪比的评价与取值	92
4.3.4	调整灵敏度用的人工反射体	92
4.4	超声衰减问题	94
4.4.1	声衰减系数	94
4.4.2	声衰减与频率的相关性	95
4.5	基于衍射波和变形波的相控阵超声缺陷定量	96
4.5.1	衍射时差法	96
4.5.2	相对时差法	101
4.5.3	绝对时差法	102
4.5.4	变形波法	103
4.5.5	爬波法	104
4.5.6	串联法	106
4.5.7	卫星脉冲回波法	107
4.6	圆形试件的检测	107
4.6.1	曲表面耦合	107
4.6.2	缺陷定位修正	108
4.7	小缺陷测长	108
4.7.1	测长要点	108
4.7.2	测长示例	109
4.8	相控阵超声检测的可靠性	109
第5章	仪器	111
5.1	外观	111
5.2	按键	113
5.3	供电	114
5.3.1	供电方式	114
5.3.2	供电标识	114
5.4	基本操作	115
5.4.1	开机	115
5.4.2	关机	115
5.5	显示界面	115
5.6	标尺	116
5.7	菜单结构	118
5.8	菜单操作	121