

袁易全 主编

袁易全
陈思忠 等著

近代超声

原理与应用

南京大学出版社

近代超声原理及应用

袁易全 主编

功率超声部分

陈思忠 袁易全 冯若 著

检测超声部分

袁易全 章肖融 陈思忠
刘宗杰 王兆球 郭延芬 著

南京大学出版社

内容简介

以实用为目的,系统阐述超声原理及应用。包括:功率超声及检测超声,合计26章,80余万字。它由作者近年来从各个角度完成国家、部(省)级攻关项目、自然科学基金、应用基础研究及高新技术开发研制等工作后的结晶,也是理论与实践的总结。

功率超声共分11章。第一章原理;第二章至第七章超声清洗、焊接、加工、分散、处理及超声马达;第八章声化学;第九、十两章功率超声在工业医疗中的应用;第十一章功率超声测试技术。

检测超声共分15章。第十二章检测超声基础;第十三章检测超声参数测量技术;第十四章检测超声电路及信号处理;第十五章超声流量计;第十六章超声波测厚仪;第十七章超声波检漏仪;第十八章空气超声换能器检测应用;第十九章激光超声及应用;第二十章超声定位及距离几何;第二十一章木材检测超声;第二十二章超声波金属探伤;第二十三章超声浓度检测;第二十四章超声对力、风速及交通流量检测;第二十五章电力变压器局放超声检测;第二十六章水下超声定位与探测。

本书突出重点、由浅入深并兼顾原理与应用、新成就与基本技能以及完整性与实用性的关系。本书含有很多近代超声交叉技术的崭新内容,适用于广大工程技术、研究生、教师及相关学术专业人员阅读参考。

责任编辑 雷家煜

近代超声原理及应用

袁易全 主编

*

南京大学出版社

江苏省新华书店发行 南京新中彩色印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 35.125 字数 846 千

1996年4月第1版 1996年4月第1次印刷

印数:2000册

ISBN 7-305-02893-2/TN·6

定价:50.00元

序

声学是物理学中渗透性很强的一个分支学科。声学技术与众多学科交叉,相互促进,发展极为迅速。近年来,我国出版了多部声学专著,对我国声学技术的发展起到了很大的推动作用。在超声方面,南京大学范百刚同志编著的“超声原理与应用”(1985年出版)和中科院声学研究所应崇福教授主编的“超声学”(1990年出版),较为全面系统地阐述了超声学的主要内容,反映了当时的进展与水平。由于超声技术的不断发展和更新,有必要对新近发展的超声新技术及其应用进一步加以介绍。“近代超声原理及应用”一书问世,正反映了当前国内外超声技术的最新发展概况。

超声技术包含内容极为广泛,很难全面概括地叙述和介绍。本书根据当前高科技发展的需要,以功率超声和检测超声为主要内容,突出其实用性,涉及国内外近百种超声仪器和技术。在功率超声方面有:超声清洗、焊接、加工、粉碎、处理等强功率超声在工业上的应用,以及超声治疗。在检测超声方面有:超声流量计、测厚仪、检漏仪、无损探伤、传感器和定位仪等等。在对以上仪器应用和技术进行充分描述的同时,对超声基础理论,如超声的激发与接收,超声换能器设计,计算机信号处理与自动控制以及超声的物理特性及其作用功能等也作了简要介绍。尤其对近代超声高技术分支的声化学和激光超声等进行了较为系统的论述。此外,对超声马达、空气耦合换能器及距离几何定位等新技术也初次在本超声学专著中有所反映。

参与编著的声学专家分别为高等院校和研究机构的科技工作者,均在各自的领域从事过多年的研究工作。熟悉掌握国内外有关领域的研究动态和进展,且在自身的研究工作中获得多项创新的结果。在本书的撰写过程中,他们总结国内外的科研新成果,包括自己及本单位的研究成果,荟萃精华,融汇于本书之中。本书主编为东南大学袁易全教授,长期从事水声、超声换能器及系统信息处理研究,成绩卓著、硕果累累。曾独著和合著出版多部有关超声范畴的专著,在撰写和组稿方面都积累了丰富的经验。因此,本书的出版是我国超声科技工作者不断取得成果的一种标志。

我相信,本书的问世,必将使广大活跃在超声研究领域的科技工作者大为获益,并对我国超声技术与应用的发展起着重要的推动作用。故乐于为之作序,并作推荐。

张淑仪

1996年3月于南京大学

前 言

超声技术是学术界、工程界公认的高新技术与未来产业之一。近廿年来,这项高新技术随着物理、机械、电子、材料学的长足进步及许多边缘或交叉工业领域的需求,而得到迅猛发展。相应的研究论文与著作已有众多出版物(见第一章文献[1—31])。然而,紧密结合应用的专著尚不多见。处在超声技术应用第一线的广大工程技术人员,越来越迫切需要一本侧重应用角度描述近代超声原理、设计及产品开发极有启发的书籍。本书的出版适应了这一要求。本书有以下四个特点:

第一、本书突出了系统性。宗旨虽以应用为主,但围绕工程技术特点,辟出专门章节系统介绍了超声功能原理、设计和效果。尤其对近代超声高新技术分支的声化学、激光超声及超声距离几何定位等特别注意系统论述。

第二、本书突出了实用性。各章节中,除少数边缘交叉学术性较强的内容外,都绕过许多繁琐的数学公式和推导,让读者获得直接用于设计的公式和图表。本书侧重于实用效果,汇集了近百种实用科研成果和开发产品。

第三、本书突出了核心技术。例如,对超声聚能器及大功率换能器、功率推动源及其电路匹配、PVDF 传感器、空气耦合换能器、激光超声应用、声化学应用、超声马达及超声水声定位的信号处理等新技术作了精辟论述。

第四、本书突出了先进性。对当前国内外近代功率超声及检测超声实用技术的主要方面,本书已有了足够的论述和介绍。

本书共二十六章,80余万字。将上、下两册装订在一起:上册功率超声(前十一章),下册检测超声(后十五章)。

第一章功率超声基本原理。主要论述:超声基础、超声聚能器、大功率超声换能器设计原理、产生超声的电路及功率源电路与换能器匹配技术等。第二章超声清洗。主要论述:超声清洗的原理、组成、分类、特点及应用实例等。第三章超声波焊接。主要论述:第一、超声波塑料焊接原理、组成、特性、焊接方法、焊面设计、负载阻抗匹配及应用实例等;第二、超声波金属材料超声焊接机理、特点、种类、应用实例等;第三、超声花边缝合机原理、组成、特点、技术规范等。第四章超声加工。主要论述:超声加工原理、超声钻孔、超声切削、超声抛光、超声研磨、超声金属塑性加工(包括:金属拉丝、拉管、弯管及轧制等)。第五章超声波分散。主要论述:超声波分散原理及各种应用实例(包括:均化器、粉碎机、催化器、燃料油改质、乳化、燃油掺水、雾化及金属粉末超细等实用技术)。第六章超声波处理。主要论述:超声搪锡(机理、技术参数及实例)、超声凝聚(机理、效应分析及实例)及超声淬火(原理、实例)。第七章超声马达,主要论述:基本原理、环状行波超声马达、复合换能器型超声马达及纵弯模式转换型超声马达。第八章声化学。主要是论述利用超声波加速化学反应,提高化学产率的超声原理、超声技术及超声技术应用。第九章功率超声在其它工业中的应用(包石油工业、化工、环保、卫生、轻工、食品及农业等)。第十章功率超声在治疗疾病中的应用(包括:生理效应、机械效应、空化效应、声流效应、触变效应、弥散效应及各种超声临床治疗机理效果分析及实例)。第十一章功率超声中的参数测试技术。主要论述:压电陶瓷材料参数的测量;发射换能器输入电功率、输出声功率及电声效率测量;超声换能器发射声功率的测量等。

第十二章检测超声基础。主要论述:超声物理特性、量纲和单位、发展史及应用概述;检

测超声换能器原理(PZT 换能器及 PVDF 传感器)。第十三章检测超声参数测量技术(包括: 压电陶瓷测量及换能器特性测量)。第十四章检测超声典型电路与微机信号处理技术简介。电路设计(包括: 发射、接收电路及与换能器匹配电路); 处理技术(包括: 单片机、采集、数据触发、信号识别、时延估计及软件设计)。第十五章超声波流量计。管外夹持式超声流量计; 超声流量传感器; 流量计软件系统及流量计安装与标定方法。第十六章超声波测厚仪。原理、电路设计及软件包; 超声高温测厚仪(包括: 温度传输过程分析及高温超声换能器); 人眼超声波测厚仪(包括: A 超、A/B 超、角膜测厚及眼球直径测定等)。第十七章超声波检漏仪。原理、类型及设计技术; 高灵敏度超声检漏传感器; 应用前景。第十八章空气耦合超声换能器及其检测应用。空气耦合超声无损检测的概况、换能器设计及检测应用。第十九章激光超声。主要论述激光超声的激发、接收及干涉仪; 重点介绍脉冲激光超声的最新应用。第二十章超声定位与距离几何。重点将距离几何学引入超声定位技术, 论述利用几何约束作定位数据处理的新方法。第二十一章木材检测中的声发射与声—超声技术。主要论述超声波在木材中检测的原理、设备及应用。第二十二章超声波金属探伤。超声探伤原理、方法及探伤仪; 超声波探伤新技术。第二十三章超声波浓度检测技术。超声波液体浓度检测; 浓度的声速测定。第二十四章超声力、风速及交通流量的检测技术。第二十五章电力变压器(电抗器)局部放电超声检测与定位技术。主要论述绝缘故障局放超声检测原理、传感器; 局放超声波特性与测试技术; 局放超声在线检测定位系统的设计与应用实例。第二十六章水下超声定位探测。主要介绍声呐原理及应用; 水下超声定位探测的新技术(包括: 时频分析和子波变换; 人工神经网络; 匹配场处理)。

本著作的构思和组稿均由本人负责。此外, 本人撰写了第一章 § 1.1、§ 1.2、§ 1.3、第十二、十三、十四、十五、十六、十七、二十五章及附录。上海船舶电子设备研究所陈思忠撰写了第一章 § 1.4、§ 1.5、第二、三、四、五、六、七、九、十、十一、二十二、二十三及二十四章; 南京大学冯若撰写了第八章; 南京大学王兆球撰写了第十八章; 南京大学章肖融撰写了第十九章; 南京林业大学刘宗杰撰写了第二十、二十一章; 东南大学郭延芬撰写了第二十六章; 本书第十四章由东南大学王向阳执笔。

本书在撰写过程中始终得到南京大学声学所所长、博士生导师、中国科学院院士张淑仪教授的鼓励、关怀和热忱指导, 并亲自为本书作了序; 中船总公司上海船舶电子设备研究所总工程师、博士生导师姚蓝教授对本书作了审阅。中船总公司上海船舶电子设备研究所所长李贵春研究员对本书编著给予关怀和支持。南京 714 厂管泓同志及北京三益超声器材厂徐大为同志分别为第十六章及附录提供部分资料。无锡市康宁医疗电子设备开发公司张宝华总经理为本书第十六章提供了 A 超—角膜测厚等资料。徐开兴同志为本书翻译了部份日文参考资料。全书的稿图由中科院南京地理与湖泊研究所张辉玉同志清绘。作者在此一并表示衷心感谢。

本书涉及到物理、数学、声学、化学、激光、电子、机械振动及医疗等多门学科, 知识面宽。由于我们经验不足且时间仓促, 难免存有错漏和不妥之处, 恳请读者批评指正。

袁易全

1996 年 3 月于东南大学

目 录

功率超声部分

第一章 功率超声基本原理	1
第一节 超声波基础知识	1
一、超声学发展史和超声在国民经济中的地位	1
二、功率超声概述	3
三、超声场及其特征量	4
四、超声场的物理性质	4
五、超声场的作用	5
第二节 超声波聚能器	6
一、等截面变幅杆	7
二、半波长变截面变幅杆	8
三、组合变幅杆.....	10
四、四分之一波长聚能器.....	11
第三节 大功率超声换能器设计原理	14
一、超声换能器的换能材料.....	14
二、半波长功率超声换能器.....	19
三、四分之一波长功率超声换能器.....	22
四、大功率超声聚焦型纵向复合棒换能器.....	23
五、大功率纵向复合换能器极限分析.....	29
第四节 产生超声波的功率源电路	31
一、关于谐振问题<频率自动跟踪>.....	32
二、末级功率放大器的原理与设计.....	34
三、功率合成放大器.....	39
四、放大器的输出功率调节.....	42
五、功率放大器的保护.....	42
第五节 超声波发生器与换能器的匹配设计	44
一、匹配概述.....	44
二、阻抗匹配.....	44
三、调谐匹配.....	45
四、关于匹配电感的设计.....	47
五、功率换能器的自耦变压器匹配.....	48

参考文献	53
第二章 超声波清洗	55
第一节 超声波清洗的原理	55
第二节 超声清洗机的组成	57
第三节 超声波清洗的分类	60
第四节 超声波清洗中应注意的几个问题	61
第五节 超声清洗的主要应用场合	63
参考文献	64
第三章 超声波焊接	65
第一节 超声波塑料焊接	65
一、概述	65
二、超声塑料焊接的原理与条件	65
三、超声波塑料焊接的相容性和适应性	68
四、超声塑料焊接的几种方法	69
五、超声塑料焊接的焊点、焊面设计	70
六、超声波塑料焊接机的组成及其作用	72
七、关于负载阻抗匹配问题	73
八、超声塑料焊接机操作的基本程序	75
九、超声波塑料焊接机的型号和规格	75
第二节 超声花边缝合	76
一、超声花边缝合工作原理	76
二、超声花边缝合机功能	76
三、超声花边缝合机主要特点	77
四、超声花边缝合机的用途	78
五、超声花边缝合机型号规格	78
六、超声花边缝合机电路图及整机照片图	78
第三节 金属材料的超声焊接	81
一、概述	81
二、金属材料超声焊接的特点	81
三、金属材料超声焊接机理与条件	82
四、焊接的种类及应用	84
五、金属材料超声焊接的型号与参数	87
参考文献	87
第四章 超声加工	89
第一节 概述	89
第二节 超声加工原理	89
第三节 超声钻孔	90
第四节 超声波振动切削	92
一、超声振动切削条件与切削效果机理	92
二、超声振动切削特点	92

三、超声切削装置组成	93
四、使用展望	94
第五节 超声波研磨、抛光	94
一、超声波研磨、抛光原理	94
二、超声波研磨、抛光的几种类型	95
三、超声波研磨、抛光特点	95
四、超声波研磨、抛光用工具头	95
五、超声波研磨、抛光机的有关性能参数	96
六、超声研磨抛光的应用	97
第六节 超声波金属塑性加工	97
一、超声波金属塑性加工原理	97
二、超声波金属拉管	98
三、超声波金属拉丝	99
四、超声波弯管	99
五、超声波轧制	100
参考文献	101
第五章 超声波分散	102
第一节 概述	102
一、关于分散系	102
二、超声波分散法应用实例	103
第二节 超声均化器	104
一、超声均化器的组成与原理	104
二、分散工具头	105
三、超声分散的效果	105
四、超声均化器的结构与技术规格	105
第三节 超声粉碎	106
一、超声燃料油改质装置	106
二、超声粉碎催化剂	108
三、超声粉碎生物材料	108
第四节 超声乳化	109
一、概述	109
二、超声燃油渗水	109
三、蜡与水的超声乳化	110
四、超声雾化	111
五、制取金属粉末的超声雾化器	113
参考文献	114
第六章 超声处理	115
第一节 概述	115
第二节 超声搪锡	115
一、超声搪锡的机理	115

二、超声搪锡技术参数	116
三、应用注意事项	116
第三节 超声凝聚	116
一、超声凝聚的机理	116
二、粒子在声场中的振动	117
三、声场中产生凝聚效应的恒定力	117
四、超声凝聚的主要因素	118
五、超声凝聚的应用	118
第四节 超声淬火	119
一、超声淬火原理	119
二、超声淬火设备	121
三、超声淬火效果	121
参考文献	123
第七章 超声马达	124
第一节 概述	124
第二节 超声马达基本原理	124
第三节 环状行波超声马达	125
第四节 复合换能器型超声马达	127
第五节 纵弯模式转换型超声马达	129
参考文献	131
第八章 声化学	133
第一节 前言	133
第二节 声空化—声化学反应的主动动力	134
一、产生超声效应的几种物理机制	134
二、空化过程的物理图像与定量表述	135
三、声空化的化学检测方法	137
四、影响声空化的物理因素	139
第二节 声化学反应器	144
一、液哨式声化学反应器	145
二、槽式声化学反应器	145
三、操头式声化学反应器	146
四、杯式声化学反应器	147
五、几种宜于工业上采用的声化学反应器	148
第四节 几种类型的声化学反应过程	149
一、均相反应	150
二、有固/液交界面参与的非均相反应	150
三、有液/液交界面参与的非均相反应	151
第五节 声化学研究的新进展	152
一、生物化学	152
二、有机合成	153

三、高分子的降解和聚合	153
四、分析化学	153
五、无机合成	153
六、电化学	154
七、光化学	154
八、立体化学	154
九、环境化学	154
十、其它	154
参考文献	154
第九章 功率超声在其他工业中的应用	158
第一节 超声在石油工业中的应用	158
一、超声在采油中的应用	158
二、超声波防蜡	159
三、超声波防盐垢	160
四、超声波原油脱水	161
第二节 超声波在环保业中的应用	161
一、超声除尘和净化水质	161
二、超声波防止锅垢	162
三、超声波电镀	162
第三节 超声在日常生活中的应用	163
一、超声波洗衣机	163
二、超声波洗碗机	163
三、超声波洗澡机	163
四、超声波美容机	164
五、超声波牙刷	164
第四节 超声在农业中的应用	164
一、超声技术育种	165
二、超声辐射诱变遗传创造农作物新品种	167
第五节 超声在食品工业中的应用	167
一、加速细化、乳化和扩散过程	167
二、超声凝聚、加速沉淀	167
三、酒的醇化—酒类的催陈技术	167
四、超声波提取生物中的某些物质	168
第六节 功率超声与激光的联合应用	168
一、声光特性	168
二、声光特性新应用	168
参考文献	169
第十章 功率超声在治疗疾病中的应用	170
第一节 概述	170
第二节 超声的生物效应	170

一、机械效应	170
二、热效应	170
三、空化效应	171
四、声流效应	171
五、触变效应	171
六、超声弥散效应	171
第三节 超声治疗的机理	171
第四节 超声治疗的剂量	172
第五节 超声治疗技术的某些临床应用	173
一、超声治疗在外科中的应用	173
二、超声治癌	177
三、超声治疗在内科中的应用	179
四、超声治疗临床应用效果	180
参考文献	183
第十一章 功率超声的测试技术	184
第一节 超声波发生器输出电功率的测量	184
第二节 声功率的测量方法	185
一、辐射方法	185
二、声光衍射法	186
三、量热法	186
四、轴向声压法	187
第三节 换能器参数的测量	187
一、导纳圆图法	187
二、工作状态下的声负载阻抗的测定	189
三、换能器电声效率的测量	190
第四节 位移振幅的测量	192
第五节 变幅杆谐振频率的测量	193
第六节 空化强度的测量	193
参考文献	194

检测超声部分

第十二章 检测超声基础	195
第一节 检测超声原理	195
一、检测超声在国民经济中的应用	195
二、检测超声概述	197

三、检测超声中的声物理特性	198
四、检测超声中物理参数量纲与单位	202
第二节 检测超声换能器原理	211
一、PZT 压电薄圆片检测超声换能器设计	211
二、PVDF 压电薄膜平面检测超声换能器设计	217
三、PVDF 压电薄膜内贴圆管型检测超声换能器设计	221
参考文献	224
第十三章 检测超声参数测量技术	226
第一节 脉冲循环法声速测量技术	226
一、概述	226
二、测量原理与方法	226
三、声速仪的工作原理	227
四、声速的经验公式	227
五、声速经验公式的求法	228
第二节 压电陶瓷材料参数的测量方法	229
第三节 超声换能器特性测量	230
一、概述	230
二、换能器的等效电路和阻抗特性分析	230
三、换能器阻抗(导纳)特性的测量方法	233
四、推导换能器带宽、品质因数、电声效率	235
参考文献	236
第十四章 检测超声典型电路与微机信号处理技术简介	238
第一节 检测超声系统中的电路设计	238
一、接收电路设计举例	238
二、发射电路设计举例	244
三、检测超声换能器与电路匹配	246
第二节 检测超声中微机信号处理技术	249
一、单片机控制系统技术	249
二、超声波形采集与储存技术	252
三、数据采集触发技术	254
四、信号识别技术	254
五、时延估计技术	257
六、系统软件包设计简介	258
参考文献	259
第十五章 超声波流量计	260
第一节 概述	260
第二节 管外夹持式超声流量计	261
一、流量计算公式	261
二、CL-Ⅱ型夹持式超声流量计设计	262
参考文献	272

第十六章 超声波测厚仪	273
第一节 概述	273
一、超声波工业测厚应用状况	273
二、超声波测厚仪种类及优缺点	273
第二节 共振、干涉式超声测厚仪简介	274
一、共振测厚仪	274
二、干涉式超声测厚仪	275
第三节 脉冲反射式超声测厚仪	276
一、原理	276
二、发射电路	276
三、接收电路	277
四、反射脉冲选通技术	278
五、控制显示电路	280
六、系统软件设计	283
第四节 高温测厚仪及其关键技术	284
一、高温测厚仪系统设计概述	284
二、温度传输过程理论分析	285
三、高温测厚换能器	287
第五节 眼睛超声检测仪	289
参考文献.....	291
第十七章 超声波检漏仪	293
第一节 超声检漏的基本原理和类型	293
一、被动式泄漏检测机理	293
二、主动式泄漏检测机理	294
第二节 超声检漏检测仪设计技术	294
第三节 CJ—2 型超声检漏仪	295
第四节 高灵敏度超声检漏传感器	296
一、概述	296
二、超声检漏传感器的设计理论	297
三、超声检漏传感器的结构和特性	299
第五节 超声检漏技术应用前景	300
参考文献.....	301
第十八章 空气耦合超声换能器及其检测应用	302
第一节 空气耦合超声检测概况	302
第二节 空气耦合超声换能器	303
一、静电式空气超声换能器	303
二、压电式空气超声换能器	304
第三节 空气中超声检测应用	308
一、空气中超声测距	309
二、超声物体识别	313

第四节 空气耦合超声无损检测	314
一、直接式空气耦合超声无损检测	314
二、激光激发超声的空气声换能器检测	316
参考文献	320
第十九章 激光超声	323
第一节 引言	323
一、什么叫激光超声	323
二、激光超声的特点	323
三、激光超声发展简史	324
四、本章要旨	326
第二节 激光超声的激光	326
一、概况	326
二、温度场的分布	328
三、热弹机制激发超声	329
四、激光融蚀激发超声	336
五、激光激发声表面波和兰姆波	340
六、热弹栅源激发超声	348
七、皮秒激光超声的激发	350
第三节 脉冲激光超声的接收	353
一、光偏转技术	353
二、表面栅衍射技术	354
三、光反射技术	355
四、零拍干涉仪	356
五、外差干涉仪技术	358
六、差分干涉仪	360
七、速度(或时延)干涉仪	360
八、共焦法卜利-珀罗干涉仪	362
九、电容(或电荷)换能器(ESAT)	365
十、电磁声换能器(EMATS)	366
第四节 脉冲激光超声的应用	369
一、标准声源	370
二、激光超声技术检测固体中的缺陷	374
三、激光超声测厚	379
四、激光超声测弹性模量	382
五、激光超声对材料特性的表征	387
六、激光超声在声显微镜中的应用	398
七、激光超声在工业上的应用	398
第五节 本章结束语	402
参考文献	403
第二十章 超声几何定位	411

第一节	引言	411
第二节	距离几何的若干基本概念及 Blumenthal 定理	411
第三节	超声定位中数据筛选处理的必要性	413
第四节	几何约束滤波	415
第五节	几何约束滤波器精度分析	416
	一、空间立体基阵的情形	416
	二、平面矩形基阵的情形	419
	三、数值举例	422
第六节	按时延定位的几何约束滤波	422
第七节	理论在电力变压器局放超声定位中的应用	424
	一、局放超声定位的等效声速	424
	二、局放的电声结合定位法	425
	三、局放的单纯超声定位法	427
	参考文献	427
第二十一章	木材检测中的声发射与声—超声技术	429
第一节	(超)声波在木材中的传播规律	429
	一、声速	429
	二、衰减	429
	三、声阻抗	430
第二节	声发射检测	431
第三节	声—超声检测	433
第四节	声发射及声—超声检测的设备	436
第五节	超声传感器与材料的耦合	436
第六节	缺陷定位	437
	参考文献	437
第二十二章	超声波探伤	440
第一节	超声探伤概述	440
第二节	超声探伤的基本原理	440
	一、超声探伤的物理特性	440
	二、超声探伤原理	444
第三节	超声探伤的各种方法	445
	一、脉冲反射法	445
	二、穿透法	448
	三、谐振法探伤	450
第四节	超声波探伤仪	450
	一、超声探伤换能器	450
	二、A 型显示超声探伤仪	453
	三、B 型显示超声探伤仪	456
	四、C 型显示超声探伤仪	456
第五节	超声探伤的新技术	458

一、超声探伤的信号处理与信号分析的新技术概况	458
二、时间渡越衍射技术	458
三、合成孔径成像技术	458
四、裂谱分析	458
五、能谱分析与相关	459
六、模式识别技术	459
七、聚类分析	460
八、三维图形重建	461
九、人工神经网络技术	461
参考文献	461
第二十三章 超声对浓度与声速的检测	463
第一节 超声对液体浓度的检测	463
一、超声波液体浓度检测原理	463
二、超声波浓度计与其它浓度计的比较	466
三、超声波浓度计在工业生产上在线检测的应用	467
第二节 超声波对材料的声速检测	468
一、概述	468
二、声循环法测量声速过程	468
三、声速的其它几种简易测量方法	470
参考文献	471
第二十四章 超声对力、风速及交通流量等的检测	472
第一节 超声测力	472
一、超声测试轴向应力的计算公式	472
二、超声波轴向应力测试的工作原理	472
三、声时应力常数	474
第二节 风速的超声测量	475
一、超声测量风速的原理	475
二、超声测量风速的特点与应用	476
第三节 温度的超声测量	476
第四节 交通流量的超声波检测	477
参考文献	479
第二十五章 电力变压器(电抗器)局部放电超声检测与定位技术	480
第一节 局放超声检测意义	480
第二节 局放超声传感器	481
一、局放超声传感器设计及其性能	481
二、超声传感器灵敏度与局放量关系	482
第三节 局部放电超声波特性分析与实验测试技术	483
一、局部放电超声声强测试与分析	484
二、局放超声的声速与温度、杂质关系测试结果	485
三、局部放电等值声速实验分析	485