

应崇福院士 90 生辰学术报告会论文

超声检测用压电换能器瞬态特性可控可调

李明轩[†]

(中国科学院声学研究所 北京 100190)

摘要 超声检测用压电换能器瞬态特性主要包括瞬态空间响应和瞬态时间响应。本文通过调整控制换能器和激励源,实现瞬态空间响应和瞬态时间响应的某些特性的可控可调。其中包括在空间响应方面消除边缘波以获得平行声束和消除平面波以获得聚焦绳声束;在时间响应方面,调整换能器的背衬阻抗以获得可调首次波幅比和调整换能器结构和激励电信号以获得任意检测信号等。

关键词 瞬态空间响应, 瞬态时间响应, 任意检测信号

Controllability over the transient performances of piezoelectric transducers used in ultrasonic testing

LI Ming-Xuan

(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract The transient performances of piezoelectric transducers used in ultrasonic testing mainly include transient spatial response and transient time response. This paper presents the ways to control and adjust the transient performances through changing the transducer structure and the exciting source. For the transient spatial response, it is possible to obtain a parallel acoustic beam by eliminating the edge wave, and a long axis focusing beam by eliminating the plane wave. For the transient time response, the first-second cycle amplitude ratio can be adjusted by changing the impedance of the transducer backing, while any arbitrary testing signal can be obtained by changing the transducer structure and the exciting signal.

Key words Transient spatial response, Transient time response, Arbitrary testing signal

1 引言

超声检测信号多数是脉冲信号,超声检测用压电换能器多数是在瞬态状态下工作。对

检测换能器的瞬态特性研究,是检测超声学的重要研究内容。换能器的瞬态特性主要有瞬态的时间响应(即脉冲信号的长短)和瞬态的空间响应(即检测声束的宽窄)两个方面。在检

2008-07-08 收稿; 2008-08-11 定稿

作者简介:李明轩(1939 -),男,辽宁桓仁人,1963年北京大学无线电系毕业,研究员,博士生导师。主要研究方向检测超声与超声检测。

[†] 通信联系人 E-mail: LMX@mail.ioa.ac.cn

测中,时间响应决定检测的纵向分辨率,空间响应决定检测的横向分辨率。

检测超声换能器的瞬态特性主要取决于换能器的结构和激励源。一旦换能器的结构和激励源被确定,其检测的瞬态特性便被确定。本文是从改变换能器结构和激励源信号入手,给出一些换能器瞬态特性的可控可调的例子。

2 瞬态空间响应的控制调整

换能器辐射的瞬态空间响应,主要由换能

器辐射面的形状和质点位移分布所决定。目前使用最多的常规换能器,是用圆形压电片加背衬和保护膜制成的。这种圆形等幅等相位质点分布的换能器在固体中辐射的瞬态空间响应如图 1 所示^[1]。一个圆形大压电片上涂有一个小圆形电极的压电片在水中辐射的瞬态空间响应如图 2 所示^[2]。从图 1 和图 2 可见,对于圆形辐射的换能器空间响应主要由平面波和边缘波构成。边缘波除对稳态形成旁瓣外,在检测中一个缺陷目标可以看到几个目标反射脉冲,如图 3 所示^[2]。

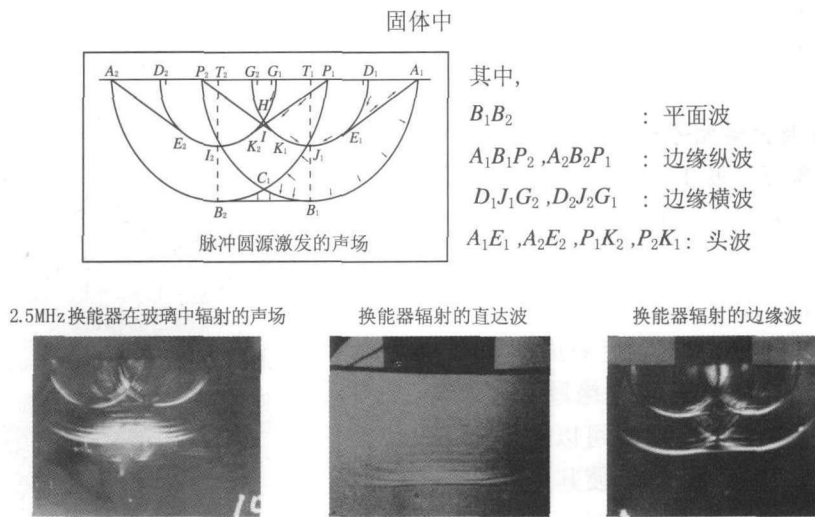
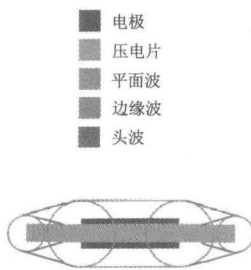


图 1 固体中辐射的瞬态空间响应

在液体中辐射的瞬态声场:



液体中的脉冲波

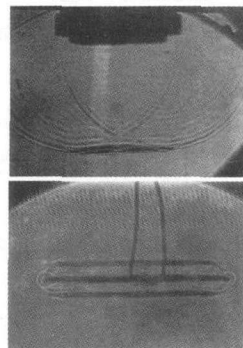


图 2 水中辐射的瞬态空间响应

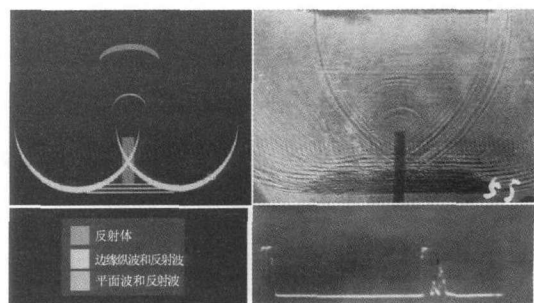


图 3 边缘波对检测的影响

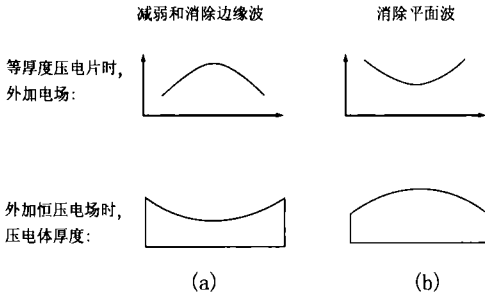


图4 消除边缘波的途径(a)和消除平面波的途径(b)

如果能够做到消除和减弱边缘波,可以得到无旁瓣或弱旁瓣的平行声束,在检测中可以消除如图3所示的影响。如果能实现消除或减弱平面波可获得只有边缘波在轴线上聚焦的绳声束。

2.1 消除边缘波获得无旁瓣声场

消除或减弱边缘波工作就是使换能器辐射面的边缘质点不振动或振动减弱。其做法可以有两个途径如图4(a)所示:其一改变等厚度压电片上的外加电场,使其压电片上的电场中间强边缘弱;其二对于恒定外加电场,改变压电片的厚度,使其中间薄边缘厚。对于1-3型压电复合材料压电片,还可以在等厚度恒压时通过改变压电相的密度使其中间体积比大边缘体积比小等来实现。图5给出的结果是通过做成大小电极减弱边缘电场强度的方法达到减弱或消除边缘波的目的。稳态无旁瓣声场如图6所示。在与图3所示同样条件下,可以得到如图7所示的检测结果。

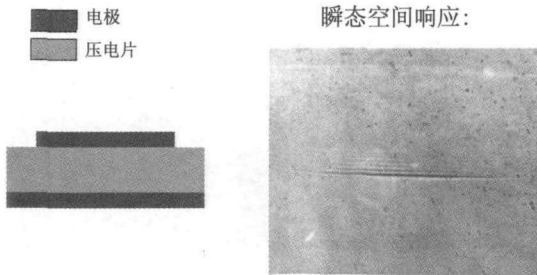


图5 消弱边缘波的效果

高斯型纵波换能器声场分布

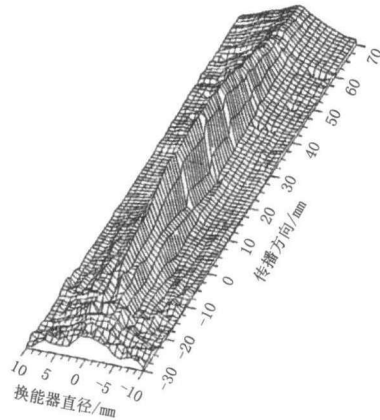


图6 无旁瓣声场

用于检测的效果

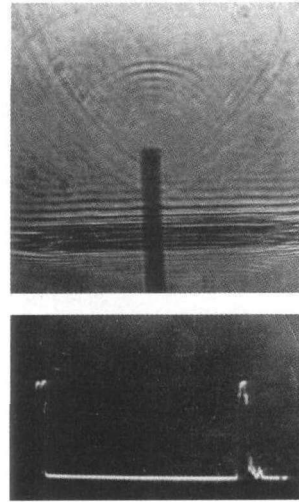


图7 去除边缘波后的检测效果

2.2 消除平面波获得边缘波聚焦绳声束

消除平面波可以实现边缘波在轴线上聚焦,获得绳声束。其做法可以有两个途径如图4(b)。其一等厚度压电片改变外加电场,使其中间弱或无,而边缘强。其二是恒压激励时通过改变压电片的厚度分布。同样对于1-3型压电复合材料可通过改变压电相的体积比,使其边缘部分体积比大而中间部分体积比小(如图8所示)来实现^[3]。这种聚焦的优点是无需外加透镜和液浸,可以与一般探头一样直接接触耦合,且焦柱长。但它的缺点是灵敏度较低。

1-3型复合材料换能器实现线声束聚焦

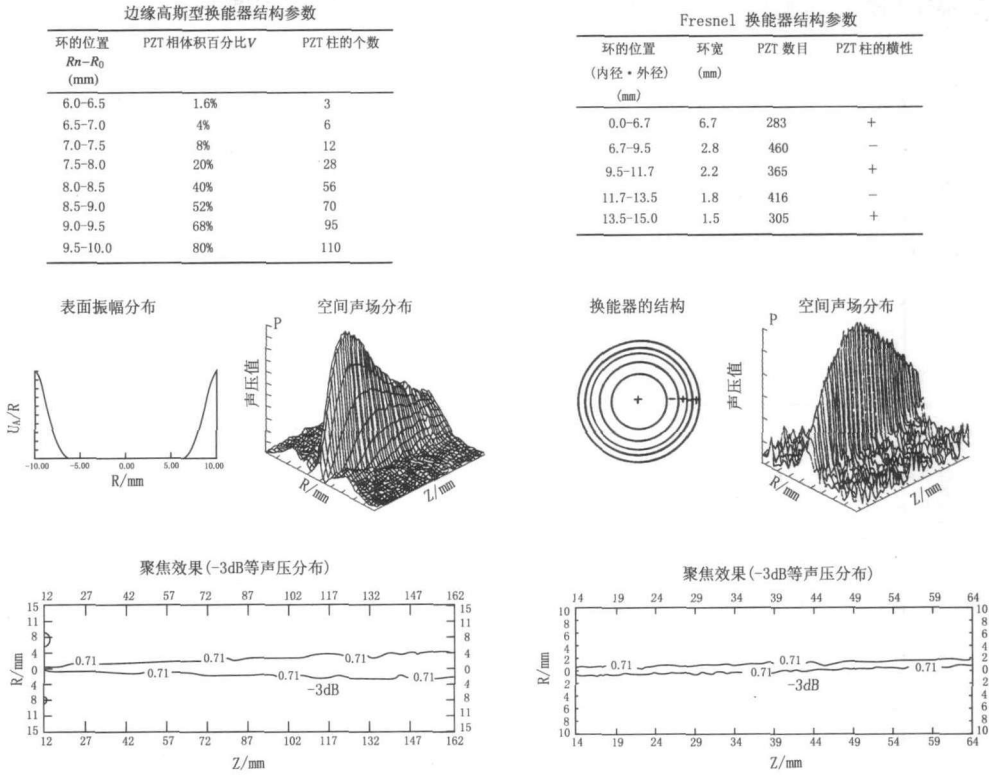


图 8 去除平面波后的绳声束聚焦

3 瞬态时间响应的控制调整

换能器的瞬态时间响应由换能器结构和激励信号所决定的。

影响换能器时间响应的换能器结构主要是压电片性能、背衬介质和保护膜。换能器换能主要是在电场不连续处产生,压电片表面电场不连续产生表面换能,压电片边缘电场不连续产生边缘波。由于压电片具有正压电效应和逆压电效应,表面换能同时还会产生声电再生换能^[4]。背衬介质除应具有良好的吸声特性外,其阻抗是否与压电片匹配起到重要的作用。通常在 δ 脉冲激励下,背衬与压电片阻抗匹配时可以得到一个周期最短的辐射声波,又发又收检测模式下可以得到一个半周期的检测信号。保护膜除了希望能有好的透声效果外,同时也会对辐射声脉冲带来影响^[5]。

在时间响应上激励电信号的影响^[6]:激励

电压的不连续点或者导数不连续点形成激励源点;恒压源激励时,表面换能部分是不同幅度和时延激励电压波形的迭加,声电再生换能部分的激励“源点”是激励电压不连续点和导数不连续点;非恒压源激励时,表面换能和声电再生换能作用发生“耦合”,激励电压的间断点和导数不连续点构成整个激励“源点”;辐射声波随激励源内阻的增加而减小^[7],随激励信号前沿上升或后沿下降时间的增加而减小。

3.1 控制检测信号首次波幅度比^[8]

在超声测量中,总希望换能器又发又收的输出电信号的首次波幅度比大于 1,即先大后小的检测信号。这样在测量声波传播时间时,可以避免由于检测信号先小后大而读不准到达时间引起较大的误差。正弦指数衰减脉冲激励下,换能器的检测信号随背衬负载阻抗的变化如图 9 所示。可见在背衬阻抗接近或大于压电片阻抗时,检测信号的首次波幅度比一

般接近1或者大于1,如表1所示。除了通过改变换能器结构控制检测信号首次波幅度比外,还可以通过改变激励源的办法。在阶跃电压激励下,一般都可以得到大于1的首次波幅度比。

接收换能器所输出的电压脉冲波形随背衬声阻率 R_B 的变化

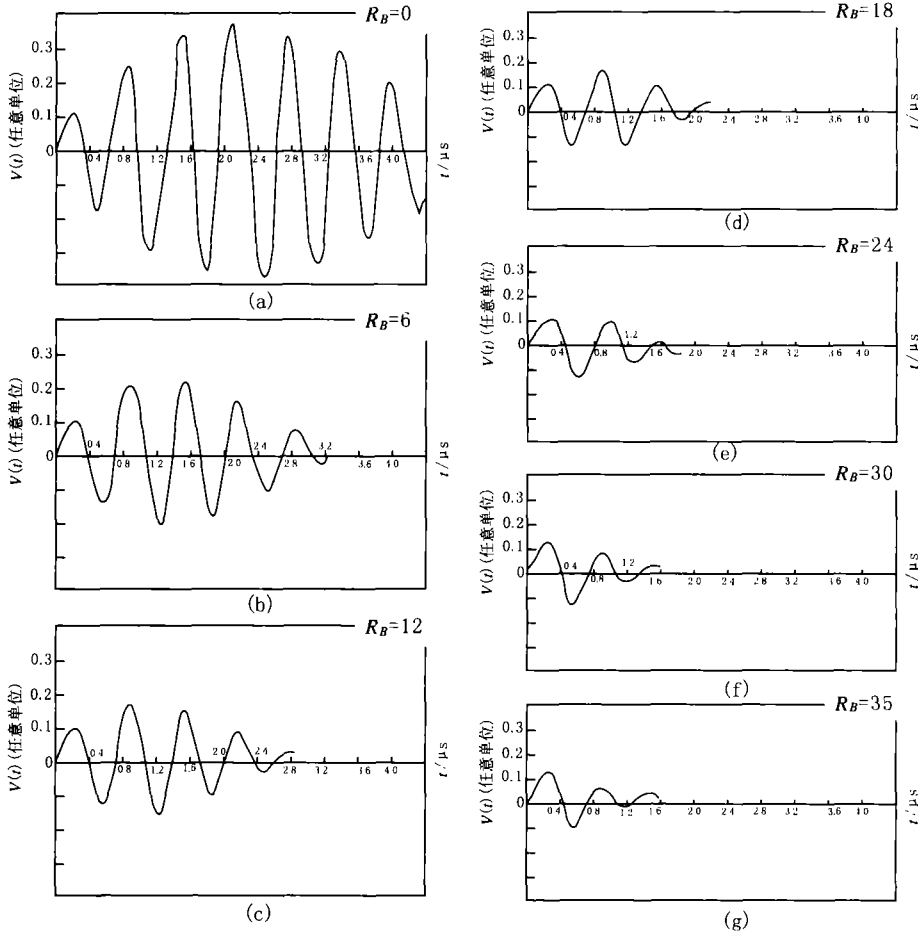


图9 换能器结构对首次波幅度比的影响

表1 激励源对首次波幅度比的影响
 δ 脉冲激励时的首次波幅比 α

$R_f \backslash R_B$	$> \frac{1}{3}R_r$	$\frac{1}{3}R_r$	$\frac{1}{7}R_r$	0
0	>1	$=1$	<1	<1
$\frac{1}{2}R_r$	>1	>1	$=1$	<1
R_r	>1	>1	>1	$=1$
$>R_r$	>1	>1	>1	$=1$

R_r 压电阻抗 R_B 背衬阻抗 R_f 负载阻抗

3.2 可提供任意检测信号的新型检测系统^[9]

作为时间瞬态响应可控可调的另一例,是通过将换能器与激励源合为一个系统,以提供

期望获得的任意检测信号。先设计出换能器,再根据换能器特性对激励信号作获得期望信号的优化设计,用计算机数字合成出所需要的激励信号,经过放大加到与之匹配的换能器上,便可以获得期望的检测信号,如图10所示。

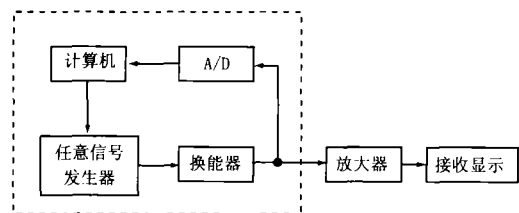


图10 新型检测系统

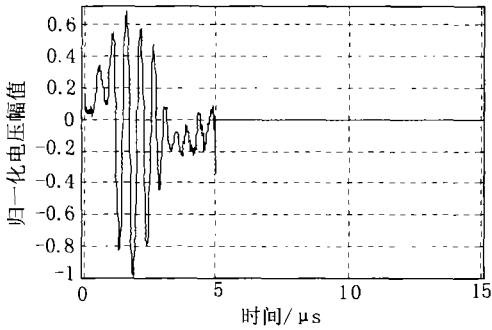


图11 为产生一周期检测信号的最佳激励信号

作为例一,期望得到一个周期的短脉冲检测信号。按常规换能器背衬与压电片最佳匹配状态下输出的最短检测信号也只能是一个半周期,无法得到一个周期的检测信号。为此我们专门研制了1号换能器,利用如图10所示的系统得到最佳匹配优化激励信号如图11所示,加到换能器上即可获得如图12所示的一周期检测信号,最大峰峰值为174.1mV。对该换能器如果使用如图13所示传统检测系统,尖脉冲激励电压最大峰峰值362.9V时获得检测信号如图14所示,最大峰峰值1.88V;新检测系统的匹配激励信号最大峰峰电压为16.7V,相比减小了 $368/16.7 = 22$ 倍,而得到的检测信号只减小了 $1.88/0.174 = 10.8$ 倍。使用这两种检测信号对6mm铝片进行检测,回波如图15所示,新的检测系统在纵向分辨率上的优势直观可见。图16比较了这两种检测信号的6db相对带宽,新系统由54%增加到116%。这在需要高纵向分辨率的薄层检测中是十分有意义的。

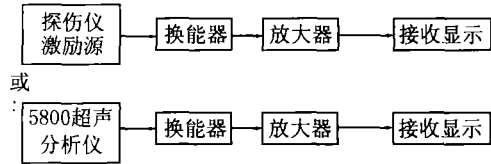


图13 传统检测系统

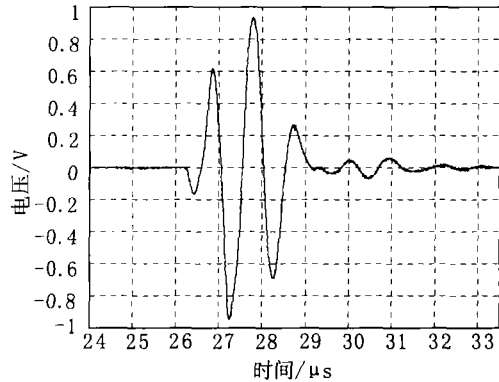


图14 1号换能器受尖脉冲激励得到的检测信号

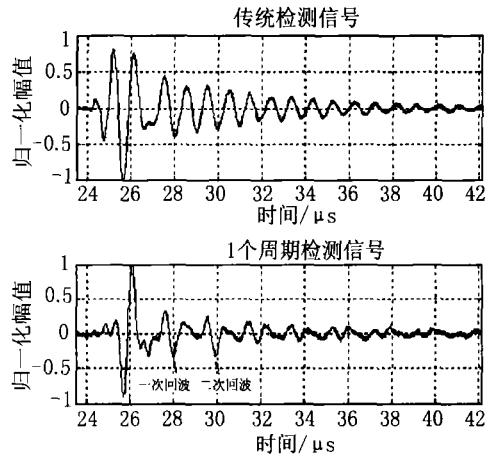


图15 两种检测信号在薄层内回波的比较

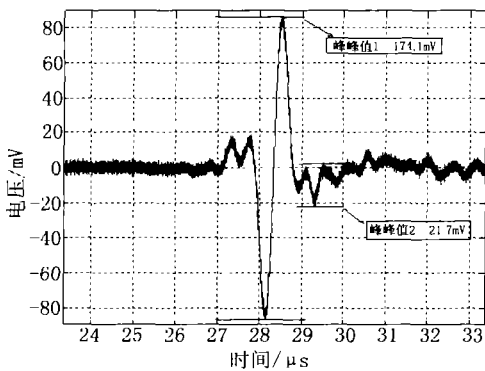


图12 一周期检测信号

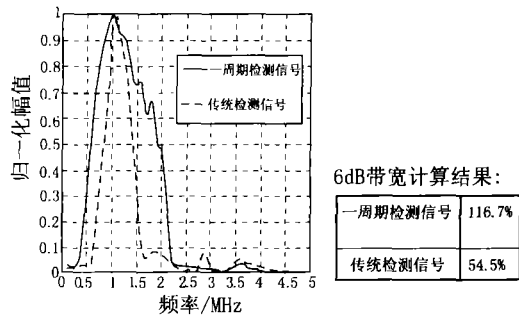


图16 两种检测信号相对带宽的比较

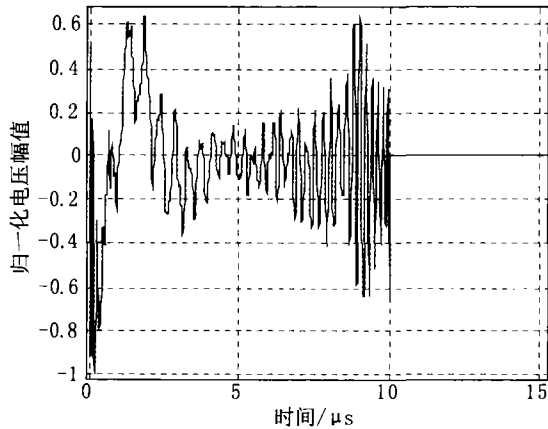


图17 产生线性调频检测信号的最佳激励信号

作为例二,在检测中有时需要一些如线性调频和编码等特殊检测信号,既能提高其检测信号的穿透力又能通过信号处理获得高分辨率。为此我们研制了2号换能器。期望获得一个线性调频的长脉冲检测信号。利用我们的检测系统获得与换能器相匹配的优化设计后的激励信号如图17所示。用形成的线性调频检测信号对6mm铝片进行检测,获得的回波信号如图18所示。对多次回波信号进行脉冲压缩后的结果如图19所示。如果提高时间带宽积,还可以得到分辨率更高的压缩结果。

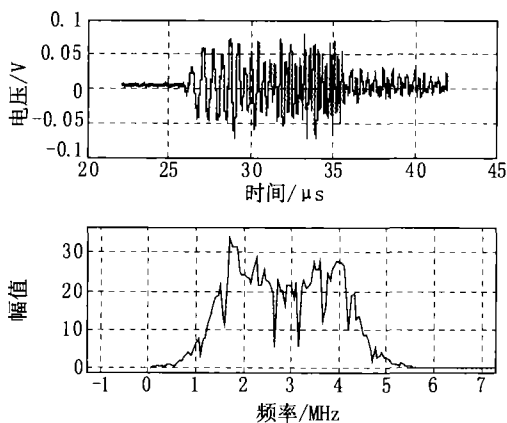


图18 线性调频检测信号对薄层检测的回波

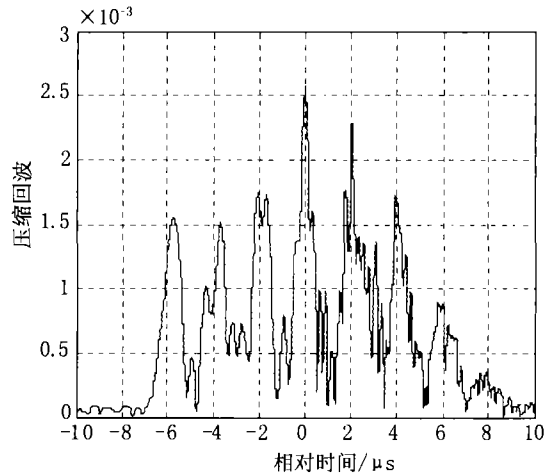


图19 对薄层检测的回波的压缩结果

本文有早期与应崇福院士一起的一些工作结果,还有近些年来项目组新的研究结果,有关任意检测信号系统方面的内容,我们将另文发表。本文由报告整理成文过程中得到张晗的帮助,在此致谢。我们以此文章祝贺应先生90华诞,祝愿应先生健康长寿。

参 考 文 献

- [1] 张海澜,李明轩,应崇福. 圆形厚度模检测换能器在固体介质中辐射的直达波和边缘波,中国科学:A辑,(12),1988,1291-1300.
- [2] 应崇福,李明轩,刘献铎,等. 液体中削弱换能器边缘波后的发射效果,中国机械工业学会无损检测学会第二届年会,1981.
- [3] 刘殿锋,李明轩. 1-3型压电复合材料非均匀振动换能器的研究,应用声学,17(1),1998,11-14
- [4] 张海澜,李明轩,应崇福. Complete solutions of the transient behaviours of a transmitting thickness-mode piezoelectric transducer and their physical interpretations, J. Acoust. Soc. Am., 74(4), 1983, 1105-1114.
- [5] 应崇福,李明轩,钟高琦. 对检测用压电换能器保护膜厚度影响的分析,无损检测,3(5),1981,1-5.
- [6] 姜鹏,李明轩,应崇福. On the acoustic-electrical regeneration mechanism of transduction in a transmitting thickness-mode piezoelectric transducer, Proc. of Ultrasonics International 85, 1985.
- [7] 何菁,李明轩,应崇福. 电激励源内阻对压电换能器频响特性影响的分析,85年全国声学会议,1985.
- [8] 应崇福,李明轩,钟高琦. 控制检测超声测量用换能器首次波的方案,物理学报,30(1),1981,91-96.
- [9] 张晗,李明轩,毛捷. 超声新型激励换能系统获得的窄脉冲检测信号,声学技术,26(5) Pt. 2, 2007, 93-94.