

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01N 29/00 (2006.01)

A61B 8/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610109435.5

[43] 公开日 2007 年 9 月 19 日

[11] 公开号 CN 101038270A

[22] 申请日 2006.8.15

[21] 申请号 200610109435.5

[30] 优先权

[32] 2005. 8. 15 [33] US [31] 60/707,940

[71] 申请人 文荆江

地址 北京市翠微路二号院 24 号楼 1 门 503 号

[72] 发明人 文荆江

[74] 专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有限公司

代理人 王维绮

权利要求书 3 页 说明书 21 页 附图 3 页

[54] 发明名称

表现超细结构及连续性异变的超声彩色成像方法及其装置

[57] 摘要

本发明公开了一种能表现超细结构及连续性异变的超声波彩色成像装置及方法。利用超声波信号受被测物外表面及内部界面多次反射而反复往返被测物内的相同路径这一事实，对相同路径上的任一部位，用振幅响应或其数学演变中在不同的往返中受到该部位作用的多个数据成员推算出多个颜色参量，将该部位所对应的像元表述为彩色像元。这一方法不但从根本上改变了对被测物内超细结构及连续声学介质的图像表述，也改进了对内外界面的图像表现力。本发明对发动机叶片和高速飞行体外壁这类要害薄体材料的检测具有重大实用意义，并能提高超声波医学成像的鉴别力和读图效率。

RGB(0, 133, 27)
RGB(206, 105, 155)
RGB(29, 51, 55)
RGB(246, 230, 255)
RGB(255, 255, 255)
RGB(183, -15, 5)
RGB(235, 242, 255)
RGB(59, 131, 205)
RGB(204, 118, 105)
RGB(212, 105, 155)
RGB(255, 255, 255)
RGB(216, 135, 105)
RGB(57, 143, 205)
RGB(182, 66, 155)
RGB(192, 116, 105)
RGB(251, 222, 255)
RGB(122, 228, 0)

- 1、一种能表现超细结构及连续性异变的超声彩色成像方法，其特征在于对于超声波信号受被测物外表面及内部界面的多次反射而重复往返的主路径上的任何部位，从以相应的振幅响应为源的有序数据集中找出在不同的往返中受到该部位作用的多个数据成员，从多个数据成员计算出至少两个颜色参量将该部位所对应的像元表述为彩色像元。
- 2、根据权利要求1所述的超声彩色成像方法，其特征在于对一幅振幅响应的主路径上的各个部位重复权利要求1所述的方法，将该振幅响应所对应的主路径表现为被测物的一个彩色剖面片断。
- 3、根据权利要求1所述的超声彩色成像方法，其特征在于可以任意调整各次反射在图像中的相对权重以更好地服务于不同的被测物或侧重性不同的检测。
- 4、根据权利要求2所述的超声彩色成像方法，其特征在于所述振幅响应包含超声波信号反复往返被测物内一条主路径的过程，该振幅响应中所含的反复往返主路径所产生的信息被表现在对应于该主路径的同一剖面片断中。
- 5、根据权利要求2所述的超声彩色成像方法，其特征在于每个彩色剖面片断的两条边缘代表被测物在取像点的两个外表面，两边缘间的距离代表被测物在取像点的厚度，每个剖面片断内的各彩色线条的颜色成分代表相应几何位置对历次经过的声信号的改变作用的大小。
- 6、根据权利要求5所述的超声彩色成像方法，其特征在于彩色剖面图像中每个片断内对应于被测物前表面的片断边缘的颜色由下式决定：

$$\begin{aligned} & \text{RGB}(F_{01}(y_{T_0}, y_{T_1}, y_{T_2}, \dots), \\ & \quad F_{02}(y_{T_0}, y_{T_1}, y_{T_2}, \dots), \\ & \quad F_{03}(y_{T_0}, y_{T_1}, y_{T_2}, \dots)) \end{aligned}$$

每个片断内的其余水平线段的颜色由下式决定：

$$\begin{aligned} & \text{RGB}(F_1(y_{T_1-i}, y_{T_2-i}, y_{T_3-i}, \dots), \\ & F_2(y_{T_1-i}, y_{T_2-i}, y_{T_3-i}, \dots), \\ & F_3(y_{T_1-i}, y_{T_2-i}, y_{T_3-i}, \dots)) \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \end{aligned}$$

式中 RGB() 代表硬件平台所支持的，以红、绿、蓝三个颜色参量决定显示颜色的可供调用的系统函数， $F_{01}()$ 及 $F_1()$ 、 $F_{02}()$ 及 $F_2()$ 、 $F_{03}()$ 及 $F_3()$ 为不同形式的多变量函数，分别计算 RGB() 函数中红、绿、蓝的量值；

i 代表声波从线段所代表的位置传播到被测物背表面所需的时间， N 是片断所含的彩色线段总数， T_0 为被测物前表面反射的第一个回波发生的时刻；

T_1 至 T_n 分别表示背表面所反射的第一至第 n 个回波发生的时刻；

y_{T_n} 、 y_{T_1-i} 、 y_{T_2-i} 、…… 代表所述以振幅响应为源的有序数据集中对应于 T_n 、 T_1-i 、 T_2-i 、…… 的量值。

7、一种超声彩色成像装置，包括：

超声波信号发射装置，用于向被测物发射超声波信号；

超声波信号接收装置，接收经被测物作用后的超声信号，包括受被测物内部外部界面的多次反射而反复往返被测物相同路径的超声信号；

信号转换处理装置，将接收到的超声信号模-数转化为数字形式的振幅响应；

彩色图像装置，通过：a) 对于超声波信号受被测物外表面及内部界面的多次反射而重复往返的主路径上的任一部位，从以相应的振幅响应为源的有序数据集中找出在不同的往返中受到该部位作用的多个数据成员，b) 从多个数据成员计算出至少两个颜色参量将该部位所对应的像元表述为彩色像元，c) 对于振幅响应主路径上每一部位重复a)和b)，将该主路径表现为被测物彩色剖面中的一个片断。

8、根据权利要求7所述的超声彩色成像装置，其特征在于每幅振幅响应的主路径被表示为被测物的一个剖面片断，分别获得的多幅振幅响应被分别表示为被测物的多个的剖面片断，这些剖面片断根据操作顺序或操作者指定的片断位置，而不是根

据获得各个剖面片断时的操作位置排列在一起，形成以发现被测物内部异常为目的，而不是传统成像意义上的彩色剖面图像。

- 9、根据权利要求8所述的超声彩色成像装置，其特征在于该装置还支持以下一种或多种传统超声技术：传统超声测厚仪的功能；传统超声探伤仪的功能；传统超声成像装置的图像储存、显示、打印、传输等图像功能。
- 10、根据权利要求8所述的超声彩色成像装置，其特征在于具有以下一种或多种功能：剖面片断水平或竖直显示并相应排列以形成水平或竖直走向剖面图；根据已有片断的数目动态调节水平显示时的片断宽度及竖直显示时的片断高度；根据已有片断的最大厚度动态调节水平剖面的竖向分辨率及竖直剖面的水平分辨率。

表现超细结构及连续性异变的超声彩色成像方法及其装置

技术领域

本发明涉及用于医疗及工业材料的非破坏性检测，特别是应用于生物组织及工业材料的检测和定征的超声波彩色成像。

背景技术

由于超声波能够自由穿行于人类视力无法达到的非透明介质内部，超声波被广泛应用于医疗诊断和工业材料的质量检测。当行进中的超声波信号碰到两种不同材料的交界面时，部分信号能量穿越界面进入前方材料，其余能量受界面反射返回原来材料，产生一个可以探测到的回波，暴露出界面的存在。能够反射超声波而产生回波的声学界面包括被测物的外部边界及内部的材质突变，比如层状结构、空穴、裂隙，异物，及其它引起声阻抗突变的内部结构。

市场上最流行的超声波检测设备可以分为三大类：超声测厚仪、超声探伤仪及超声成像系统。

超声测厚仪准确度量两个界面，通常是被测物的前表面及后表面，反射超声波信号而形成的两个回波之间的时间间隔。被测物的厚度，也就是两反射界面之间的距离，可以直接从所测得的时间间隔及被测物的声速计算出来。计算出的厚度一般以数字形式显示，比如0.12 CM，或存储于超声测厚仪的内存中。

超声波探伤仪将携带被测物内部信息的超声波信号的振幅变化记录下来并显示在屏幕上。超声波信号行进路上的非连续性声阻抗变化引起额外反射，在振幅记录中形成额外回波。现代超声波探伤仪提供时段选择，信号阈值选择，及可操作的光标等帮助捕捉特定深度范围或特定延伸范围的材料缺陷。

超声成像系统通过沿被测物外表面扫射超声波束来显示被测物的内部声学结构。以机械方式移动超声探头和以电子方式控制超声探头阵的相位分布，是实现超声波束的扫描的基本方法。超声图像或者是与扫描面垂直的剖面图，或者是与扫描面基本平

行的内部界面或底面图。超声图像的每一像点的亮度决定于该像点所对应的物点所反射的回波的强度。

在以上描述的三大类超声检测中，被检测的实质上是被测物的各内外界面。许多没有明显几何边界的重要物理性状不在传统超声检测的适用范围之内。在现实中，任何材料的强度、密度、硬度、刚度、弹性、复合成分、金相学特性等在材料成型时就非绝对均匀分布，并且会因疾病、医疗处理、机械加工、材料疲劳、应力不均、温度梯度、外部撞击、物理或化学环境的长期作用等继续慢性恶化，影响材料的可靠性。在尚未演变为致命的非连续性缺陷(比如裂隙)之前及早发现这些潜在威胁本应是无损检测或医疗诊断的重要任务。遗憾的是，传统超声检测只能应用于非连续性缺陷，对连续性分布的物理性状无能为力。

一些很薄的机械部件，比如高速运转的电动机或飞机引擎的叶片，最经受不了内部缺陷的侵蚀，同时也最难用传统超声检测实行质量保证。原因很简单，微小缺陷所造成的微小超声回波总是淹没在由薄件的两个外表面的多次反射产生的一系列大幅度回波中无法辨识。连续性分布的缺陷对薄件的危害远比对厚件严重，但由于只造成声波波形畸变，不反射声波，更加难以探测。

任何检测方法的实用价值在很大程度上是由其对检测者的视觉作用决定的。首先，人类视觉与大脑沟通的效率最高。眼睛的一瞥送入大脑的信息，如果转换成音频信号通过耳朵传递，需要经年累月才能完成。用技术术语来说，视觉传递信息的带宽比任何其它感官大得无可比拟。第二，视觉有无以伦比的空间感。在感知视野内一切事物存在之际，视觉还能告知大脑这些事物的尺寸、形状、相对位置等。这种空间感与生俱来，不需学习训练。

不同的超声检测方法在信息传递效率和空间感方面差别甚大。最先进的信息传递方式是实时立体图像，比如搏动的肝脏，随呼吸起伏的胸腔，母体中躁动的胎儿。不难理解，这种最高档次的四维信息表现技术，要靠由市场上最昂贵的医用超声成像系统实现。

形成鲜明对比的是简单的文字、数字符号。超声测厚仪的厚度读数，尽管能满足一般测厚需要，却不提供任何空间感或在视觉上引起尺寸、间隔这类空间属性联想。0.9999 和 1.0000 的视觉形象差别很大，在实用意义上却等同。相反，0.07 与 0.01

在视觉意义上差距较小，实用意义上却天差地别。许多数字测厚仪借助声音警号来宣告符合预先设定条件的厚度读数的出现，这从反面表明数字读数的视觉形象不能满足操作者的需要。长距离管线或大型容器腐蚀状况的监测需要筛选成千上万个厚度读数以找出腐蚀最严重的区域。在这类极为常见但事关重大且操作繁复的无损检测任务中，适当的图像表示显然比堆积如山的数据更受操作者欢迎。

通过探头所测得的声振幅随时间的变化，又称振幅响应，包含着数字读数及传统图像无法显示的有关被测物的大量信息。无论是否在实际应用中直接显示，振幅响应是所有超声测量技术的根本信息源。举例来说，噪音或多重反射回波的重叠所造成的错误读数或虚假图像，许多可以从振幅响应中辨认出来。但在现实中，由于振幅响应的视觉形象绝非悦人，许多检测人员不愿或不能与振幅响应打交道。从高出若干数量级的界面回波及恼人噪声中辨别出微小缺陷产生的微小回波，即使对受过专门训练的专业检测人员也极具挑战性。除非万不得已，一般操作者宁愿选择未必可靠的数字读数，也不愿面对虽含丰富原始信息却让人望而生畏的振幅响应。

尽管在视觉显示方面有着无可比拟的优越性，超声成像系统在大型设备的缺陷或腐蚀监测中极少使用。这不仅由于超声成像系统的费用远远高于一般无损检测的预算，更由于超声成像系统在实用方面的固有限制。医用超声成像所使用的相控阵探头的工作面较大且娇贵，在柔软的人体表面保持必需的声学接触或声耦合相对容易，但在弯曲或面积狭小的刚性被测物上，或在高温，高磨损及有操作障碍的场合则难以发挥作用。机械扫描需要在维持被测物与探头之间相对几何位置的前提下实现二者之间的充分声耦合。最常用方法的是将被测物及机械扫描装置同置于盛满耦合剂(水或其它声耦合性优良的液态物)的容器中，或供应一股持续的，与被测物及探头同时充分接触的耦合剂液流。这两种方法在大多数工业检测中可行性不高。

传统的超声图像又称B超。这里B是英文Brightness(亮度或辉度)的字头。B超中的声学界面，无论是被测物的外表面还是内部结构的分界面都被表述为亮线。每个像点，又称像素，由单个成像参量，常常是回波信号的峰值来描述。由于携带被测物内部信息的回波统统被归因于界面，而没有为界面之间的连续声介质留下任何可用信息，那些呈连续性分布的物理或声学特性，比如强度、密度、硬度、刚性、弹性、复合成分的分布、金相学性质等等，得不到应有的表述。中国专利申请2004100745612及

美国专利申请11/369,603提出的改进,用两个相邻界面上的两个回波共同决定两界面之间的连续声学介质的彩色图像。

振幅响应是超声探头在某特定位置所发射的超声信号在被测物内旅行时与所经路径发生相互作用的结果,对应于该路径的所有像点都靠同一振幅响应提供成像的原始信息。理解传统超声成像需要记住一个重要事实:信号路径上的界面经常产生多个回波信号,每个回波信号又由一系列振幅数据组成,因此代表界面的像点有大量数据为其提供成像信息。相比之下,那些不在界面上的为数众多的像点,由于不反射所经过的声波信号,没有任何数据为之提供成像信息。这就是为什么传统的超声检测只能检测被测物内的界面,传统黑白超声图像中只有各个界面被表述为亮度不等的亮线,其它部分均为亮度为零或近于零的黑色。

传统超声成像一般只使用一个成像参量,通常是物点产生的第一个回波信号的峰值(振幅的最大绝对值),来表述一幅图像中的所有像点。只要回波的峰值相等,产生相应回波的物点就被表述为同样的亮度,在图像中完全相同。事实上,峰值相等的回波信号波形可能千差万别。波形上的差异不但反映着产生相应回波的反射点之间的差异,也反映着声波达到这些反射点前后所走路径的声学特性之差异。遗憾的是,这些极为宝贵的信息资源在传统超声检测技术中没有得到有效利用。

对这一缺憾所作的重大改进首先公开在本申请人于2004年9月8日同时提交中国专利局及国际专利组织PCT的发明专利申请“超声波彩色成像装置及方法”中,中国及PCT专利申请号分别为2004100745612及PCT/CN2004/001030。之后又公开在本申请人于2006年3月7日向美国国家专利局提交的发明专利申请“Methods & Apparatus for Ultrasonic Color Imaging”,美国发明专利申请号11/369,603。这些申请均要求2003年9月8日所提交的中国专利申请03156547.6所赋予的优先权日期。

根据以上文件所公开的超声彩色成像技术,超声图像的每一像点不再仅由单一亮度参量(通常为回波峰值),而是由回波信号的波形所决定三个颜色参量来共同表述。具有相同峰值但不同波形的回波信号被表述为颜色成分不同的彩色像点获得有效区分。介于界面之间的连续介质则由包围该介质的界面共同决定其颜色成分。仍需改进的是,这种彩色图像中两界面之间同一路径上众多像点的颜色或者相同,或者沿路径线

性单调变化，而现实中邻近界面处声学特性的变化是非线性的，并且常常是非单调的。

以上的讨论指出了现有超声检测方法当前面临的三个主要挑战：1)对连续性分布的物理/声学性状的检测或有效视觉表述；2)对薄体材质及超薄层状结构的检测及有效视觉表述；3)适用于工作量繁重，工作场合复杂的检测作业的低费用、高可行性、高视觉友善性的超声检测设备或方法。

发明内容

本发明公开一种能表现超细结构及连续性异变的超声波彩色成像装置及方法。发明的核心是利用超声波信号受被测物外表面及内部界面多次反射而反复往返被测物内的相同路径这一事实，对相同路径上的任一部位，用振幅响应或其数学演变中在不同的往返中受到该部位作用的多个数据成员推算出多个颜色参量，将该部位所对应的像元表述为彩色像元。这一方法不但从根本上改变了对被测物内超细结构及连续声学介质的图像表述，也改进了对内外界面的图像表现力。本发明的实施例在超薄体被测物上产生的彩色剖面像，在捕捉到超薄层结构的存在和影响的同时，还成功地再现了连续声学介质特性分布的非均匀性及非单调性的分布特征。本发明对发动机叶片和高速飞行体外壁这类要害薄体材料的检测具有重大实用意义，并能提高超声波医学成像的鉴别力和读图效率。本发明公开的超声彩色成像方法的特征在于，对于超声波信号受被测物外表面及内部界面的多次反射而重复往返的主路径上的任何部位，从以相应的振幅响应为源的有序数据集中找出在不同的往返中受到该部位作用的多个数据成员，从多个数据成员计算出至少两个颜色参量将该部位所对应的像元表述为彩色像元。

本发明的超声彩色成像方法的特征还在于，对一幅振幅响应的主路径上的各个部位重复以上介绍的方法，将该振幅响应所对应的主路径表现为被测物的一个彩色剖面片断。

本发明的超声彩色成像方法的特征还在于，充分利用振幅响应中包含的超声波信号反复往返被测物内一条主路径的全过程，将振幅响应中所含的超声波反复往返主路径所产生的信息被表现在对应于该主路径的同一剖面片断中。

本发明的超声彩色成像方法的特征还在于，每个彩色剖面片断的两条边缘代表被测物在取像点的两个外表面，两边缘间的距离代表被测物在取像点的厚度，每个剖面片断内的各彩色线条的颜色成分代表相应几何位置对历次经过的声信号的信号改变作用的大小。

本发明的超声彩色成像方法的特征还在于，通过任意调整各次反射回波在图像中的相对权重以更好地服务于不同的被测物或侧重性不同的检测。

本发明的主要目标之一是为界面之间，特别是邻近界面处的连续或含超细薄层的声学介质，提供一种有效的探测及图像表述技术。这一技术补充并强化，而不是损害或削弱传统超声技术对声学界面或非连续性特性分布的检测及表述。本发明的超声彩色成像方法成功地实现了这一目标。

被测物内部的散射、阻尼衰减、衍射、侧壁反射、界面的平整度、光洁度、信号对界面的入射角的作用，等等，都对振幅响应中信号波形的改变(包括但不局限于信号峰值的改变)起到各自的作用。本发明的方法把振幅响应中这些声学作用的信息集中表现在单个彩色剖面片断中，把视觉友善性很差，需要很大展示面积的一幅振幅响应，浓缩为紧凑凝练，视觉形像和空间感极大改善的一个彩色剖面片断。一旦取像点的内部状况因材料疲劳、应力损害、温度梯度、机械撞击、长期遭受某种物理或化学作用等而发生变异，相应彩色剖面段内的颜色成分随深度(即与被测物表面的距离)的分布会急剧改变，与邻近的剖面段形成鲜明对照，暴露出异常的位置、深度和对所经过的各次回波的不同作用。

较之传统的，每个界面依赖一个回波，有界面处才有图线的辉度(亦称亮度)超声图像，本发明的超声图像建立在被测物遭受多次往返声波的反复作用这一事实基础上，因此能表现远为丰富的内部声学特性。对被测物内微小的材质变化，无论突变性的还是连续性的，无论是邻近还是远离被测物外表面，无论各声学效应是互增性还是互减性相互作用，本发明的超声图像都具有强得多的鉴别力、敏感性、空间分辨率和直观易懂、视觉友善的表现力。

本发明公开的超声彩色成像装置，包括：超声波信号发射装置，用于向被测物发射超声波信号；超声波信号接收装置，接收经被测物作用后的超声信号，包括受被测物内部外部界面的多次反射而反复往返被测物相同路径的超声信号；信号转换处理装

置，将接收到的超声信号模-数转化为数字形式的振幅响应；彩色图像装置，通过：a) 对于超声波信号受被测物外表面及内部界面的多次反射而重复往返的主路径上的任一部位，从以相应的振幅响应为源的有序数据集中找出在不同的往返中受到该部位作用的多个数据成员，b) 从多个数据成员计算出至少两个颜色参量将该部位所对应的像元表述为彩色像元，c) 对于振幅响应主路径上每一部位重复a)和b)，将该主路径表现为被测物彩色剖面中的一个片断。

本发明的超声彩色成像装置的特征还在于，每幅振幅响应的主路径被表示为被测物的一个剖面片断，分别获得的多幅振幅响应被分别表示为被测物的多个的剖面片断，这些剖面片断根据操作顺序或操作者指定的片断位置，而不是根据获得各个剖面片断时的操作位置排列在一起，如此排列的目的在于通过各个剖面片断的对比发现被测物的内部异常，而不是形成传统成像意义上的彩色剖面图像。

本发明的超声彩色成像装置的特征还在于：剖面片断能够水平或竖直显示并相应排列以形成水平或竖直走向剖面图；根据已有片断的数目动态调节水平显示时的片断宽度及竖直显示时的片断高度；根据已有片断的最大厚度动态调节水平剖面的竖向分辨率及竖直剖面的水平分辨率。

本发明的另一主要目的是为最常见的超声检测任务提供一种有效的图像显示方法，避免传统超声成像系统的高昂费用及可运用场合的限制或不便。这一目标也由本发明的实施例装置成功实现。实施例装置的主显示模式为彩色剖面图像，可以自由切换到超声探伤仪的振幅响应模式、超声测厚仪的数字读数模式、或传统超声成像的辉度图像模式，并支持传统超声成像装置的图像储存、显示、打印、传输等图像功能。实施例装置的操作与传统超声探仪类似：手持一普通单晶元超声探头沿被测物表面移动，保持适度的接触及声耦合，显示窗可以根据操作者选择的模式展示以上各种结果。

在大多数工业材料的非破坏性检测中，检测的真正目的往往不是取得忠实完整的被测物内部图像，而是发现被测物内存在的异常和潜在危险。某一部位在结构和物理特性方面与其它部位的差异往往比其真实图像更为重要。本发明的超声彩色成像装置不追求成像过程的常规性和完整性，而将借助视觉手段发现不可视的性状异常作为检

测的首要目的,获得了传统成像技术无法实现的,在广泛的检测任务中通过图像技术更可靠,更方便地探测危险和异常的能力。

大型设备化学腐蚀的监测是本发明展现优势的重要领域。假定一大型化工设备经长期使用后器壁的厚度在大部分区域为0.95至1.05厘米之间。尽管变化的幅度不到10%,但传统测厚仪的厚度读数显示窗始终目不暇接地更新厚度读数,造成操作者视觉疲劳。一个真正危险的厚度,比如0.35,对视觉的冲击与0.95并无两样。测厚仪的声音报警要求设定正确的报警阈值,才能发出警告,以补视觉功能的不足。相比之下,本发明装置的彩色剖面模式以一系列剖面片断同时展示各个检测点的状况。各片断的高度正比于对应检测点的厚度,一目了然地显示出所有检测位置的厚度及内部层状结构。每一检测点产生的视觉冲击取决于该点与其它检测点的图像反差,而不是厚度读数的数字形像。既不会引起视觉疲劳和虚惊,也不会漏过真正严重的事态。即使对被测物的厚度范围及报警阈值一无所知,仍能以彩色图像的高效率和空间感表达出事件的严重性和紧迫性。声音报警不靠报警阈值启动,而是由图像反差率启动。

本发明公开的超声彩色成像装置及方法,与现有超声技术相比具有以下优越性:

在结果的显示方面,具有图像的信息效率、直观性和空间感,数字读数的直截了当和精确传达,振幅响应的信息丰富性和本源性;

在硬件费用及生产复杂性方面,接近于超声探伤仪,而不是价格数倍以上的超声成像系统;

在可应用性方面,适用于任何传统探伤仪及腐蚀监测作业可以实施的检测场合,不受超声成像系统的应用条件限制;

在功能方面,兼有超声测厚仪、超声探伤仪、及大部分超声成像系统的功能。在传统超声检测技术的技术瓶颈——超薄材质的缺陷检测功能上远为优异;

在操作方面,其直观而易于意会的视觉表示以及显著减小的检测盲区和误测率,使超声检测操作更加方便、准确、可靠,更具吸引力。

附图说明

图1为一个5MHZ单晶元超声探头在一5毫米厚度量规(被测物)上的振幅响应;

图2为一个5MHZ单晶元超声探头在一个1毫米厚度量规上的振幅响应;

图 3 为从图 2 的振幅响应所计算出的声冲击响应；

图 4 为用实施例装置在厚度分别为 1 毫米、0.75 毫米、0.5 毫米、0.4 毫米的四个被测物上得到的剖面图；

图 5 为经过放大及加注 RGB(R, G, B)数值的剖面片断。

具体实施方式

术语与词汇：

振幅响应：在超声检测业又称A扫描或振幅扫描。A为英文Amplitude(振幅)的字头。

电子工业中指用仪器探测到的信号幅度随时间的变化。超声检测业中指超声波振幅随时间的变化，是超声检测中可以最直接、最可靠获得的第一手信息，也是绝大多数超声检测技术所依赖的最基本信息。

声激发信号：由超声探头产生，从被测物表面向被测物内发射的超声波探测信号。最理想的声激发信号相当电子学中的理想电脉冲，即单波瓣且波瓣宽度无限小，数学表达式为数学分析中的 δ 函数。理想声激发信号在现实中是不可能实现的。实际声激发信号一般有四个到十个波瓣，通常靠两端的波瓣幅度最小，前半部的波瓣幅度大于后半部的波瓣幅度，例如图1中的第一个回波信号。

有序数据集(合)：一系列各有其固定序列位置的大量单个数据的集合。许多有实用意义的有序数据集(合)是对连续函数或连续变量进行等间隔采样的结果。现代数字设备所遇到的数字信号绝大多数为有序数据集(合)，例如经过数字化的振幅响应和声激发信号，以数字化的振幅响应为源函数进行数学变换，例如数字信号分析及处理中常用的付利叶变换和Z变换，所产生的新数据集合，以及下面讨论的声冲击响应。

声冲击响应：类似于电子学中的脉冲响应，早年亦称声脉冲响应，也可简称冲击响应。声冲击响应是(声)振幅响应的特例，是以理想声激发信号入射被测物而获得的(声)振幅响应。由此可见，声冲击响应不可能直接测得(由于理想声激发信号实际上不可得)，只能通过(声)振幅响应和实际使用的声激发信号，利用逆卷积，付利叶变换等方法间接算出。

卷积：以两个长度不必相等的连续函数或有序数据集(合)为源函数，有严格积分表达式的数学预算，所产生的第三个连续函数或有序数据集(合)称为两个源函数的卷积。根据线性理论，对某被测物施加一声激发信号而产生的振幅响应等于该声激发信号与被测物的声冲击响应的卷积。理论上，从卷积的结果函数和一个源函数倒算出另一个源函数是可行的。但由于实际测得的振幅响应中含有随机噪声和其它干扰，声激发信号也不易独立准确地测得，从振幅响应和声激发信号通过逆卷积运算倒算出被测物的声冲击响应，结果并不总是可靠，是一个意义重大的热门研究课题。

振幅响应的主路径：每幅振幅响应都在一定的探测点获得。探测点一般指获得振幅响应时探头的中轴与被测物表面的交点。从探测点垂直进入被测物的直线是振幅响应所对应的主路径。一般地说，声激发信号进入被测物后，不论在行进中还是受到界面反射，都有小部分信号成分改变方向，偏离主路径，故笼统地讲信号路径有欠精确。振幅响应所记录下来的基本上是沿主路径不断往返的信号主体，偏离主路径的信号越走越偏，在振幅响应中逐渐消失。

剖面：沿探头的检测轨迹垂直切开被测物所产生的断面。超声波无损检测(英文直译应为非破坏性检测)中的剖面图是以超声波为媒介间接获得的虚拟剖面。

剖面片断：原则上，每个检测点(取像点)所获得，基于一幅振幅响应的图像应为单像素宽，垂直于剖面走向的一条线。在实际应用中，单像素宽的图线视觉效果不好，不利于图像分析，因此被人为地扩宽为多条相同图线并列而成的片断。片断的宽度可以预先设定。本发明的实施例根据片断数目动态设定片断宽度以改善视觉效果。

显示分辨率：垂直剖面走向方向的分辨率，即每单位厚度的像素数，例如每毫米10像素。如采用图4所示的水平剖面走向，显示的竖直分辨率与被测物厚度共同决定片断的厚度。如采用竖直剖面走向，显示的水平分辨率与被测物厚度共同决定片断的厚度。显示分辨率需要预先或动态设定。本发明的实施例根据已有片断的最大厚度动态设定显示分辨率以改善图像的视觉效果。

成像参量：相当于数字仪器工业软硬件技术文献中常出现的过程参量、中间参量或操作参量。由于本文所讨论的“过程”及“操作”都围绕“成像”，故用“成像参量”来统称成像过程中使用的物理参量、数学参量、信号参量及其它各种参量。

颜色参量：典型的彩色图像中各个像点的颜色由三个基色的量值唯一确定。比如当前最通用的红绿蓝三基色系统，用三个无量纲的系数来表示红绿蓝所占比例，这三个量就是颜色参量。除了最流行的红绿蓝三基色系统，有些老设备还使用过红黄蓝三基色系统及红黄绿蓝四基色系统。目前某彩色电视厂家仍在推行六基色系统。这些基色的系数也是颜色参量。

直接基于振幅响应的实施例

图1所示为一个5MHz单晶元超声探头在一5毫米厚度量规(被测物)上的振幅响应。下面以图1为例介绍从振幅响应直接产生彩色剖面像的方法。振幅响应的最显而易见的长处是不需要付利叶分析或声冲击响应的额外的复杂运算，容易实施。传统超声检测技术中的测厚、探伤即辉度成像都以振幅响应为基础。图1中的横轴划分为十个时间段。第三时段中部起至第四时段右端止的是背表面反射的第一个回波信号。第五时段中部起至第六时段右端止的是第二背表面回波。第三背表面回波跨越第七、八、九三个时段。位于第一第二两时段内的是声激发信号、电激发信号(声激发信号的激发源)和前表面回波这三个信号重叠在一起，完全无从辨认。从第一和第二个背表面回波之间的时间间隔计算出背表面与前表面之间的距离 d 约等于5毫米后之后，这同一幅振幅响应可以用三种不同技术产生三种不同的剖面片断。

- A)：传统辉度成像(B超)在黑色背景下产生一个由两条亮线构成的剖面片断，一条亮线代表前表面，亮度为一预设的固定值(比如255)，另一条亮线代表背表面，亮度正比于第一个背表面回波的信号峰值，两条线之间的间隔正比于 d 。假设显示分辨率为每毫米5像素，则两亮线间的间隔约为25像素(d 约等于5毫米)。
- B)：本发明之前的彩色成像法在白色背景下产生一个彩色剖面片断，片断的两条边界的位置与前例相同，所有界面的颜色用对应回波中预先定义三个特征值(例如第二、第三、第四个波瓣的幅值)决定。由于在图一的振幅响应中得不到前表面回波，更谈不到其特征值，其颜色权且固定为RGB(255, 255, 255)。前表面

之外的唯一另一界面是背表面。假定背表面第一个回波的两个特征值为 A_1 、 B_1 、 C_1 ，则对应背表面的边界颜色为 $RGB(A_1, B_1, C_1)$ ，两边界之间的颜色则为两边界上的颜色之差， $RGB((255 - A_1), (255 - B_1), (255 - C_1))$ 。

注1: $RGB(R, G, B)$ 为硬件平台支持的，以红(R)、绿(G)、蓝(B)三个颜色参量定义颜色的系统函数。

注2: 此处陈述的只是该发明的众多实施方案中最简单的一个。

C): 本发明的彩色成像也在白色背景下产生一个彩色剖面片断，片断的两条边界的位置与前例相同，片断的所有界面均用相应界面产生的多个回波表述。由于在图一的振幅响应中得不到前表面回波，权且将前表面固定表述为 $RGB(255, 255, 255)$ 。作为振幅响应实施例1，我们从背表面的前三个回波中各取三个特征值(例如最大的三个波瓣的幅值)，分别记作 A_1 、 B_1 、 C_1 ， A_2 、 B_2 、 C_2 ， A_3 、 B_3 、 C_3 。这里下标代表回波的序号。由于有了更丰富的信息，我们可以对背表面作内涵更为深刻的图像表述。根据理论，只有完美界面的垂直反射才能保持信号波形在反射前后完全相同(不计180度相差)。反射后信号波形的改变直接反映反射的非完美性或偏离完美反射的程度。基于此观点，将背表面表述为 $RGB(X, Y, Z)$ ，其中

$$X = 255 * (A_2 / A_1);$$

$$Y = 255 * a * (2 * (A_3 / A_1) - (B_3 / B_1) - (C_3 / C_1));$$

$$Z = 255 * b * (2 * (A_3 / A_2) - (B_3 / B_2) - (C_3 / C_2));$$

Y 、 Z 表达式中的常数因子 a 、 b 为加权因子。如果背表面的反射是完美的，三个回波保持完全相同的波形，则对应信号特征值的比例完全相等，即 $Y=Z=0$ ，背表面的颜色成分为纯红色，红色的强度为第二个回波与第一个回波的幅度比。反射越偏离完美，回波间对应信号特征值的比例之间差别越大， Y 、 Z 的数值越大，背表面的颜色成分偏离纯红色越远。通过改变 Y 、 Z 表达式中的加权因子 a 、 b 的数值，可以改变图像色彩对回波变形的敏感度。

以上只是利用振幅响应中多个回波的信息实现彩色成像的众多可能实施方案中的一个。由于振幅响应在薄体被测物的检测中的局限性，本发明在基于声冲击响应的成像中有远为突出的优越性。

基于声冲击响应的实施例

振幅响应是一切超声检测中能够最直接，最可靠获得的第一手信息，由超声探头和被测物的声学特性共同决定。由于超声检测的目的是研究被测物而非超声探头，如果能将超声探头的作用从振幅响应中分离出来，将大大提高对被测物的认识和表现精度。实现这种分离的有效方法之一是从振幅响应推算出被测物的声冲击响应。

声冲击响应是对一个声学系统的特性最具理论和实践意义的表述，是现代超声检测理论的中心角色。从物理角度看，被测物的声冲击响应是该物受到理想冲击声源作用时产生的振幅响应。所谓理想冲击声源指主瓣无限窄且没有任何旁瓣的声激发信号，其数学表达即为数学分析中的Delta函数。若能在超声检测中统一使用理想冲击声源，那么在任意被测物上得到的振幅响应就等同于被测物的声冲击响应。遗憾的是，理想冲击声源只存在于理论中，现实中不要说理想冲击声源，就连完全相同的超声声源都是奢望。不同超声探头总是产生不同波形的声激发信号，在相同的被测物上产生差别难于忽略的振幅响应。根据线性系统分析理论，振幅响应在数学上是声激发信号与被测物的声冲击响应的卷积。利用这一数学关系可以从实测振幅响应及相应的声激发信号推算出被测物的声冲击响应。

较之含有超声探头效应的振幅响应，声冲击响应远为忠实和准确地代表被测物的声学特性。许多学术刊物中探讨过在不同情况下通过逆卷积运算获得声学系统的声冲击响应。由于实际应用中的各种具体因素，市场上仍未见到成功使用声冲击响应的超声检测设备。本发明不提供通过振幅响应计算声冲击响应的新方法。本发明所提供的是以振幅响应或以振幅响应为源函数演变而成的有序数据集合作为出发点，产生能更好地体现被测物内部声学特性分布的彩色剖面图像的方法。

下面通过实施例装置详细说明以被测物的声冲击响应为基础产生超声彩色剖面像的过程。

图2所示为一个5MHZ单晶元超声探头在一个1毫米厚度量规上的振幅响应。图中的信号波形与图一中的信号波形之间的显著差异，不但源于量规厚度从5毫米减小为1毫米而导致的各次回波信号之间的强烈重叠，而且源于各个回波自身波形的畸变。由于两个主要界面，即量规的前后两外表面之间的距离很小(相对于超声波波长)，两界面之间介质的声学特性的分布受表面效应的强烈影响，造成介质的声学特性的非均匀，非线性且非单调分布。即使不存在非连续性结构，薄层中的声学特性的强烈分布也能根本性地改变在薄层间不断往返的超声信号的波形。本发明将薄体材料显著改变超声信号波形这一特殊性反映在彩色剖面像中，不但有效地表现出连续性介质的声学作用，而且将声学作用的几何分布成功地表现出来。

图3所示为一幅从振幅响应所计算出的声冲击响应。如果计算得当，完整的声冲击响应不但精确反映每一次反射发生的时刻(从而反映出造成反射的界面的位置)，还能显示各次反射造成的信号波形的改变。理论意义上的完美反射产生与入射信号完全相同的反射信号。完美反射的声冲击响应是位于时间横轴上对应于反射时刻座标点，高度为一的独立竖直线。由于现实中不存在完美反射，实际超声检测中遇到的典型反射在声冲击响应中表现为一条较高的竖线立在若干矮线中间，正如图3所展示。高低不等的多条竖线聚在一起表示多个反射以不同的反射比在短时间内非同步发生，合成一个非完美的反射。代表主反射的高线周围那些矮线的幅度与多寡反映反射的不完美或不纯粹程度。声信号穿过被测物体内时经历的散射、阻尼衰减、衍射、侧壁反射、界面平整度、光洁度和信号对界面入射角的影响，等等，都对信号波形的改变(包括但不限于信号峰值的改变)起到各自的作用，在振幅响应中留下自己的印迹。由于振幅响应包含着超声探头的严重影响，而声冲击响应则排除了，至少极大地减弱了超声探头的影响，因此声冲击响应能够更好地代表被测物内各种各样的声学特性及其几何分布。实施例装置的层次分析、缺陷分析及彩色剖面成像均通过声冲击响应进行。现实地说，超声探头的质量和性能对于声冲击响应的计算仍然有不可避免的影响，但这种影响远小于超声探头对振幅响应的影响。

图4所示为用实施例装置在厚度分别为1毫米、0.75毫米、0.5毫米、0.4毫米的四个被测物上得到的剖面图。每个剖面图由50个被竖直空白分开的片断构成，代表着相应厚度量规上50个不同取像点处的剖面像。每个剖面片断从一个类似图3所示的声冲击

响应产生，而声冲击响应则从一个类似图2所示的振幅响应及相应的声激发信号计算出。每个剖面片断的高度代表被测物在对应取像点的厚度。操作者可以将光标移动到任何分段上，在显示窗中读到所选剖面片断的厚度读数。图4中的四幅剖面图的厚度都非常稳定，正确反映出四个被测物都是质优价高，未受过磨损的厚度量规这一事实。各剖面片断内的彩色线条与色谱仪产生的谱线有些相象，所表现的却是成像点处的被测物内部声学特性。同一剖面上各个剖面片断的彩色线条粗看十分相近，其实各线条的颜色成分都不尽相同，既显示出各被测物相当不错的材质均匀性，也展现了实施例装置对被测物内部声学特性微小变化的敏感度及表现力。任何异常的材质变化，无论连续还是非连续性的，都会造成相应剖面片断的彩色图像在线条位置及颜色成分上的剧烈变化，引起检测人员的警觉。

每一剖面片断的厚度是该片断的最关键信息，必须在形成片断内各线条的位置及颜色成分之前首先予以确定。声冲击响应中的黑色竖线代表被测物前表面的反射。最高的蓝色竖线代表被测物背表面的第一次反射。如果用 T 表示黑色竖线与最高的蓝色竖线之间的水平距离，则 T 也代表超声波信号在被测物的前后两个外表面之间往返一次所需的时间。一旦得到 T ，被测点的厚度 d ，也就是前后两个外表面之间的距离，可以用简单的公式 $d = 0.5T * v$ 计算，这里 v 是声在被测物中传播的速度，因子 0.5 则是因为考虑到 T 是一往一返旅行双倍距离所需的时间。

在传统超声检测中，旅行时间 T 从类似于图2所示的振幅响应得出。从类似于图3所示的声冲击响应得出的 T 更准确可靠。事实上，只有当被测物厚度大到其前后表面所反射的回波信号互不重叠时才能通过振幅响应有效确定各次反射发生的精确时刻，从而计算出旅行时间及被测物厚度，例如图1所示的情景。随着被测物厚度逐步减小，各反射信号间的距离相应减小，直至信号间的重叠发生，直接依赖振幅响应的超声检测失去其准确性及可靠性。在这种情况下，某种更复杂，更先进的方法，比如声冲击响应或付利叶频谱分析等，可以帮助更好地确定相互重叠的反射信号之间的时间间隔。本文在前面已经声明，本发明不提供从振幅响应推算声冲击响应的方法。本发明所提供的是从已知的振幅响应或声冲击响应得出能更好表现被测物内部声学特性分布的彩色剖面像。由于声冲击响应中排除了或极大地减低了超声探头特性的干扰，基于

声冲击响应的彩色剖面像能应用于更薄及层次更复杂的被测物，对声学特性的表现更准确，更可靠，更全面。

一旦正确地确定了旅行时间 T ，各个回波发生的时刻可以算出。如果用 T_0 表示前表面回波发生的时刻， $T_1, T_2, \dots, T_n$ 分别表示背表面所反射的第一，第二，第 n 个回波发生的时刻，这些时刻之间有简单的关系：

$$T_i = T_0 + i * T \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{Eq. (1)}$$

在软件实施中， T_0 和 T_1 为储存声冲击响应的一维矩阵的阵元序号。举例来说，如果黑线和最高蓝线的幅度分别存储于第20和45个阵元中，则 T_0 等于20， T_1 等于45。

薄体被测物的振幅响应中记录下的多次反射蕴含着被测物内部结构及声学特性分布的丰富信息。许多常用的以振幅响应为源函数的数学变换，比如声冲击响应，付利叶变换等，可以毫不遗漏地将有关被测物的宝贵信息继承下来。声冲击响应更具有排除或极大地减少探头干扰的效能。实施例装置采用从振幅响应推算出的声冲击响应。其超声彩色成像方法也适用于振幅响应或源于振幅响应的其它数学变换。

声冲击响应如果计算得当，只取决于被测物的结构及声学特性分布，而振幅响应则极大地受探头性能左右。用不同探头在同一被测物上获得的振幅响应可能有显著区别，而通过不同振幅响应及充分表现于声激发信号中的探头特性推算出的声冲击响应则在减少或去除探头影响后而趋向一致，殊途同归。声冲击响应其实是振幅响应的特例——是以理想声冲击信号(瓣宽无限窄的单瓣信号)产生的振幅响应。探头产生的实际激发信号越是接近理想声冲击信号，即信号主瓣高而窄，前导及后续旁瓣少而小，从振幅响应推算出的声冲击响应就越是准确。

每个剖面片断的厚度(顶边与底边之间的距离)代表成像点(获得振幅响应处)的被测物厚度。更具体地说，片断的厚度正比于超声信号在被测物内旅行一个来回所用的时间 T 。假定 T_0 与 T_1 相距 N 个信号采样间隔(阵元序号相差 N)，则该分段含有 $N+1$ 个水平彩色线段。最高和最低的彩线(顶边和底边)分别代表被测物的前表面和背表面，线段的彩色成分则决定于 T_0 至 T_n 处的声冲击响应值，即图3中 T_0 至 T_n 处竖线的幅度。让我们以 y_{T_0} 至 y_{T_n} 来表示 T_0 至 T_n 处的数值或竖线的幅度(声冲击响应值或振幅响应值)。

使用传统超声探伤仪，探头在每一探测位置的操作产生一幅对应的振幅响应，而实施例装置的彩色剖面模式将一幅振幅响应表现为彩色剖面的一个片断，并将多个位置取得的多个片断组合成剖面图。实施例对探头的操作点的选取没有限制。新获得的剖面段通常被加置于显示窗中已有的各片断的最右端，以便于对所有检测过部位的内部结构或性状进行视觉比较，发现可能存在的内部异常。

传统超声成像保持所有像元与其所代表的物元在排序，比例和完全性这三方面的一致性。举例来说，像元甲、像元乙和像元丙分别代表物元A、物元B和物元C。如果物元B位于物元A与物元C之间，则像元乙必须位于像元甲与像元丙之间。甲乙之间距离与AB之间距离的比值必须等于甲丙之间距离与AC之间距离的比值。AC之间的所有物元由甲乙之间的所有像元完全而无遗漏地代表。这就是成像中的所谓排序、比例和完全性原则。当相控阵探头或程控机械扫描用于超声波束的扫描时，扫描的路线、步长等控制参量自动运用于像元的重组过程从而保证三原则自动得到满足。准确可控的扫描机制是传统超声成像必不可少的要素。

本发明的实施例装置打破传统成像中不言而喻的排序、比例和完全性这三大原则，允许操作者在成像过程中按任何顺序任何间隔造访被测物表面的任何位置。实施例装置不要求操作点的选取像相控阵探头或程控机械那样循规导矩，从而打破了传统超声成像在应用方面的绝大多数限制。不论探头向哪一方向以多大和间隔运动，不论操作点之间完全分离，部分重叠还是原地重复，不论是在同一平面，在同一物体的不同表面，还是在完全独立的不同物体上，任何普通测厚仪或探伤仪能工作的场所都能实现本发明的剖面彩色成像。以如此方法获得，没有规则章法的独立像元所构成的图像，尽管非传统或反传统，在非破坏性工业检测中却更有用、更有效、更合情、更合理。

RGB()函数是广泛用于各种硬件平台，以红(R)、绿(G)、蓝(B)三个颜色参量定义色彩，可供调用的系统函数。微软Visual C++编程语言中就提供PC平台所支持的RGB(R, G, B)函数。有些RGB()函数需要使用RGB(255-R, 255-G, 255-B)的形式。这只是格式问题，不影响讨论的原则。借用RGB()表达，图四所示的彩色剖面像中每个片断内顶边的颜色成分由下式表示：

$$\text{RGB}(y_{T_0}, y_{T_0}-y_{T_1}, y_{T_0}-y_{T_2}) \quad \text{Eq. (2)}$$

而底边的颜色成分则由式(3)表示:

$$\text{RGB}(y_{T_1}, y_{T_2}, y_{T_3}) \quad \text{Eq. (3)}$$

值得特别指出的是,虽然 y_{T_1} 、 y_{T_2} 及 y_{T_3} 描述三个在时间上截然分开的反射,却起源于被测物内同一几何点——检测点处的被测物背表面。根据公式(2)和(3),剖面片断的顶边主要取决于 y_{T_0} 所代表的前表面回波,而底边则取决于 y_{T_1} 、 y_{T_2} 及 y_{T_3} 所代表的三个背表面回波。公式(2)和(3)可以改写成以 y_{T_0} 至 y_{T_n} 为变量的任何函数表达式以服务于侧重不同回波的不同检测方案。

公式(2)看起来比公式(3)复杂许多,其中包含着特殊原因。在实际超声检测中,振幅响应不仅取决于探头和被测物,还在很大程度上依赖于探头与被测物之间的声耦合。换句话说,操作者如何用探头抵住被测物,耦合剂的多少及粘稠度,持探头的手用力的平稳度和一致性,都可能极大地影响检测的结果。实施例装置刻意在公式(2)中加重 y_{T_0} 所代表的,对声耦合状况最敏感的前表面回波的作用,使剖面顶边的图像对声耦合状况高度敏感,为操作者保持声耦合稳定一致提供一个便利的参考。如果顶边的图像发生强烈变化,操作者可以有意识地改变探头与被测物的声耦合,据以判断顶边图像的变化是来自声耦合不一致,还是源于被测物内部状况的不一致。

剖面中与底边相距 i 的水平线段的颜色由公式(4)决定:

$$\text{RGB}(y_{T_1-i}, y_{T_2-i}, y_{T_3-i}), \quad i = 1, 2, \dots, N-1. \quad \text{Eq. (4)}$$

令 i 取值从 1 到 $N-1$, 分段内所有彩色线段各自通过三个不同时刻 T_1-i 、 T_2-i 、 T_3-i 的声冲击响应值 y_{T_1-i} 、 y_{T_2-i} 、 y_{T_3-i} 独立地获得其色彩及强度。同理, y_{T_1-i} 、 y_{T_2-i} 、 y_{T_3-i} 尽管代表三个相继反射中的三个截然不同时刻,由于 T_1-i 、 T_2-i 、 T_3-i 分别与 T_1 、 T_2 、 T_3 相距同样距离 i , 而 T_1 、 T_2 、 T_3 对应于被测物上同一位置的背表面,因此声冲击响应值 y_{T_1-i} 、 y_{T_2-i} 、 y_{T_3-i} 所描述的是与同点相距同距 i 的同一个几何点。设想被测物内与背表面相距 i 处有一裂隙。裂隙在时刻 T_1-i 、 T_2-i 、 T_3-i 产生额外反射信号,使声冲击响应值 y_{T_1-i} 、 y_{T_2-i} 、 y_{T_3-i} 显著增加。反映在相应的剖面片断

中，底边上方第*i*条线段彩色显著加重，彩色中红色、绿色及蓝色的比例与裂隙的第一、第二及第三次反射直接相关。这样一来，第*i*条线段用三次反射的信息，不但准确表现了裂隙的几何位置，还表现了各次反射的相对强度及波形改变。从相反角度看，声冲击响应或振幅响应中携带的不同时刻的信息，只应被使用于对应于正确物点的正确像点。如果 y_{T_1-i} 、 y_{T_2-i} 、 y_{T_3-i} 被应用于底边上方第*i*条线段以外的其它线段，就会错误地显示本不存在的虚假裂隙。

本发明实施例装置所采用的公式(2)-(4)，成功地将多次反射的信息以彩色表现在剖面图中。不但更好地表现了只对界面敏感的声反射作用，而且对只能通过改变信号波形体现其存在的连续性声学特性，也能给予丰富的表现。还准确地反映出突变性和连续性声学作用的几何位置或几何分布。

超声信号在被测物内旅行的整个过程中，从始至终经受着信号幅度的衰减和信号波形的改变。越是高次的反射信号，比如第二次、第三次反射信号，由于在被测物内旅行更久，与被测物内部结构相互作用更充分，携带的有用信息也越多。高次反射信号的不利因素是所含噪声及其它干扰也更多。各次反射显然有各自的长处和短处。本发明不但提出了在超声波检测中同时利用多次反射所含信息的有效途径，还支持任意调整各次反射的相对权重以更好地服务于不同的被测物或侧重性不同的应用目的。公式(4)可以被进一步推广为：

$$\begin{aligned} & \text{RGB}(F_1(y_{T_1-i}, y_{T_2-i}, y_{T_3-i}, \dots), \\ & F_2(y_{T_1-i}, y_{T_2-i}, y_{T_3-i}, \dots), \\ & F_3(y_{T_1-i}, y_{T_2-i}, y_{T_3-i}, \dots)) \quad i = 1, 2, \dots, T-1. \quad \text{Eq. (5)} \end{aligned}$$

式中 $F_1()$ 、 $F_2()$ 和 $F_3()$ 为三个不同形式的多变量函数，分别计算RGB()函数中红、绿、蓝的量值。通过改变三个函数的定义，可以实现以不同形式突出被测物内不同声学特性的彩色剖面图像。

图5所示为一放大的剖面片断。由于专利申请文件中只支持黑白图文，图五中特意各个线段标明了颜色的RGB()表示。RGB()参量的数值作了归一化处理。

本发明的超声彩色剖面像成像过程中还有其它一些技术细节。现将实施例中采用的方法介绍如下：

片断宽度由显示窗的宽度和窗内已经展示的片断的数量决定。片断的最大和最小宽度需预先设定。举例来说，如果显示窗为200像素宽，最小宽度和最大宽度分别定为显示窗宽度的五分之一和十分之一，则最小宽度为4像素宽，最大宽度为20像素宽，显示窗最多同时展示50个片断。检测开始时的第一个片断被置于窗口最左端，宽度为最大宽度20像素。下一个片断排在已有剖面的右端。随着检测的进展，更多片断进入显示窗。每当窗口右端剩余的宽度容不下新产生的片断时，片断宽度就自动减小一个像素。当片断宽度减至最小宽度4像素，展示的片断总数达到50时，片断宽度不再减小。每产生一个新片断，整个剖面向左移动一个片断宽度，将最左端的片断推出窗口，最右端的位置让给最新的片断，片断总数维持在50。显示窗下缘备有水平滑动栓。用光标控制滑动栓水平滑动可以将窗口外的剖面片断拉回显示窗中。

显示分辨率由显示窗的高度和被测物的最大厚度决定。例如显示窗为100像素高，被测物最大厚度预设2厘米，则竖向分辨率为每厘米50像素。2毫米厚薄板将被显示为5像素高。实施例中还多种与竖向分辨率有关的执行机制：a)：用光标访问显示窗中任何剖面片断，可读取该片断的顶边和底边之间距离所代表的被测物厚度读数。b)：操作者可在任意时刻重设竖向分辨率以获得更佳细节显示。如果新设的分辨率使某些片断的图像溢出，可用光标控制显示窗的竖直滑动栓竖向移动整个显示画面，显示上方或下方溢出的图像。c)：竖向分辨率动态调整选项，启动后自动根据已有剖面片断的最大厚度改变竖向分辨率，在不发生图像溢出的前提下使用预设的最大竖向分辨率以得到最佳细节显示。竖向分辨率改变时，显示窗中的<单位厚度像素数>自动更新。

新片断的置放：实施例装置中片断置放方式在片断宽度一节已做了初步说明。如果操作者不介入，光标自行移动到已展示的剖面右方空白位置。光标宽度等同于当前的片断宽度。当操作者将光标移动到任何已有片断时，下一个新片断将被插入光标所覆盖片断的右侧，原来位于光标右方的图像整体向右移动一个片断宽度。如果剖面的右端已达窗口右边界，最右端的片断将被推出窗外。总而言之，光标的功能与常用文字编排软件非常相似。此外，光标还可用来显示任何片断的其它有关信息。

片断的排列准线：排列准线是剖面像的设置参量之一。片断置放时既可用被测物前表面，也可用被测物背表面为准线。一般说来，在容器的腐蚀监测应用中，将各个片断的外表面(前表面)对齐，不但因为外表面平整光滑，更因为被腐蚀改变了相对位置的是容器的内表面(背表面)。同理，如果被测物有平整的背表面，例如用于仪器校准的阶梯形厚度量规，以被表面作片断排列的准线是明显的选择。

剖面的走向：剖面走向是实施例装置中的一个设置参量。图四所示为水平剖面走向。同样的片断集合可以被显示为竖直走向的剖面，以对应竖直设备，特别是竖直管线的检测。

虽然本发明已经参考实施例进行了详细的描述，本领域普通技术人员可以理解，在不脱离由权利要求确定的本发明的精神与范围的情况下，本发明可以有多种形式和细节的改变。

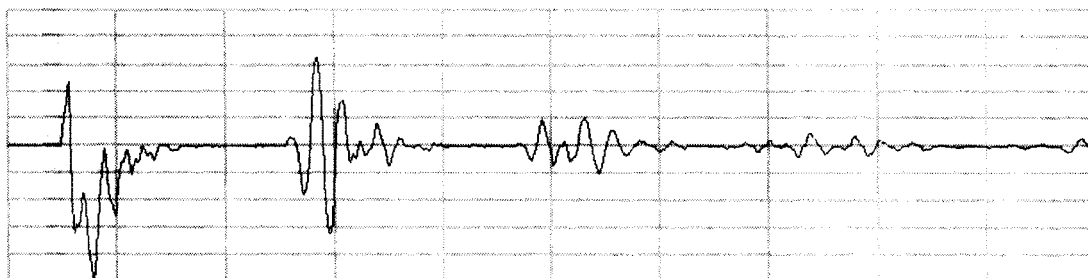


图 1

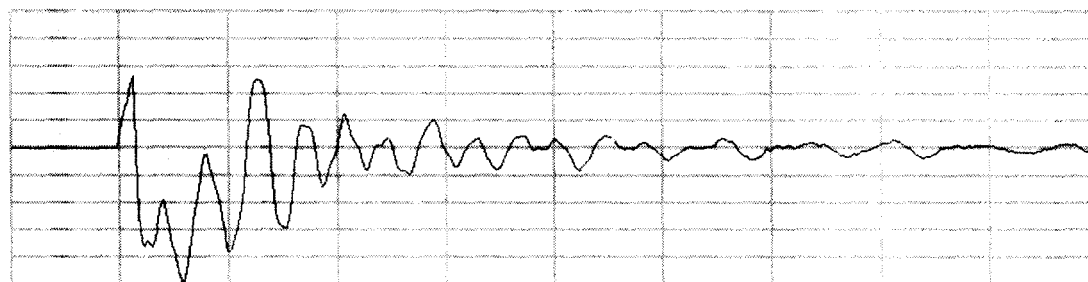


图 2

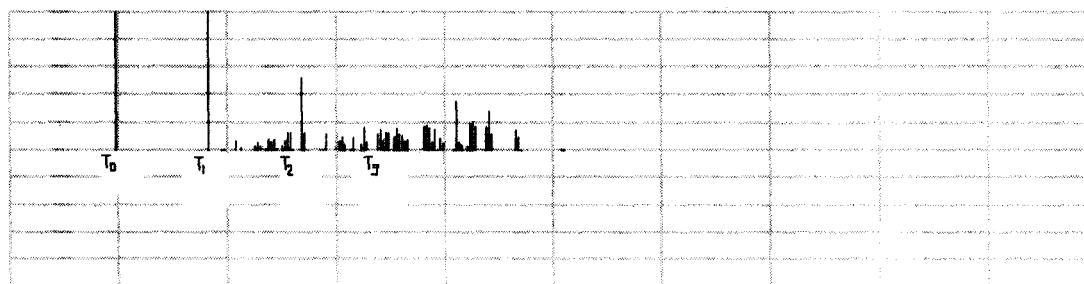


图 3

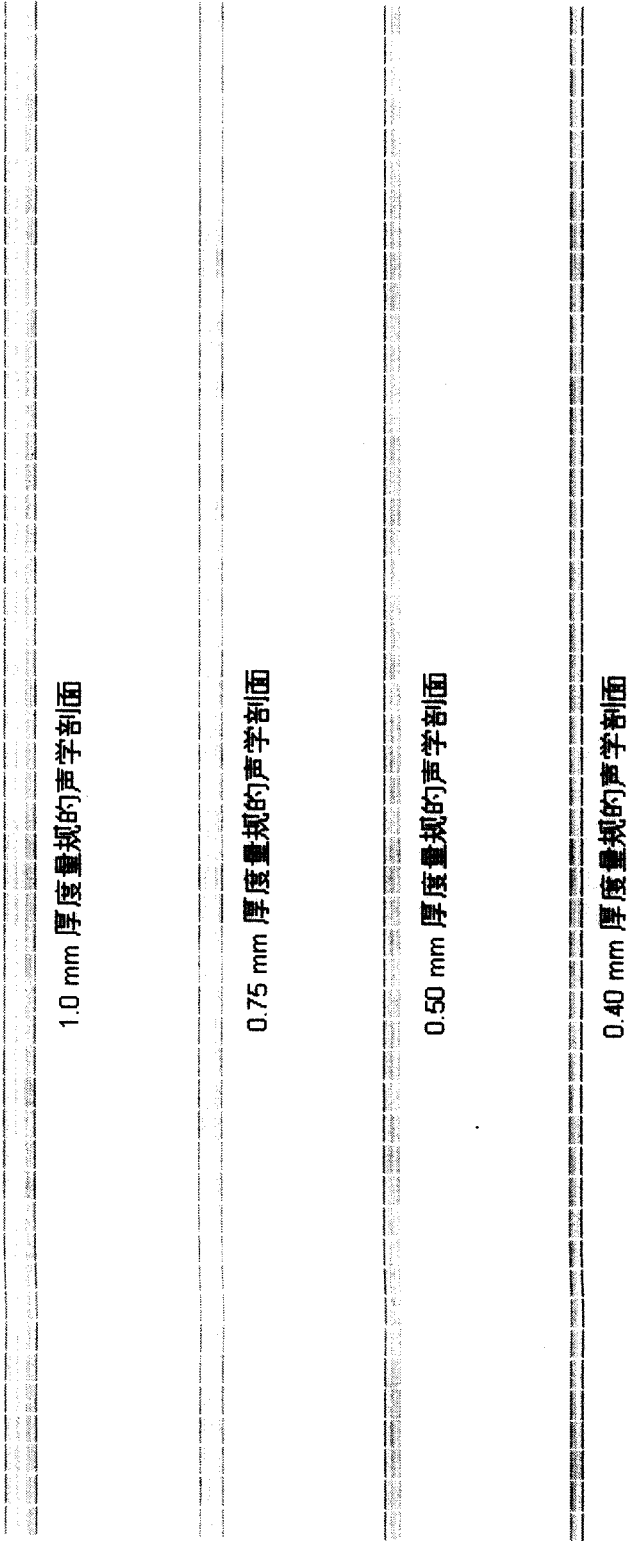
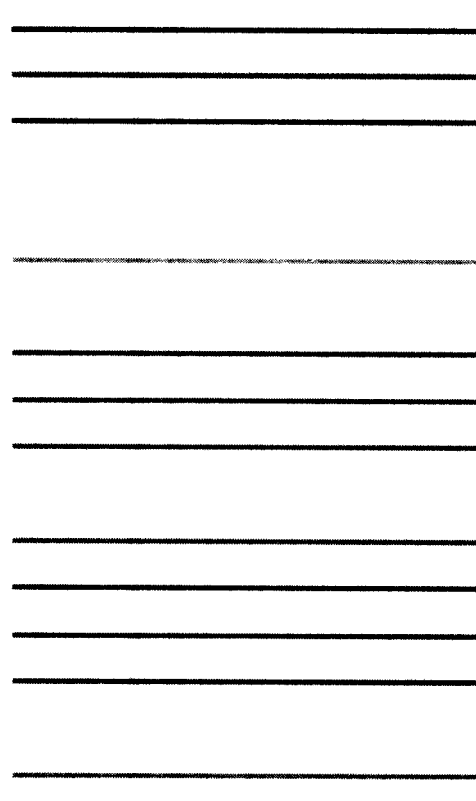


图 4



_____	RGB(0, 133, 27)
_____	RGB(206, 105, 155)
_____	RGB(29, 51, 55)
	RGB(246, 230, 255)
	RGB(255, 255, 255)
_____	RGB(183, -15, 5)
	RGB(235, 242, 255)
_____	RGB(59, 131, 205)
_____	RGB(204, 118, 105)
_____	RGB(212, 105, 155)
	RGB(255, 255, 255)
_____	RGB(216, 135, 105)
_____	RGB(57, 143, 205)
_____	RGB(182, 66, 155)
_____	RGB(192, 116, 105)
	RGB(251, 222, 255)
_____	RGB(122, 228, 0)

图 5

专利名称(译)	表现超细结构及连续性异变的超声彩色成像方法及其装置		
公开(公告)号	CN101038270A	公开(公告)日	2007-09-19
申请号	CN200610109435.5	申请日	2006-08-15
[标]发明人	文荆江		
发明人	文荆江		
IPC分类号	G01N29/00 A61B8/00		
CPC分类号	G01N29/043 G01N29/06 G01N2291/0237 G01N2291/02854 G01S7/52071		
优先权	60/707940 2005-08-15 US		
其他公开文献	CN101038270B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种能表现超细结构及连续性异变的超声波彩色成像装置及方法。利用超声波信号受被测物外表面及内部界面多次反射而反复往返被测物内的相同路径这一事实，对相同路径上的任一部位，用振幅响应或其数学演变中在不同的往返中受到该部位作用的多个数据成员推算出多个颜色参量，将该部位所对应的像元表述为彩色像元。这一方法不但从根本上改变了对被测物内超细结构及连续声学介质的图像表述，也改进了对内外界面的图像表现力。本发明对发动机叶片和高速飞行体外壁这类要害薄体材料的检测具有重大实用意义，并能提高超声波医学成像的鉴别力和读图效率。

