

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101699280 A

(43) 申请公布日 2010.04.28

(21) 申请号 200910235731.3

(22) 申请日 2009.10.15

(71) 申请人 北京索瑞特医学技术有限公司

地址 100007 北京市东城区东直门内南大街
9号华普花园B座2106

(72) 发明人 段媛媛 段后利 孙锦

(74) 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事
务所(普通合伙) 11201

代理人 廖元秋

(51) Int. Cl.

G01N 29/07(2006.01)

A61B 8/08(2006.01)

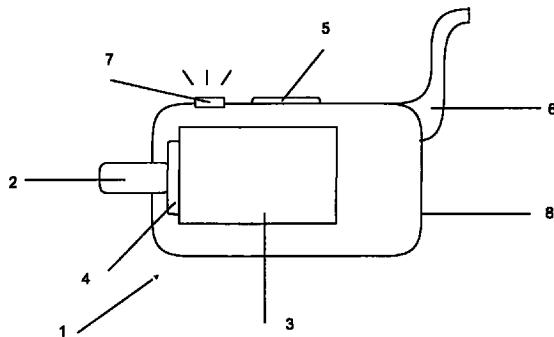
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 2 页

(54) 发明名称

超声无损检测粘弹性介质弹性的方法及其装
置

(57) 摘要

本发明涉及超声无损检测粘弹性介质弹性的方法及其装置，属于无损测量技术领域，该方法包括：使用超声探头对待检测介质产生低频振动并且向待检测介质发射超声波，同时采集从待检测介质返回的超声波信号；选择用以计算待检测介质弹性的超声波信号范围；用选择的超声波信号计算低频振动产生的弹性波在介质中的传播速度；进而从得到的弹性波传播速度计算介质弹性。所述装置包括：一个超声波换能器触头；一个固定该超声波换能器触头的振动器；一个控制设备。本发明无需进行超声探头运动补偿，因此能够减少计算时间，同时由于不需要位置传感器进行位置检测，也降低了系统复杂性和成本。



1. 一种进行粘弹性介质弹性检测的方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:
 - a) 使用超声探头对待检测介质产生低频振动,并且以 100Hz-100000Hz 之间的脉冲重复频率向待检测介质发射超声波,同时采集从待检测介质返回的超声波信号;
 - b) 根据所施加低频振动的持续时间及待检测介质的物理参数从采集的超声波信号中选择用以后续计算的超声波信号范围;
 - c) 根据步骤 b) 所选择的超声波信号计算低频振动产生的弹性波在介质中的传播速度;
 - d) 根据步骤 c) 得到的弹性波传播速度计算介质弹性。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤 b) 选择用以计算待检测介质弹性的超声波信号范围的具体步骤包括:

设低频振动持续时间为 T,振动开始 $T + \Delta T$ 时间后,超声探头完全静止;选择的超声波信号扫描线的序号 N_{select} 满足:

$$N_{\text{select}} \geq \text{ceiling}((T + \Delta T) \times F_{\text{high}})$$

其中 ceiling(.) 为向上舍入取整函数, F_{high} 为发射超声波信号的脉冲重复频率,取值范围为 100Hz-100000Hz;

设待检测介质厚度为 D_1 ,根据估计的待检测介质硬度范围确定的弹性波在介质中的传播速度下限为 V_s^1 ,则在弹性波还在介质内传播的条件下,所选择的超声波信号扫描线的序号 N_{select} 满足:

$$N_{\text{select}} \leq \text{ceiling}((D_1/V_s^1 + T) \times F_{\text{high}})$$

当 ΔT 小于 D_1/V_s^1 时,结合上述两式,得到 N_{select} 应满足:

$$\text{ceiling}((T + \Delta T) \times F_{\text{high}}) \leq N_{\text{select}} \leq \text{ceiling}((D_1/V_s^1 + T) \times F)$$

当 ΔT 不小于 D_1/V_s^1 时,在超声探头和待检测介质之间加入一个厚度为 D_2 的已知硬度的弹性中间介质,使得 $\Delta T < D_1/V_s^1 + D_2/V_s^2$,其中 V_s^2 为弹性波在该弹性中间介质中的传播速度,则所选择的超声波信号扫描线应满足:

$$\text{ceiling}((T + \Delta T) \times F_{\text{high}}) \leq N_{\text{select}} \leq \text{ceiling}((D_2/V_s^2 + D_1/V_s^1 + T) \times F_1)$$

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征是,所述低频振动的振动频率 f 在 0.5Hz-3000Hz 之间,低频振动的持续时间在 $1/2f$ - $40/f$ 之间。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在所述步骤 a) 之前还包括利用超声探头所获取的 M 超图,选择进行弹性测量的待检测介质位置;或还包括用超声诊断仪所带的超声成像探头获取的二维或三维超声图像选择进行弹性测量的待检测介质位置。

5. 根据权利要求 1 所述的弹性计算方法,其特征在于,在所述步骤 a) 之前还包括判定超声探头施加在待检测介质上的压力是否合适。

6. 根据权利要求 1 所述的弹性计算方法,其特征在于,在所述步骤 a) 之前还包括判定超声探头与待检测介质的垂直度是否合适。

7. 一种采用权利要求 1 所述方法的超声无损检测粘弹性介质弹性的装置,其特征在于,所述装置包括:

1) 一个超声波换能器触头,用于在控制设备的控制下向待检测介质发射和接收超声波;

2) 一个与超声波换能器触头有固定连接的振动器;

3) 一个分别与所述超声波换能器触头、振动器有电气连接的控制设备,用于启动对介质的弹性检测;控制超声波换能器触头发射和接收超声波;控制振动器的工作;选择用以计算待检测介质弹性的超声波信号范围,对选择的超声波信号进行处理,并对结果进行显示。

8. 根据权利要求 7 所述的装置,其特征在于,该控制设备包括计算机、微处理器、或者微控制器之中任一种,及通过通讯接口与其相连的超声发射接收电路。

9. 根据权利要求 7 所述的装置,其特征在于,该控制设备包括一个用硬件或者软件实现的触发按键,用以启动弹性检测。

10. 根据权利要求 7 所述的装置,其特征在于,还包括安装在所述超声波换能器触头与振动器之间的压力传感器阵列,该压力传感器阵列分别与所述超声波换能器触头和振动器接触;所述的控制设备还包括通过通讯接口与计算机、微控制器或者微处理器之中任一种相连的压力信号采集电路。

11. 根据权利要求 7 所述的装置,其特征在于,该装置还包括与所述控制设备相连的一个超声波诊断仪,用于选择进行弹性测量的待检测介质位置。

12. 根据权利要求 7 所述的装置,其特征是,该装置还包括一个状态指示装置,用于指示装置的工作状态。

13. 根据权利要求 7 所述的装置,其特征是,该装置还包括一个机械臂,用于支撑超声探头。

超声无损检测粘弹性介质弹性的方法及其装置

技术领域

[0001] 本发明属于无损测量技术领域，涉及经超声波照射后会产生散射信号的粘弹性介质的弹性检测方法及其装置。

背景技术

[0002] 粘弹性介质的无损测量技术在食品工业领域有重要意义。如果能够方便的检测食品的弹性，将能更好的进行食品质量控制。此外，在医疗领域，各种慢性肝病（病毒性肝炎、酒精性肝炎、非酒精性脂肪性肝炎及自身免疫性肝病）将导致肝纤维化和肝硬化。肝纤维化和肝硬化过程中伴随着肝脏弹性的变化，如果能够无创检测肝脏的弹性，就能对肝病病情进行监测与评估，从而采取及时有效的治疗方案。

[0003] 中国专利（授权公告号 CN100438833C）公布了一种超声弹性测量装置和方法。该装置包含一个超声波换能器触头，一个位置传感器，一个致动器，及一个能够产生瞬时低频冲击的伺服电动致动器。该装置利用超高速率的超声波，来检测伺服电动致动器瞬时低频冲击所产生的弹性波在粘弹性介质中的传播速度。利用弹性波速度与介质弹性的固有关系，从而得到介质的弹性。

[0004] 上述装置中，电动致动器带动超声波换能器触头产生低频振动，从而在待检测介质中引入弹性波。在产生机械振动时，超声波换能器触头同时在发射和接收超声波，这就导致了对于接收的超声波数据而言，其参考点是运动的，因此在进一步利用数据进行计算之前，需要补偿该运动。该装置通过位置传感器来检测超声波换能器触头的运动，从而对探头运动进行补偿。这种方法虽然能够解决参考点运动问题，但是运动的补偿需要增加额外的计算时间，同时由于需要安装位置传感器，增加了系统的复杂性和成本。

[0005] 此外，上述装置依赖于人工操作，操作时超声触头施加在介质上的压力大小以及探头是否垂直于介质都将影响测量的结果。实际操作中，操作者需要凭经验判断所施加的压力和超声触头与介质的垂直度是否合适，使得检测结果容易受到操作者主观因素影响，从而可能导致测量在不同操作者的操作下或者同一操作者的不同操作下的结果差异性较大。

[0006] 此外，上述装置通常需要多次重复测量同一位置来获得最终结果。由于操作者通过手持探头进行测量，很难保证每次测量都在同一位置，这种测量位置的偏差也会影响结果的准确性。

发明内容

[0007] 本发明的目的是克服目前技术系统的局限性，针对能散射超声波信号的粘弹性介质，尤其是人或者动物的器官或组织，提出一种无需进行运动补偿且检测受操作者主观因素影响较少的，超声无损检测粘弹性介质弹性的方法及其装置。

[0008] 本发明提出一种进行粘弹性介质弹性检测的方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

[0009] a) 使用超声探头对待检测介质产生低频振动，并且以 100Hz-100000Hz 之间的脉冲重复频率向待检测介质发射超声波，同时采集从待检测介质返回的超声波信号；

[0010] b) 根据所施加低频振动的持续时间及待检测介质的物理参数从采集的超声波信号中选择用以后续计算的超声波信号范围，使所选取超声波信号对应时刻超声波换能器触头已经静止；

[0011] c) 根据步骤 b) 所选择的超声波信号计算低频振动产生的弹性波在介质中的传播速度；

[0012] d) 根据步骤 c) 得到的弹性波传播速度计算介质弹性。

[0013] 本发明还提出采用上述超声无损检测粘弹性介质弹性的方法的装置，其特征在于，所述装置包括：

[0014] 1) 一个超声波换能器触头，用于在控制设备的控制下向待检测介质发射和接收超声波；

[0015] 2) 一个与超声波换能器触头有固定连接的振动器，用于产生低频振动；

[0016] 3) 一个分别与所述超声波换能器触头、振动器有电气连接的控制设备，用于启动对介质的弹性检测；控制超声波换能器触头发射和接收超声波；控制振动器的工作；选择用以计算待检测介质弹性的超声波信号范围，对选择的超声波信号进行处理，并对结果进行显示。

[0017] 本发明的特点及有益效果

[0018] 本发明根据所施加的低频振动的持续时间，待检测介质厚度、硬度等参数，选择一个时间段，在该时间段内，低频振动产生的弹性波仍在介质内部传播，而发射超声波的触头已经停止或接近停止振动。由于该时间段内超声波的探头可以看做是不动的，因此可以认为该时间段内采集到的超声波数据的参考点是静止的。利用该时间段内采集的超声波信号进行后续计算，可以无需进行超声探头运动补偿，因此能够减少计算时间，同时由于不需要位置传感器进行探头运动检测，也可以降低系统复杂性和成本。同前述专利（授权公告号 CN100438833C）公布的超声弹性测量装置和方法相比，本发明在无需位置传感器部件的情况下，实现了同样介质弹性测量的功能。通过节省部件，本发明还降低了装置复杂性和成本。

[0019] 本发明还进一步可通过在现有弹性检测装置上增加一个压力传感器阵列，从而可以测量超声波换能器触头上受到的平均压力。当压力传感器阵列含有三个或三个以上压力传感器时，还可以利用各压力传感器所受的压力差异得到超声波换能器触头同待检测介质表面的垂直度信息。通过在方法中增加判断超声探头施加在待检测介质上的压力是否合适及超声探头同待检测介质垂直度是否合适的步骤，本发明克服了现有装置中操作者需要凭经验判断所施加的压力和垂直度是否合适的问题，从而减少了主观因素对弹性测量的影响，提高了测量的成功率和准确性。

[0020] 此外，本发明还可在弹性检测装置上增加了机械臂，用于支撑探头，使得一旦选定检测位置，就能够保证每次检测都在同一位置，从而提高了测量的可重复性；同时借助于机械臂，也有助于实施半自动或者全自动操作，减轻操作员负担。

附图说明

- [0021] 以下将参看附图,作为非限定的实施例,描述本发明的实施方式,在附图中:
- [0022] 图1是本发明的超声无损检测粘弹性介质弹性装置的实施例组成示意图;
- [0023] 图2是图1所包含的压力传感器阵列分布示意图;
- [0024] 图3是本发明还包含一个超声诊断仪及一个机械臂的本发明装置的实施例示意图;
- [0025] 图4是本发明加入一放置在待检测介质和本发明装置之间的弹性中间介质实施例示意图。

具体实施方式

[0026] 本发明提出的进行粘弹性介质弹性检测的方法及装置结合附图及实施例详细说明如下:

- [0027] 本发明提出的一种进行粘弹性介质弹性检测的方法,包括以下步骤:
- [0028] a) 使用超声探头对待检测介质产生低频振动,并且以100Hz-100000Hz之间的脉冲重复频率向待检测介质发射超声波,同时采集从待检测介质返回的超声波信号;
- [0029] b) 根据所施加低频振动的持续时间及待检测介质的物理参数从采集的超声波信号中选择用以后续计算的超声波信号范围,使所选取超声波信号对应时刻超声波换能器触头已经静止;
- [0030] c) 根据步骤b)所选择的超声波信号计算低频振动产生的弹性波在介质中的传播速度;
- [0031] d) 根据步骤c)得到的弹性波传播速度计算介质弹性。

[0032] 该方法还可以包括一个检查区域预选择步骤。该步骤有助于选择合适的位置进行弹性检测。比如,对于肝脏弹性检查,检查区域预选择步骤可以帮助避开肝脏大血管,以免影响弹性检测结果。

[0033] 上述所施加的低频振动的振动频率f可在0.5Hz-3000Hz之间,低频振动的持续时间T可在1/2f-40/f之间。

[0034] 优选的是,该方法可以包含判定超声探头施加在待检测介质上的压力是否合适的步骤。

[0035] 优选的是,该方法可以包含判定超声探头与待检测介质的垂直度是否合适的步骤。

[0036] 本发明还提出采用上述的超声无损检测粘弹性介质弹性的装置,其特征在于,所述装置包括:

- [0037] 1) 一个超声波换能器触头,用于在控制设备的控制下向待检测介质发射和接收超声波;
- [0038] 2) 一个与该超声波换能器触头有固定连接的振动器;
- [0039] 3) 一个分别与所述超声波换能器触头、振动器有电气连接的控制设备,用于启动对介质的弹性检测;控制超声波换能器触头发射和接收超声波;控制振动器的工作;选择用以计算待检测介质弹性的超声波信号范围,对选择的超声波信号进行处理,并对结果进行显示。

[0040] 该装置的超声波换能器触头用于在控制设备的控制下向待检测介质发射和接收

超声波,当用于检测人体肝脏时,为了使得能够透过人体肋间隙发射和接收超声波,超声波换能器触头的端面最大外径应该小于12mm。

[0041] 本发明的控制设备可以包括带有用户交互设备的计算机、微控制器或者微处理器之中任一种,以及通过通讯接口(如USB、PCI等)与其相连的超声发射接收电路(这些电路为本领域技术人员所公知)。本发明的控制设备还可以包括一个用硬件或者软件实现的触发按键,用以启动弹性检测。

[0042] 该装置的控制设备所包含的用户交互设备用于信息的输入及检测结果的显示,它可以由鼠标、键盘和显示器组成,也可以由触摸屏或其他交互设备构成。

[0043] 该装置的控制设备所包含的超声发射接收电路可以在控制设备所包含的计算机、微控制器或者微处理器控制下根据需要以1Hz-100000Hz之间的脉冲重复频率发射和接收超声波。

[0044] 该装置的振动器能发出频率0.5Hz-3000Hz,幅值0.5mm-20mm之间的低频振动。该振动器在控制设备的控制下,依据需要的起始时间、波形和幅值准确产生所需要的低频振动。由于超声波换能器触头同振动器相连,因此振动可以由超声波触头传入待检测介质。

[0045] 在控制设备的统一控制下,一旦操作者用触发按键启动弹性检测,振动器将带动超声波换能器触头发出低频振动,从而产生一个向待检测介质内部传播的低频弹性波;同时超声发射接收电路以100Hz-100000Hz之间的脉冲重复频率发射超声波并且采集超声回波。控制设备利用采集到的超声回波信号进行介质弹性计算:从待检测介质散射回来的超声波信号可以用来追踪弹性波在介质内部的传播,从而计算弹性波在介质内的传播速度,之后用本领域技术人员所公知的弹性波速度与介质弹性、密度的固有关系计算得到待检测介质的弹性。

[0046] 该装置可以包含一个超声诊断仪。该超声诊断仪可以是普通黑白超声诊断仪或者彩色超声诊断仪。借助超声诊断仪的二维或三维超声成像探头,可以在用户界面上提供二维或三维超声成像,从而为弹性测量提供预扫查及预定位。

[0047] 该装置可以包含一个压力传感器阵列,此时控制设备还包括通过通讯接口(如USB、PCI等)与计算机、微控制器或者微处理器相连的压力信号采集电路(这些电路为本领域技术人员所公知)。该阵列至少包含一个压力传感器。该压力传感器阵列同超声波换能器触头和振动器接触,可以用于检测操作时施加在超声波换能器触头上的平均压力。该压力信息反馈给操作者,以便操作者施加合适的压力,从而提高测量准确性。

[0048] 优选的是,压力传感器阵列包括至少三个压力传感器。利用压力传感器阵列中各压力传感器检测到的压力值,可以得到操作人员施加在超声波换能器触头上的平均压力;利用压力传感器阵列中各压力传感器检测到的压力差异,可以判断超声波换能器触头与检测介质表面是否接近垂直。这些信息反馈给操作者,从而有助于操作者实施准确可重复的测量。

[0049] 该装置可以包含至少一个机械臂,用于支撑探头。同时,为了便于操作者灵活选择检测位置,该机械臂有至少一个以上自由度。探头可以固定在机械臂上,当操作者用手拉动机械臂时,可以灵活选择探头检测位置。当选择好检测位置后,操作者放开手,探头可以固定在选定位置上,从而可以保证各次检测在同一个位置上。同时借助于机械臂,也有助于实施半自动或者全自动操作,减少操作员负担。

[0050] 该装置可以包含一个状态指示装置,用于指示装置的工作状态。操作者可以通过状态指示装置方便的得知装置的工作状态。

[0051] 该装置可以包含一个弹性中间介质,操作者进行检测时放置在待检测介质和探头之间,用以保证当超声波触头停止振动时刻,弹性波依旧在待检测介质内部传播。

[0052] 根据本发明的一个较优装置实施例结构,如图 1 所示,包括由一个超声波换能器触头 2,一个振动器 3,一个压力传感器阵列 4 组成的超声探头 1,所述超声波换能器触头和振动器之间通过压力传感器阵列 4 固定在一起;该探头安装在外壳 8 内,外壳上有一个状态指示装置 7;外壳尾部有一根与超声探头相连的电缆 6;一个通过电缆 6 与超声探头 1 及状态指示装置 7 相连的控制设备(图中未标出);控制设备包含一个按键 5,固定在外壳 8 上;其中压力传感器阵列 4、及状态指示装置 7 可以省略。

[0053] 上述各部件的功能及具体组成分别详细说明如下:

[0054] 本实施例的控制设备其功能是通过按键 5 启动对介质的弹性检测;控制振动器的工作;控制状态指示装置 7 的状态;控制超声波换能器触头发射超声波和接收超声回波;控制压力传感器的信号采集;对采集到的超声和压力数据进行处理,并对结果进行显示。该控制设备可以是包含带有显示器 11 和键盘 12 的计算机、微控制器或者微处理器(例如可以选择 DELL Optiplex 360 台式机、Arm 公司的 ARM Cortex-A8 微控制器或者 Intel 公司的奔腾 III 处理器)及通过通讯接口(如 USB、PCI 等)与其相连的超声发射接收电路和压力信号采集电路(这些电路为本领域技术人员所公知)。

[0055] 本实施例的压力传感器阵列用于检测超声波换能器触头受到的压力及超声波换能器触头与检测介质表面的垂直度;压力传感器阵列俯视图如图 2 所示,该压力传感器阵列含有三个 Honeywell 公司小型 Model F 压力传感器 9,三个压力传感器 9 安装在电路板 10 上一个正三角形每边的中心。

[0056] 本实施例的状态指示装置 7 用于显示装置的工作状态;它可以是一组具有不同颜色的 LED 灯组成。

[0057] 本实施例的超声波换能器触头用于在控制设备的控制下向待检测介质发射和接收超声波。应用时根据被测介质的特点及精度要求选择相应中心频率和尺寸的超声波换能器触头,比如待检测介质是人体的肝脏时,可以选择中心频率在 1MHz-15MHz 之间的超声波换能器触头产品,同时超声波换能器触头端面最大外径应小于 12mm,使得其可以透过人体的肋间隙发射和接收超声波。

[0058] 本实施例的振动器其功能是在控制设备的控制下带动超声波换能器触头发出低频振动;该振动器在控制设备的控制下能发出频率 0.5Hz-3000Hz,幅值 0.5mm-20mm 之间的低频振动,其具体可以是电磁式振动器,也可以是步进电机式振动器。

[0059] 本实施例的外壳上的按键作为控制设备的一部分,用于启动振动器发出低频振动,同时启动控制设备的超声发射接收电路以 100Hz-100000Hz 之间的脉冲重复频率发射和接收超声波。

[0060] 本实施例的外壳用以保护外壳里面的部件,可以采用 ABS 塑料制作。

[0061] 本实施例检测介质弹性时,探头 1 的超声波换能器触头 2 扫查待检测介质,此时控制设备的超声发射接收电路激发超声波换能器触头以 100Hz 以内的脉冲重复频率(比如 30Hz)发射超声波,并且采集超声回波信号。控制设备的计算机、微控制器或者微处理器对

采集的回波信号进行取包络运算、对数压缩等操作后,以 M 超(为本领域技术人员所公知,全称 M 型超声成像)的形式显示在显示器上,操作者可以通过 M 超图获得检测介质信息,从而选择弹性检测位置;在采集超声数据的同时,压力传感器的压力信息也被控制设备的压力信号采集电路采集,控制设备的计算机、微控制器或者微处理器通过计算判断超声波换能器触头的压力及垂直度是否合适。

[0062] 当选择了合适的弹性检测位置,并且超声波换能器触头的压力及垂直度合适时,操作者可以触发按键 5,振动器 3 将带动超声波换能器触头 2 发出一个频率 0.5Hz~3000Hz,幅值 0.5mm~20mm 之间的低频振动(比如频率 50Hz,幅值 2mm),该振动产生一个弹性波向检测介质内部传播。同时该触发信号将触发控制设备的超声发射接收电路以 100Hz~100000Hz 之间的脉冲重复频率(比如 6000Hz)发射超声波并且采集超声回波,控制设备的计算机、微控制器或者微处理器利用采集到的超声回波信号进行介质弹性计算。

[0063] 上述装置还可以与一个超声波诊断仪集成为一个整体,如图 3 所示,将控制设备和超声波诊断仪(图中未示出)均安装在一个箱体中,控制设备的键盘 12 及显示器 11 安装在箱体外面,上述超声探头 1 与超声波诊断仪所带的二维或三维成像探头 14 通过电缆引出箱体外。利用超声波诊断仪所带的二维或三维成像探头 14,可以对待检测介质进行成像,以获得更多的信息,有助于在弹性测量中避开影响弹性测量的区域(比如测量人体肝脏时避开肝脏中的大血管)。

[0064] 上述装置中还可以在箱体上安装一个机械臂 13,用于支撑超声探头 1,该机械臂有至少一个自由度。当操作者拉动机械臂时,可以灵活选择检测位置,当选择好检测位置后,操作者放开手,超声探头就可以固定在选定位置上,从而可以保证每次检测都是同一个位置。

[0065] 利用上述发明装置进行弹性测量的方法实施例,包括以下步骤:

[0066] (a) 将超声探头 1 放置在待检测介质上并使超声波换能器触头 2 与待检测介质接触后,利用超声探头 1 所获取的 M 超图,或用超声诊断仪所带的超声成像探头 14 获取的待检测介质超声图像,或者两者的结合,选择进行弹性测量的待检测介质位置(该步骤为优选步骤);

[0067] (b) 利用压力传感器阵列检测到的压力数据,判定超声探头施加在待检测介质上的压力是否合适(该步骤为优选步骤)。本实施例中的压力传感器阵列含有三个压力传感器,检测到的压力分别为 F_1 、 F_2 、 F_3 。根据下述公式进行判断:

$$F = (F_1 + F_2 + F_3) / 3 \quad (1)$$

$$F_{\min} < F < F_{\max} \quad (2)$$

[0070] 即根据公式(1)计算出探头施加在介质上的平均压力 F;再根据公式(2)判断该平均压力 F 大小是否合适。其中, F_{\min} 和 F_{\max} 分别为压力下界和压力上界,对于动物或者人体软组织的弹性测量,可以选择 F_{\min} 为 1 牛顿, F_{\max} 为 10 牛顿;

[0071] (c) 利用压力传感器阵列检测到的压力数据,判定超声探头与待检测介质的垂直度是否合适(该步骤为优选步骤)。在本实施例中,可以根据下述公式进行判断:

$$\delta = (|F_1 - F| + |F_2 - F| + |F_3 - F|) / 3F \quad (3)$$

$$\delta < \delta_{\max} \quad (4)$$

[0074] 根据公式(3)计算出的 δ 代表压力传感器阵列中各个压力传感器所受压力的差

异。 δ 很小时, 表示各压力传感器所受压力接近, 超声探头与介质接近垂直; δ 越大, 表示压力传感器间所受压力差别越大, 超声探头与介质间倾角偏离垂直越大。 δ_{\max} 是一个阈值, 表明在检测介质时可以接受的偏离垂直程度, 对于动物或者人体软组织的弹性测量, 可以选择 δ_{\max} 为 0.1;

[0075] (d) 超声探头产生幅值为 2mm、频率 f_0 为 50Hz、持续时间 T 为 0.05s 的低频振动, 该低频振动产生的弹性波将从介质表面向深部传播, 传播速度同介质硬度相关; 在产生低频振动的同时, 控制设备的超声发射接收电路以 F_{high} 为 6000Hz 的脉冲重复频率向待检测介质发射超声波, 同时采集接收到的超声扫描线信号(本领域内将一次超声脉冲发射后接收到的超声回波称为一条超声扫描线), 这些超声扫描线的序号标记为 1、2、3、…N…, 其中扫描线间的时间间隔 $\Delta t = 1/F_{high}$, N 为正整数;

[0076] (e) 根据所施加低频振动的持续时间及待检测介质的物理参数(厚度、硬度等)从采集的超声波信号中选择用以后续计算的超声波信号范围。可以通过选择超声波信号扫描线的序号范围来选择超声波信号。该选择的原则是:所选择的超声波信号扫描线序号范围应保证该范围内超声波扫描线所对应时刻超声波换能器触头已经静止或者接近静止, 同时弹性波还在待检测介质内部传播。

[0077] 本实施例采用的超声波信号选择方法如下:

[0078] 当低频振动持续时间为 T 时, 考虑振动的惯性, 设振动开始 $T + \Delta T$ 时间后, 超声探头已经完全静止。那么可以选择的超声波信号扫描线的序号 N_{select} 应该满足:

$$N_{select} \geq \text{ceiling}((T + \Delta T) \times F_{high}) \quad (5)$$

[0080] 其中 ceiling(.) 为向上舍入取整函数, N_{select} 为自然数。

[0081] 设待检测介质厚度为 D_1 , 根据估计的待检测介质硬度范围确定的弹性波在介质中的传播速度下限为 V_s^1 , 那么在弹性波还在介质内传播的条件下, 所选择的超声波信号扫描线的序号 N_{select} 应该满足:

$$N_{select} \leq \text{ceiling}((D_1/V_s^1 + T) \times F_{high}) \quad (6)$$

[0083] 当 ΔT 小于 D_1/V_s^1 时, 结合上述两式, 可以得到 N_{select} 范围如下:

$$\text{ceiling}((T + \Delta T) \times F_{high}) \leq N_{select} \leq \text{ceiling}((D_1/V_s^1 + T) \times F_{high}) \quad (7)$$

[0085] 例如当 ΔT 为 0.01s, 估计的弹性波在介质中的传播速度下限 V_s^1 为 3m/s, 介质厚度 D_1 为 10cm, 那么选择的超声波信号扫描线序号范围为 $360 \leq N_{select} \leq 500$ 。

[0086] 当 ΔT 不小于 D_1/V_s^1 时, 如图 4 所示, 可以在超声探头 1 的超声波换能器触头和待检测介质 15 之间加入一个厚度为 D_2 的弹性中间介质 16, 使得 $\Delta T < D_1/V_s^1 + D_2/V_s^2$, 其中 V_s^2 为弹性波在该弹性中间介质中的传播速度。此时所选择的超声波信号扫描线应该满足:

$$\text{ceiling}((T + \Delta T) \times F_{high}) \leq N_{select} \leq \text{ceiling}((D_2/V_s^2 + D_1/V_s^1 + T) \times F_{high}) \quad (8)$$

[0088] 例如当 ΔT 为 0.01s, 估计的弹性波在介质中的传播速度下限 V_s^1 为 10m/s, 待检测介质厚度 D_1 为 10cm, 弹性中间介质厚度 D_2 为 10cm, 弹性波在弹性中间介质中的传播速度 V_s^2 为 1m/s, 那么可以选择的超声波信号扫描线序号范围为 $360 \leq N_{select} \leq 960$ 。

[0089] (f) 根据前面选择的超声波信号计算弹性波在介质中的传播速度。

[0090] 本实施例利用低频弹性波引入的介质应变在振动中心频率处的相位随着时间在深度方向上传播的线性回归来计算弹性波速度。

[0091] 该方法首先需要计算低频弹性波在介质中传播引入的应变, 该应变可以通过先估

计介质位移,然后用该位移求微分来计算,具体计算方法为本领域的公知技术。下面详细说明:

[0092] 介质的位移估计可以采用互相关法、绝对值差和法、多普勒法、自相关法等本领域技术人员所公知的位移估计方法。本实施例采用互相关法计算位移。

[0093] 假设每条扫描线有 L 点数据,相邻两点数据对应的实际距离为 Δz 。可以将每条扫描线划分为长度为 $2m+1$ 、中心间隔为 1 个数据点的 $L-2m$ 段数据。这 $L-2m$ 段数据的中心分别为扫描线上的 $m+1, m+2, \dots, L-m$ 点。那么第 n_1 条扫描线上以 p 点为中心的数据段和第 n_1+1 条扫描线上以 q 点为中心的数据段的相关系数 $C_{p,q}$ 由下式计算

$$[0094] C_{p,q} = \frac{\sum_{i=-m}^m r_{n_1}(p+i)r_{n_1+1}(q+i)}{\sqrt{\sum_{i=-m}^m (r_{n_1}(p+i))^2 \sum_{i=-m}^m (r_{n_1+1}(q+i))^2}} \quad (9)$$

[0095] 其中 r_{n_1} 、 r_{n_1+1} 分别代表第 n_1 条、第 n_1+1 条扫描线数据。

[0096] 通过计算第 n_1 条扫描线上以 p 为中心的数据段和第 n_1+1 条扫描线上所有数据段的相关系数,并且搜索得到相关系数最大值 $C_{p,q_{max}}$ 如下:

$$[0097] C_{p,q_{max}} = \max\{C_{p,q}, q = m+1, m+2, \dots, L-m\} \quad (10)$$

[0098] 由此就可以得到中心处于 $p \cdot \Delta z$ 深度,长度为 $(2m+1) \cdot \Delta z$ 的介质片段在时间 $n_1 \cdot \Delta t$ 和 $(n_1+1) \cdot \Delta t$ 之间的位移如下:

$$[0099] d(z, t) \Big|_{z=p \cdot \Delta z, t=n_1 \cdot \Delta t} = (q_{max} - p) \cdot \Delta z \quad (11)$$

[0100] 其中 z 表示介质片段中心所处的深度。

[0101] 对第 n_1 条扫描线上的每一段数据重复上述过程,就可以获得第 n_1 条扫描线上的所有数据段对应的介质片段在时间 $n_1 \cdot \Delta t$ 和 $(n_1+1) \cdot \Delta t$ 之间的位移,这些位移组成一个序列 $d(z, t) \Big|_{t=n_1 \cdot \Delta t, z=1 \cdot \Delta z, 2 \cdot \Delta z, 3 \cdot \Delta z, \dots, (L-2m) \cdot \Delta z}$:

[0102] 第 n_1 条扫描线上的介质应变通过对位移在深度方向求微分来计算,如下式:

$$[0103] \varepsilon(z, t) \Big|_{t=n_1 \cdot \Delta t} = \frac{\partial d(z, t)}{\partial z} \quad (12)$$

[0104] 用上述方法可以获得每条扫描线对应的应变。

[0105] (g) 计算弹性波在介质中的传播速度:对介质的每个深度计算弹性波的中心频率 f_0 处的剪切波的相位,进而计算得到弹性波的速度:

$$[0106] E(z, f) = FT(\varepsilon(z, t)) \quad (13)$$

[0107]

$$\varphi(z) = \arg(E(z, f_0)) \quad (14)$$

[0108]

$$[0109] V_s(z) = 2\pi f_0 \left(\frac{d\varphi(z)}{dz} \right)^{-1} \quad (15)$$

[0109] 其中 FT 是傅里叶变换, $\varphi(z)$ 是 $E(z, f_0)$ 在频率 f_0 处的相位。

[0110] (h) 计算介质弹性模量:对于类似动物或者人体软组织的粘弹性介质,弹性波传播的速度 V_s 和介质的弹性模量 E 之间有下列关系:

[0111] $E = 3\rho V_s^2$ (16)

[0112] 其中 ρ 为介质密度。

[0113] 因此可以计算深度 z 处的介质弹性模量如下：

[0114]

$$E(z) = 3\rho \left[2\pi f_0 \left(\frac{d\phi(z)}{dz} \right)^{-1} \right]^2 \quad (17)$$

[0115] 上述实施例的内容仅作为举例描述了本发明，其内容并不限定本发明的保护范围。本领域人员根据上述内容实施不同形式的超声无损检测粘弹性介质弹性的方法及其装置，均应属于本发明的保护范围。

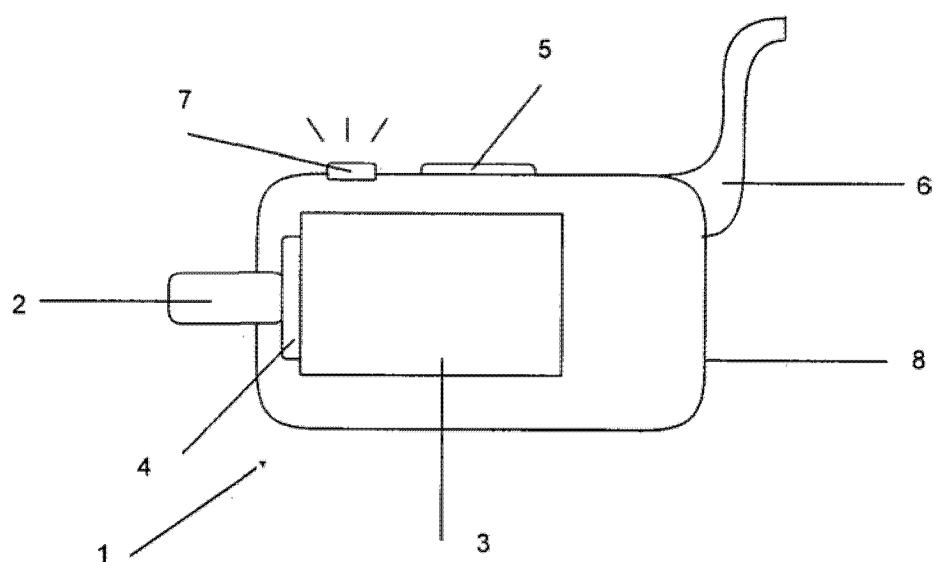


图 1

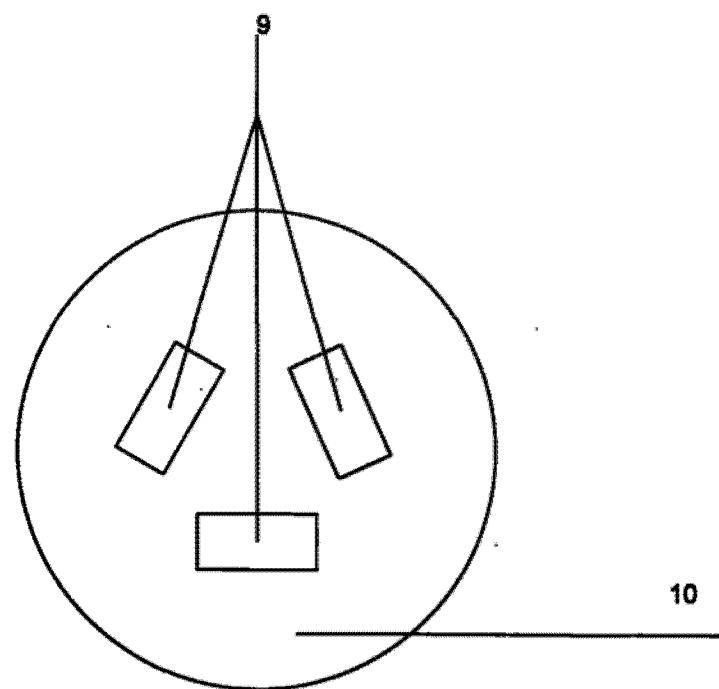


图 2

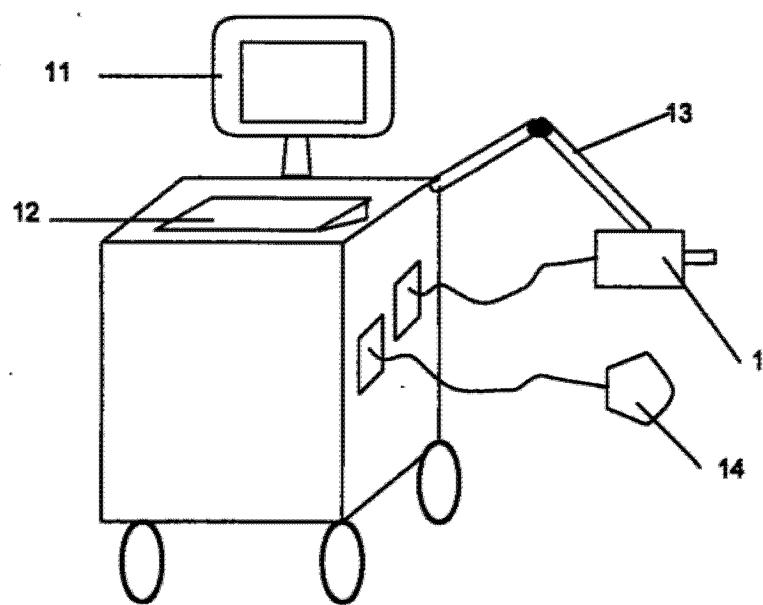


图 3

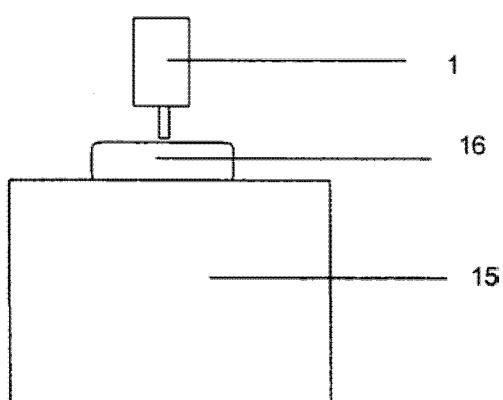


图 4

专利名称(译)	超声无损检测粘弹性介质弹性的方法及其装置		
公开(公告)号	CN101699280A	公开(公告)日	2010-04-28
申请号	CN200910235731.3	申请日	2009-10-15
[标]申请(专利权)人(译)	北京索瑞特医学技术有限公司		
申请(专利权)人(译)	北京索瑞特医学技术有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	北京索瑞特医学技术有限公司		
[标]发明人	段媛媛 段后利 孙锦		
发明人	段媛媛 段后利 孙锦		
IPC分类号	G01N29/07 A61B8/08		
CPC分类号	A61B8/5276 A61B8/4405 A61B8/08 A61B8/485 A61B19/5244 A61B5/4869 A61B8/4477 G01N29/348 G01N2291/02827 A61B8/4416 A61B6/487 A61B8/4245 A61B8/5223 A61B8/486 A61B8/5207 G01N2291/02466 G01N29/07 G16H50/30 A61B8/4218 A61B8/429 A61B8/461 A61B8/467 A61B8/483 A61B8/54		
其他公开文献	CN101699280B		
外部链接	Espacenet Sipo		

摘要(译)

本发明涉及超声无损检测粘弹性介质弹性的方法及其装置，属于无损测量技术领域，该方法包括：使用超声探头对待检测介质产生低频振动并且向待检测介质发射超声波，同时采集从待检测介质返回的超声波信号；选择用以计算待检测介质弹性的超声波信号范围；用选择的超声波信号计算低频振动产生的弹性波在介质中的传播速度；进而从得到的弹性波传播速度计算介质弹性。所述装置包括：一个超声波换能器触头；一个固定该超声波换能器触头的振动器；一个控制设备。本发明无需进行超声探头运动补偿，因此能够减少计算时间，同时由于不需要位置传感器进行位置检测，也降低了系统复杂性和成本。

