



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103946719 B

(45)授权公告日 2017.06.13

(21)申请号 201280057922.5

(22)申请日 2012.09.26

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103946719 A

(43)申请公布日 2014.07.23

(30)优先权数据

61/539,208 2011.09.26 US

61/546,217 2011.10.12 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.05.23

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/CA2012/000861 2012.09.26

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/044350 EN 2013.04.04

(73)专利权人 安大略发电有限公司

地址 加拿大安大略

(72)发明人 瑞文·谭格腾郝斯 安德鲁·洪

陈珍祥 马特·马迪尔

谢迪·谢克瑞拉

成·村·本内迪克特·黄

斯科特·普勒斯顿

亚历山大·萨库塔

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270

代理人 武晨燕 张颖玲

(51)Int.Cl.

G01S 15/89(2006.01)

G01B 17/06(2006.01)

(56)对比文件

US 6935178 B2,2005.08.30,

US 2009/0025490 A1,2009.01.29,

US 2009/0078742 A1,2009.03.26,

R.Long 等.Ultrasonic Phased Array

Inspection of Welded Pipes Using Wave Mode-Converted at the Inner Surface of the Pipe.《Review of Quantitative Nondestructive Evaluation》.2009,第28卷第1-8页.

审查员 杨世兴

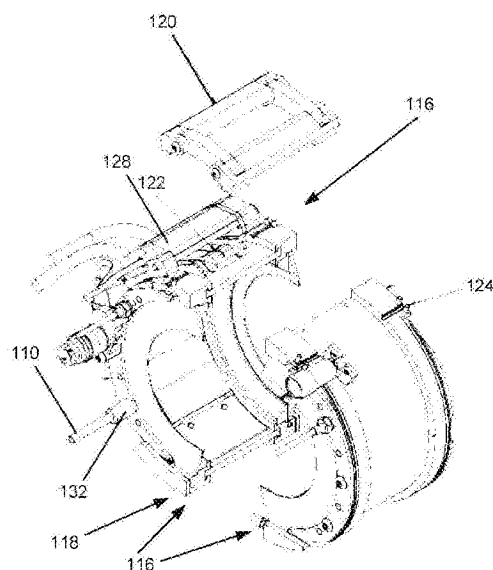
权利要求书4页 说明书85页 附图53页

(54)发明名称

超声矩阵检验

(57)摘要

一种用于执行对实质上圆柱形物体的超声扫描的装置和方法,该装置包括:一个环带,被适配成用于配合在该物体的一个圆周周围;一个载体,被可滑动地安装在该环带上并且被适配成用于横穿该物体的该圆周;一个超声探头,被安装在该载体上并且被定位成用于在该载体横穿该物体的该圆周时扫描该物体的该圆周;一个载体电动机,被安装在该环带或该载体上并且用于围绕该物体的该圆周驱动该载体的移动;以及一个或多个数据连接件,提供用于该载体电动机和该超声探头的控制信息并且从该超声探头接收扫描数据。



1. 一种用于执行对导管的内表面和外表面的超声扫描的方法,包括:

提供一个超声阵列,该超声阵列具有实质上平行于该导管的一条纵轴排列的多个超声元件;

将该超声阵列定位成在围绕该导管的外圆周的一个第一点处朝向物体的一个外表面投射超声信号;

执行围绕该导管的该外圆周的该第一点的一次全矩阵俘获扫描,包括:

从该超声阵列中的一个第一超声元件发射一个超声信号;

感测和记录该超声阵列中的超声元件彼此接收的超声信号;并且

重复发射、感测和记录的步骤,其中该超声阵列中除了该第一超声元件之外的每一超声元件依次执行该发射步骤;

在围绕该导管的该外圆周的一个第二点处重新定位该超声阵列;

执行围绕该导管的该外圆周的该第二点的一次全矩阵俘获扫描;并且

重复重新定位和执行一次全矩阵俘获扫描的这些步骤;并且

进一步包括在执行每一次全矩阵俘获扫描之前:

从该超声阵列中的至少一个超声元件发射至少一个超声信号;

感测由该超声阵列中的至少一个超声元件接收的至少一个超声信号;

在一个处理器处评估该至少一个所感测信号的质量;并且

基于该评估的结果调整该超声阵列的一个扫描角度。

2. 如权利要求1所述的方法,其中:

该超声阵列通过从一个可调整的反射器反射超声信号而朝向该物体的该外表面投射超声信号;并且

调整该超声阵列的该扫描角度包括调整该可调整的反射器的角度。

3. 一种在穿过物体的近表面和远表面的扫描平面内对该物体的近表面和远表面进行建模的方法,包括:

根据权利要求1至2中任一项执行对导管的超声扫描;

通过基于该全矩阵俘获超声扫描数据来计算超声信号通过该扫描介质的行进时间,而构造该扫描区域的一个第一强度图,包括该扫描区域内具有相关联强度值的多个点;

对该第一强度图进行滤波以对该扫描区域内的该近表面的边界进行建模;

通过应用费马原理基于该全矩阵俘获超声扫描数据来计算超声信号通过该扫描介质和该物体的行进时间,而使用该近表面的该建模边界作为一个透镜来构造一个第二强度图,包括该扫描区域内具有相关联强度值的多个点;并且

对该第二强度图进行滤波以对该扫描区域内的该远表面的边界进行建模。

4. 如权利要求3所述的方法,其中构造该扫描区域的一个第一强度图包括计算在该扫描区域内的多个点 r 处的一个强度 I ,其中将 I 界定为在时间 t 针对所有 i 和 j 从超声阵列发射器元件 i 到超声阵列接收器元件 j 的分析时域信号的数据集的振幅的总和,其中针对每一 i , j 对将 t 界定为声音行进通过该扫描介质所花费的时间。

5. 如权利要求4所述的方法,其中构造该扫描区域的一个第一强度图包括计算在由等式

$$I(r, a) = \sum_{i, j \in a} I I(r, a) I$$

$$= \sum_{i,j \in a} I g_{(i)j}(t) \quad (t = |e_{(i)} - r|/c + |e_{(j)} - r|/c) \quad I$$

界定的该扫描区域内的多个点r处的一个强度I

$$I(r) = \left| \sum_{i,j} g_{(i)j} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_{(j)} - r|}{c} \right) \right|$$

并且其中 $g_{(i)j}(t)$ 是在时间t从超声阵列发射器元件i到超声阵列接收器元件j的分析时域信号的该数据集的该振幅,r是相对于一个坐标原点来界定点r的向量, $e_{(i)}$ 是界定超声阵列发射器元件i相对于该坐标原点的位置的一个向量, e_j 是界定超声阵列接收器元件j相对于该坐标原点的一个向量,a是由该超声阵列中的固定多个邻近超声元件界定的一个孔径,并且c是声音行进通过该扫描介质的速度。

6.如权利要求3所述的方法,其中构造该扫描区域的一个第一强度图包括计算该扫描区域内的多个点r处的一个强度I,每一点强度是在由固定多个超声阵列元件界定的多个孔径处计算的,并且针对一个单个孔径计算的点r的最高强度用于表示在该强度图中的点r的强度。

7.如权利要求4所述的方法,其中构造该扫描区域的一个第一强度图包括计算在由等式

$$I(r, a) = \sum_{i,j \in a} I I(r, a) \quad I$$

$$= \sum_{i,j \in a} I g_{(i)j}(t) \quad (t = |e_{(i)} - r|/c + |e_{(j)} - r|/c) \quad I$$

界定的该扫描区域内的多个点r处的一个强度I

$$I(r) = \max_{a \in A} \{I(r, a)\}$$

其中

$$I(r, a) = \left| \sum_{i,j \in a} g_{(i)j} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_{(j)} - r|}{c} \right) \right|$$

并且其中 $g_{(i)j}(t)$ 是在时间t从超声阵列发射器元件i到超声阵列接收器元件j的分析时域信号的该数据集的该振幅,r是相对于一个坐标原点来界定点r的向量, $e_{(i)}$ 是界定超声阵列发射器元件i相对于该坐标原点的位置的一个向量, e_j 是界定超声阵列接收器元件j相对于该坐标原点的位置的一个向量,c是声音行进通过该扫描介质的速度,a是由该超声阵列中的固定多个邻近超声元件界定的一个孔径,并且A是包括多个这些孔径的一个集合。

8.如权利要求4所述的方法,其中使用该近表面的该经建模边界作为一个透镜来构造一个第二强度图包括计算在由等式

$$I(r, a) = \sum_{i,j \in a} I I(r, a) \quad I$$

$$= \sum_{i,j \in a} I g_{(i)j}(t) \quad (t = |e_{(i)} - r|/c + |e_{(j)} - r|/c) \quad I$$

界定的该扫描区域内的多个点r处的一个强度I

$$I(r) = \max_{a \in A} \{I(r, a)\}$$

其中

$$I(r, a) = \left| \sum_{i,j \in a} \sum_{t \in T_{ij}^K(r)} g_{(i)j}(t') \right|$$

并且其中

$$T_{ir}^K(\mathbf{r}) = \{t_{ir} + t_{jr} | t_{ir} \in T_{ir}^K, t_{jr} \in T_{jr}^K\}$$

并且其中 T_{ir}^K 是声音从超声阵列发射器元件i行进到该近表面的边界上的一个点K所花费的时间的全部一阶和多阶导数的集合, T_{jr}^K 是声音从超声阵列接收器元件j行进到该近表面的该边界上的一个点K所花费的时间的全部一阶和多阶导数的集合, $g_{(i)j}(t)$ 是在时间t从超声阵列发射器元件i到超声阵列接收器元件j的分析时域信号的该数据集的该振幅, $\mathbf{r}$ 是相对于一个坐标原点来界定点r的向量, $\mathbf{e}_i$ 是界定超声阵列发射器元件i相对于该坐标原点的位置的一个向量, $\mathbf{e}_j$ 是界定超声阵列接收器元件j相对于该坐标原点的位置的一个向量, c 是声音行进通过该扫描介质的速度, a 是由该超声阵列中的固定多个邻近超声元件界定的一个孔径,并且 A 是包括多个这些孔径的一个集合。

9. 如权利要求3所述的方法,进一步包括在构造一个第一强度图之前,使用零相位失真软件滤波器对该全矩阵俘获超声扫描数据进行滤波以移除噪声。

10. 如权利要求9所述的方法,其中:

对该第一强度图进行滤波包括使该强度图通过一个边缘检测滤波器,并且使用输出作为该扫描区域内的该近表面的该边界的一个模型;以及

对该第二强度图进行滤波包括使该强度图通过一个边缘检测滤波器,并且使用输出作为该扫描区域内的该远表面的该边界的一个模型。

11. 如权利要求10所述的方法,其中:

对该第一强度图进行滤波以及对该第二强度图进行滤波各自进一步包括由该边缘检测滤波器产生的这些检测到的边缘的膨胀。

12. 如权利要求11所述的方法,其中:

对该第一强度图进行滤波以及对该第二强度图进行滤波各自进一步包括细化这些已膨胀的边缘。

13. 如权利要求10所述的方法,其中:

对该第一强度图进行滤波以及对该第二强度图进行滤波各自进一步包括从该强度图的每一垂直切片选择一个单个组件并且移除该切片中的所有其他组件以便最大化其余组件的连续性和长度。

14. 如权利要求3到13中任一项所述的方法,包括:

将所述方法应用于多组全矩阵俘获超声扫描数据,该多组全矩阵俘获超声扫描数据对应于穿过该物体的该近表面和远表面的多个扫描平面;并且

基于每一扫描平面内的这些建模边界以及每一扫描平面的相对位置对该物体的该近表面和该远表面进行建模。

15. 如权利要求14所述的方法,其中该多个扫描平面彼此平行并且邻近。

16. 如权利要求14所述的方法,其中该物体是实质上圆柱形的,并且该多个扫描平面全部穿过该物体的纵轴。

17. 一种用于执行对导管的超声扫描的装置,包括:

一个环带,被适配成用于配合在该导管的一个圆周周围;

一个载体,被可滑动地安装在该环带上并且被适配成用于横穿该导管的该圆周;

一个超声探头,被安装在该载体上并且被定位成用于在该载体横穿该导管的该圆周时

扫描该导管的该圆周；

一个载体电动机，被安装在该环带或该载体上并且用于围绕物体的圆周驱动该载体的移动；以及

一个或多个数据连接件，提供用于该载体电动机和该超声探头的控制信息并且从该超声探头接收扫描数据。

18. 如权利要求17所述的装置，其中：

该环带形成该导管的该圆周周围的一个防液密封件；并且

进一步包括一个液体馈送，用于接收一种液体扫描介质并且用该液体扫描介质填充在该环带的内部与该导管的外部之间界定的体积。

19. 如权利要求17或18所述的装置，进一步包括一个电力连接件，用于接收用于该载体电动机的电力。

20. 如权利要求17所述的装置，其中该环带在允许该环带配合在该导管周围的一个开放配置与围绕该导管的一个封闭配置之间是可配置的。

21. 如权利要求17所述的装置，进一步包括：

一个可调整的反射器，被安装到该载体上；以及

一个反射器电动机，用于控制该可调整的反射器在实质上垂直于该物体的一条纵轴的一个平面中的一个角度；

其中：

该超声探头被定位成用于经由超声信号从该可调整的反射器的反射来扫描该物体；并且

该一个或多个数据连接件提供用于该反射器电动机的控制信息。

22. 如权利要求21所述的装置，进一步包括一个电力连接件，用于接收用于该反射器电动机的电力。

23. 如权利要求17所述的装置，其中该导管是一个圆柱体。

24. 如权利要求17所述的装置，其中该超声探头是一个超声收发器阵列。

25. 如权利要求20所述的装置，其中该环带包括一个关节，该关节将所述环带的一个第一半部可释放地紧固到所述环带的一个第二半部。

26. 如权利要求20所述的装置，其中该环带包括所述环带的一个第一半部，该第一半部是从所述环带的一个第二半部可拆卸的。

超声矩阵检验

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本申请要求2011年9月26日提交的第61/539,208号美国临时专利申请和2011年10月12日提交的第61/546,217号美国临时专利申请的益处和优先权。

[0003] 以上专利申请的内容通过引用明确地结合到本发明的详细说明中。

发明领域

[0004] 本发明涉及用于实行超声检验以及用于管道检验的方法和装置。

背景技术

[0005] 沃克 (Volker) 的第2011/0087444号美国申请公开案(下文中为‘444公开案’)是针对一种“清管器”，用于蠕动通过一根管道的孔并执行对内部管道表面的超声检验。该参考案披露了一种基于反向散射信号对管道表面进行成像的算法。’444公开案涉及确定具有最短行进时间的声音路径的费马原理。建模涉及首先建立一个网格并确定该网格中的每一点的行进时间。’444参考案要求从内部扫描一根管道，其中将要确认的主要信息是关于该管道的内表面的3D信息。这未解决使用定位于外表面上的一个扫描设备对一根管道的内表面准确地建模的问题。

[0006] 布兰德斯特罗 (Brandstrom) 的US7,685,878(下文为‘878专利’)涉及一种用于围绕管道圆周旋转一对超声换能器以用于管道焊接检验的装置。它允许电缆和其他设备延伸远离换能器而保持静止，仅在一个单个方向上延伸到远处。’878教导了一种设备，该设备可以安装在管道上位于邻近焊接处的位置，并且承载换能器并围绕管道旋转那些换能器，请记住通常仅可以从管道的一侧有效地接近管道。

[0007] 两个换能器在一个圆柱体上围绕一个圆周位置旋转以用于本体的结构测试，承载在包括一个磁性附件的一个安装和驱动设备上，该磁性附件可以从一侧被手动地带到一根管道，仅用于在该侧上在与一个焊接处轴向间隔的一个位置处固定连接到该管道上。用于该对换能器的项圈形支撑件由一行单独的片段形成，这些片段从该一侧包裹在管道周围并且围绕该管道的轴线旋转以围绕圆周焊接处承载换能器。这些片段承载多个辊以在该表面上滚动，并通过多个磁体抵靠着管道被固持。这些换能器在固定的角位置中被承载在该支撑件上以跟踪它们的位置，但承载方式允许相对于该管道的稍微轴向或径向移动。

[0008] 约翰逊 (Johnson) 的US7,412,890(下文为‘890专利’)涉及一种用于检测管道焊接处中的裂缝的方法和设备，包括用水冲刷邻近于外部管道表面的一个体积，随后使用相控阵列超声来扫描管道表面。该设备具有一个矩形腔，该矩形腔的开放底部表面压抵管道表面并且被水冲刷。该超声阵列定位于该腔的顶部处。使用相控阵列数据收集方法。

[0009] 比茨 (Bicz) 的US5,515,298(下文为‘298专利’)涉及一种用于对指纹或放置于凹入表面上的其他物体执行超声扫描的设备。该设备通过针孔(每个换能器一个)阵列并且对着指纹所在的表面的凹入内部从换能器阵列投射超声。换能器随后从由针孔产生的球面波形的反射和散射得到指纹的特性。该设备显得依赖于指纹所在的支撑件的凸-凹透镜结构的

已知结构。

[0010] 邓波尔 (Den Boer) 等人的US6,896,171 (下文为‘171专利) 涉及一种用于在仍热时对新形成的管道焊接处执行EMAT (电磁声换能器) 扫描的设备。该设备可以包括定位在管道外表面周围的一个环结构上的EMAT发射器和接收器线圈的一个阵列。未披露后处理算法细节。该设备被描述为能够检测焊接处缺陷的存在,并给出关于它们的大小的一些信息,但没有图像、精确位置,也没有在本说明中讨论的缺陷的任何进一步的细节。

[0011] 阿里恩 (Alleyne) 等人的第2009/0158850号美国申请公开案 (下文为‘850公开案) 涉及一种用于检验管道的方法和设备,其中将清管器设备插入到管道的孔中。将超声换能器压抵管道的内壁,并在管道壁材料内使用超声导波 (例如,兰姆波) 来检测缺陷。数据收集和处理似乎是基于一种全矩阵俘获技术,可以从该技术提取不同的波型,但也可以使用相控阵列数据收集技术。

[0012] 帕斯夸里 (Pasquali) 等人的第2009/0078742号美国申请公开案 (下文为‘742公开案) 涉及一种用于检验多壁管道的方法和设备,这些管道例如是用于热流体或冷流体的海底输送的管道。该方法涉及将一个超声探头抵靠内部管道表面放置,并在该探头围绕管道壁的内部圆周旋转时以各种间隔进行扫描。该设备是定位在一个可旋转的臂的末端处的一个探头,该臂将探头定位在管道内并随后使探头围绕内壁的圆周旋转。‘742公开案还披露了相对于管道表面以各种角度定位探头的方法。然而,该案似乎仅教导了使用在管道的轴向方向上从焊接处移位并且朝向管道焊接处的位置向前或向后成角度的探头。

[0013] 另外的现有技术参考案包括:乌姆·菲安义·C (Ume, Ifeanyi C.) 等人的US7762136,教导了用于实时和离线测量焊接穿透深度的超声系统和方法;麦克格拉斯·马修 (McGrath, Matthew) 等人的US7694569,教导了一种相控阵列超声水楔设备;布林格纳克·贾克斯·L (Brignac, Jacques L.) 等人的US7694564,教导了一种具有定心机构的锅炉管检验探头及其操作方法;普劳斯·雷恩哈德 (Prause, Reinhard) 的US6935178,教导了一种使用超声检验管道的装置;巴特勒·约翰·V (Butler, John V.) 等人的US6734604,教导了一种多模合成束换能设备;帕格诺·多米尼克·A (Pagano, Dominick A.) 的US4872130,教导了一种自动化直列式管道检验系统;古河·T (Furukawa, T.) 等人的JP2004028937,教导了一种用于测量焊接管道的形状的方法。

发明内容

[0014] 在本文献中描述的示例实施例涉及用于使用全矩阵数据俘获技术执行物体的超声检验的方法和装置。

[0015] 在第一方面中,申请是针对一种用于执行对导管的超声扫描的装置,该装置包括:一个环带,被适配成用于配合在该导管的一个圆周周围;一个载体,可滑动地安装在该环带上并且被适配成用于横穿该导管的该圆周;一个超声探头,安装在该载体上并且被定位成用于在该载体横穿该导管的该圆周时扫描该导管的该圆周;一个载体电动机,安装在该环带或该载体上并且用以围绕该物体的圆周驱动该载体的移动;以及一个或多个数据连接件,提供用于该载体电动机和该超声探头的控制信息以及从该超声探头接收扫描数据。

[0016] 在另一方面中,该环带形成该导管的该圆周周围的一个防液密封件;并且该装置进一步包括一个液体馈送,用于接收一种液体扫描介质并且用该液体扫描介质填充该环带

的内部与该导管的外部之间界定的体积。

[0017] 在又一方面中,该装置进一步包括一个电力连接件,用于接收用于该载体电动机的电力。

[0018] 在又一方面中,该环带在允许该环带配合在该导管周围的一个开放配置与环绕该导管的一个封闭配置之间是可配置的。

[0019] 在又一方面中,该装置进一步包括一个可调整的反射器,安装到该载体上;以及一个反射器电动机,用于控制该可调整的反射器在实质上垂直于该物体的一条纵轴的一个平面中的一个角度;其中该超声探头被定位成用于经由超声信号从该可调整的反射器的反射来扫描该物体;并且该一个或多个数据连接件提供用于该反射器电动机的控制信息。

[0020] 在又一方面中,该装置进一步包括一个电力连接件,用于接收用于该反射器电动机的电力。

[0021] 在又一方面中,该导管是一个圆柱体。

[0022] 在又一方面中,该超声探头是一个超声收发器阵列。

[0023] 在又一方面中,该环带包括一个关节,该关节将所述环带的一个第一半部可释放地紧固到所述环带的一个第二半部。

[0024] 在又一方面中,该环带包括所述环带的一个第一半部,该第一半部是从所述环带的一个第二半部可拆卸的。

[0025] 在又一方面中,申请是针对一种用于执行对导管的超声扫描的方法,包括:提供一个超声阵列,该超声阵列具有实质上平行于该导管的一条纵轴排列的多个超声元件;将该超声阵列定位成朝向在围绕该导管的圆周的一个第一点处的物体的一个外表面投射超声信号;执行围绕该导管的该圆周的该第一点的一次全矩阵俘获扫描,包括:从该超声阵列中的一个第一超声元件发射一个超声信号;感测和记录该超声阵列中的超声元件彼此接收的超声信号;并且重复发射、感测和记录的步骤,其中该超声阵列中除了该第一超声元件之外的每一超声元件依次执行该发射步骤;在围绕该导管的该圆周的一个第二点处重新定位该超声阵列;执行围绕该导管的该圆周的该第二点的一次全矩阵俘获扫描;并且重复重新定位和执行一次全矩阵俘获扫描的这些步骤。

[0026] 在又一方面中,该方法进一步包括:在执行每一次全矩阵俘获扫描之前从该超声阵列中的至少一个超声元件发射至少一个超声信号;感测由该超声阵列中的至少一个超声元件接收的至少一个超声信号;在一个处理器处评估该至少一个所感测信号的质量;并且基于该评估的结果来调整该超声阵列的一个扫描角度。

[0027] 在又一方面中,该超声阵列通过从一个可调整的反射器反射超声信号而朝向该物体的该外表面投射超声信号,并且调整该超声阵列的该扫描角度包括调整该可调整的反射器的该角度。

[0028] 在又一方面中,申请是针对一种在穿过物体的近表面和远表面的扫描平面内对该物体的近表面和远表面进行建模的方法,包括:提供对应于该扫描平面内的一个扫描区域的一组全矩阵俘获超声扫描数据,该全矩阵俘获超声扫描数据是使用一个超声阵列俘获,该超声阵列通过位于该超声阵列与该物体的该近表面之间的一种扫描介质发射和感测超声信号,并且执行以下步骤:从该超声阵列中的一个第一超声元件发射一个超声信号;感测和记录该超声阵列中的超声元件彼此接收的超声信号;并且重复发射、感测和记录的步骤,

其中该超声阵列中除了该第一超声元件之外的每一超声元件执行该发射步骤;通过基于该全矩阵俘获超声扫描数据计算超声信号通过该扫描介质的行进时间,而构造该扫描区域的一个第一强度图,包括该扫描区域内具有相关联强度值的多个点;对该第一强度图进行滤波以对该扫描区域内的该近表面的边界进行建模;通过应用费马原理基于该全矩阵俘获超声扫描数据来计算超声信号通过该扫描介质和该物体的行进时间,而使用该近表面的该经建模边界作为一个透镜来构造一个第二强度图,包括该扫描区域内具有相关联强度值的多个点;并且对该第二强度图进行滤波以对该扫描区域内的该远表面的边界进行建模。

[0029] 在又一方面中,构造该扫描区域的一个第一强度图包括计算在该扫描区域内的多个点 r 处的一个强度 I ,其中将 I 界定为在时间 t 针对所有 i 和 j 从超声阵列发射器元件 i 到超声阵列接收器元件 j 的分析时域信号的数据集的振幅的总和,其中针对每一 i, j 对将 t 界定为声音行进通过该扫描介质所花费的时间。

[0030] 在又一方面中,构造该扫描区域的一个第一强度图包括计算在由等式界定的该扫描区域内的多个点 r 处的一个强度 I

[0031]

$$I(r, a) = \left| \sum_{i,j \in a} I(r, a) = \left| \sum_{i,j \in a} I(r, a) = \left| \sum_{(i,j \in a)} [g_{(i)j}(t = (|e_{(i)} - r| + |e_j - r|)/c)] \right| \right| I(r, a) = \left| \sum_{(i,j \in a)} [g_{(i)j}(t = (|e_{(i)} - r| + |e_j - r|)/c)] \right| g_{(i)j} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_j - r|}{c} \right) \right|$$

$$[0032] \quad I(r) = \left| \sum_{i,j} g_{(i)j} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_j - r|}{c} \right) \right|$$

[0033] 其中 $g_{(i)j}(t)$ 是在时间 t 从超声阵列发射器元件 i 到超声阵列接收器元件 j 的分析时域信号的该数据集的振幅, r 是相对于一个坐标原点来界定点 r 的向量, $e_{(i)}$ 是界定超声阵列发射器元件 i 相对于该坐标原点的位置的一个向量, e_j 是界定超声阵列接收器元件 j 相对于该坐标原点的位置的一个向量,并且 c 是声音行进通过该扫描介质的速度。

[0034] 在又一方面中,构造该扫描区域的一个第一强度图包括计算该扫描区域内的多个点 r 处的一个强度 I ,每一点强度是在由固定多个超声阵列元件界定的多个孔径处计算的,并且针对一个单个孔径计算的点 r 的最高强度用以表示在该强度图中的点 r 的强度。

[0035] 在又一方面中,构造该扫描区域的一个第一强度图包括计算在由等式

[0036]

$$I(r, a) = \left| \sum_{i,j \in a} I(r, a) = \left| \sum_{i,j \in a} I(r, a) = \left| \sum_{(i,j \in a)} [g_{(i)j}(t = (|e_{(i)} - r| + |e_j - r|)/c)] \right| \right| I(r, a) = \left| \sum_{(i,j \in a)} [g_{(i)j}(t = (|e_{(i)} - r| + |e_j - r|)/c)] \right| g_{(i)j} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_j - r|}{c} \right) \right|$$

[0037] 界定的该扫描区域内的多个点 r 处的一个强度 I

$$[0038] \quad I(r) = \max_{a \in A} \{I(r, a)\}$$

[0039] 其中

$$[0040] \quad I(\mathbf{r}, a) = \left| \sum_{i,j \in a} g_{(i)j} \left(t = \frac{|\mathbf{e}_{(i)} - \mathbf{r}| + |\mathbf{e}_j - \mathbf{r}|}{c} \right) \right|$$

[0041] 并且其中 $g_{(i)j}(t)$ 是在时间 t 从超声阵列发射器元件 i 到超声阵列接收器元件 j 的分析时域信号的该数据集的振幅, $\mathbf{r}$ 是相对于一个坐标原点来界定点 $\mathbf{r}$ 的向量, $\mathbf{e}_{(i)}$ 是界定超声阵列发射器元件 i 相对于该坐标原点的位置的一个向量, $\mathbf{e}_j$ 是界定超声阵列接收器元件 j 相对于该坐标原点的位置的一个向量, c 是声音行进通过该扫描介质的速度, a 是由该超声阵列中的固定多个邻近超声元件界定的一个孔径, 并且 A 是包括多个这些孔径的一个集合。

[0042] 在又一方面中, 使用该近表面的该建模边界作为一个透镜来构造一个第二强度图包括计算在由等式

[0043]

$$I(\mathbf{r}, a) = \left| \sum_{i,j \in a} I(\mathbf{r}, a) = \left| \sum_{i,j \in a} I(\mathbf{r}, a) = \left| \sum_{(i,j) \in a} \left[g_{(i)j} \left(t = \frac{|\mathbf{e}_{(i)} - \mathbf{r}| + |\mathbf{e}_j - \mathbf{r}|}{c} \right) \right] \right| \right| I(\mathbf{r}, a) = \left| \sum_{(i,j) \in a} \left[g_{(i)j} \left(t = \frac{|\mathbf{e}_{(i)} - \mathbf{r}| + |\mathbf{e}_j - \mathbf{r}|}{c} \right) \right] \right|$$

[0044] 界定的该扫描区域内的多个点 $\mathbf{r}$ 处的一个强度 I

$$[0045] \quad I(\mathbf{r}) = \max_{a \in A} \{I(\mathbf{r}, a)\}$$

[0046] 其中

$$[0047] \quad I(\mathbf{r}, a) = \left| \sum_{i,j \in a} \sum_{t \in T_{ij}^K(\mathbf{r})} g_{(i)j}(t') \right|$$

[0048] 并且其中

$$[0049] \quad T_{ir}^K(\mathbf{r}) = \{t_{ir} + t_{jr} | t_{ir} \in T_{ir}^K, t_{jr} \in T_{jr}^K\}$$

[0050] 并且其中 T_{ir}^K 是声音从超声阵列发射器元件 i 行进到该近表面的边界上的一个点 K 所花费的时间的全部一阶和多阶导数的集合, T_{jr}^K 是声音从超声阵列接收器元件 j 行进到该近表面的该边界上的一个点 K 所花费的时间的全部一阶和多阶导数的集合, $g_{(i)j}(t)$ 是在时间 t 从超声阵列发射器元件 i 到超声阵列接收器元件 j 的分析时域信号的该数据集的振幅, $\mathbf{r}$ 是相对于一个坐标原点来界定点 $\mathbf{r}$ 的向量, $\mathbf{e}_{(i)}$ 是界定超声阵列发射器元件 i 相对于该坐标原点的位置的一个向量, $\mathbf{e}_j$ 是界定超声阵列接收器元件 j 相对于该坐标原点的位置的一个向量, c 是声音行进通过该扫描介质的速度, a 是由该超声阵列中的固定多个邻近超声元件界定的一个孔径, 并且 A 是包括多个这些孔径的一个集合。

[0051] 在又一方面中, 该方法进一步包括在构造一个第一强度图之前, 对该全矩阵俘获超声扫描数据进行滤波以移除噪声。

[0052] 在又一方面中, 对该第一强度图进行滤波包括使该强度图通过一个边缘检测滤波器并且使用输出作为扫描区域内的近表面的边界的一个模型; 并且对该第二强度图进行滤波包括使该强度图通过一个边缘检测滤波器并且使用输出作为扫描区域内的远表面的边界的一个模型。

[0053] 在又一方面中,对该第一强度图进行滤波以及对该第二强度图进行滤波各自进一步包括由该边缘检测滤波器产生的这些检测到的边缘的膨胀。

[0054] 在又一方面中,对该第一强度图进行滤波以及对该第二强度图进行滤波各自进一步包括细化这些已膨胀的边缘。

[0055] 在又一方面中,对该第一强度图进行滤波以及对该第二强度图进行滤波各自进一步包括从该强度图的每一垂直切片选择一个单个组件并且移除该切片中的所有其他组件以便最大化其余组件的连续性和长度。

[0056] 在又一方面中,申请是针对一种对物体的近表面和远表面进行建模的方法,包括:将上述方法应用于对应于穿过该物体的该近表面和远表面的多个扫描平面的多组全矩阵俘获超声扫描数据;并且基于每一扫描平面内的这些建模边界以及每一扫描平面的相对位置对该物体的该近表面和远表面进行建模。

[0057] 在又一方面中,该多个扫描平面彼此平行并且邻近。

[0058] 在又一方面中,该物体是实质上圆柱形的,并且该多个扫描平面全部穿过该物体的纵轴。

[0059] 在又一方面中,申请是针对一种用于执行对物体的超声扫描的装置,包括:一个本体,被适配成用于配合在该物体上;一个超声探头,被安装在该本体上并且被定位成用于扫描该本体;一个或多个数据连接件,提供用于该载体电动机和该超声探头的控制信息以及从该超声探头接收扫描数据;一个可调整的反射器,被安装到该载体上;以及一个反射器电动机,用于控制该可调整的反射器在实质上垂直于该物体的一条纵轴的一个平面中的一个角度;其中:该超声探头被定位成用于经由超声信号从该可调整的反射器的反射来扫描该物体;并且该一个或多个数据连接件提供用于该反射器电动机的控制信息。

[0060] 在另一方面中,该本体形成该物体的该圆周周围的一个防液密封件;并且该装置进一步包括一个液体馈送,用于接收一种液体扫描介质并且用该液体扫描介质填充该本体的内部与该物体的外部之间界定的体积。

[0061] 在又一方面中,该装置进一步包括一个电力连接件,用于接收用于该载体电动机的电力。

[0062] 在又一方面中,该装置进一步包括一个电力连接件,用于接收用于该反射器电动机的电力。

[0063] 在又一方面中,该超声探头是一个超声收发器阵列。

[0064] 本领域的普通技术人员通过审阅结合附图的以下详细说明将明了本披露的其他示例实施例。

[0065] 附图简要说明

[0066] 图1是根据一个示例实施例的操作地配合到一个管道上的一个超声探头操纵器的透视图;

[0067] 图2是图1的示例探头操纵器的透视图;

[0068] 图3是操作地配合到一个管道上的图1的示例探头操纵器的侧视图;

[0069] 图4是操作地配合到一个管道上的图1的示例探头操纵器的等距视图;

[0070] 图5是根据一个示例实施例的一个铰接探头操纵器的透视图,该透视图以一个开放配置示出了该操纵器;

- [0071] 图6是根据一个示例实施例的一个铰接探头操纵器的等距视图,该等距视图示出了拆解成两个半部和一个铰接关节的操纵器;
- [0072] 图7是一个线性多元件超声探头阵列的侧视图;
- [0073] 图8是使用一个N元件超声探头阵列通过全矩阵俘获技术产生的超声扫描数据的一个N乘N矩阵的图;
- [0074] 图9是如图8中的A扫描数据的一个N乘N乘M矩阵的等距表示,该等距表示示出了针对每一A扫描随着时间记录的M个样本的第三维度;
- [0075] 图10是通过一种中间介质扫描一个体积的一个线性超声探头阵列的侧视图;
- [0076] 图11是在被扫描的物体的表面上从点 u_1 到 u_2 的曲线 $T_{ir}(K)$ 的曲线图;
- [0077] 图12是一个管道壁的外表面的扫描平面中的一个强度图;
- [0078] 图13是一个管道壁的内表面的扫描平面中的一个强度图;
- [0079] 图14是从扫描平面中的强度图得出的一个管道壁的外表面和内表面的曲线图;
- [0080] 图15是在波包归一化之前的一个A扫描信号的实部和包络的曲线图;
- [0081] 图16是在波包归一化之后的一个A扫描信号的实部和包络的曲线图;
- [0082] 图17是根据一个示例实施例的示出在一个被扫描物体的外表面和内表面的建模中实行的步骤的流程图;
- [0083] 图18是根据一个示例实施例的示出在所俘获超声数据的预处理中涉及的步骤的流程图;
- [0084] 图19是穿过一个管道壁的一个X-Z扫描平面的一个横截面图,该横截面图示出了在一个示例实施例中如何建立一个强度图;
- [0085] 图20是根据一个示例实施例的示出在使用移位孔径聚焦方法建立一个强度图中涉及的步骤的流程图;
- [0086] 图21是根据一个示例实施例的示出在一个强度图的边界辨识中涉及的步骤的流程图;
- [0087] 图22是结合图23到25使用以图示侵蚀和膨胀操作的影响的一个示例黑白图像;
- [0088] 图23是结合图22、图24和图25用作结构化元件以图示侵蚀和膨胀操作的影响的围绕原点居中的一个示例 5×5 矩阵;
- [0089] 图24是一个黑白图像,示出了使用图23的结构化元件的图22上的一个侵蚀操作的影响;
- [0090] 图25是一个黑白图像,示出了使用图23的结构化元件的图22上的一个膨胀操作的影响;
- [0091] 图26(a)是结合图26(b)使用以图示canny边缘检测的影响的一个示例黑白图像;
- [0092] 图26(b)是示出图26(a)上的canny边缘检测的影响的一个黑白图像;
- [0093] 图27(a)是结合图27(b)使用以图示一种细化算法的影响的一个示例黑白图像;
- [0094] 图27(b)是示出图27(a)上的一种细化算法的影响的一个黑白图像;
- [0095] 图28(a)是示出一个结点的一个示例黑白图像;
- [0096] 图28(b)是图28(a)的结点的一个放大视图,示出了围绕该结点描绘的矩形路径以对结点检测的明暗循环进行计数;
- [0097] 图29是一个示例A扫描时域信号的曲线图,示出了从发射器激发到一个所接收波

包的前缘的行进时间；

[0098] 图30是一个被扫描区域的一个示例强度图；

[0099] 图31是强度图30的边缘的绘图，绘制了垂直方向上的最大强度的像素；

[0100] 图32是图31的高强度像素附近和上方的边界边缘的绘图；

[0101] 图33是无误差校正的一种边界检测算法的一个示例输出的绘图；

[0102] 图34是在对一个矩形结构化元件执行膨胀操作之后的图33的边界的绘图；

[0103] 图35是应用了一种细化算法的图34的边界的绘图；

[0104] 图36是移除了错误像素的图35的边界的绘图；

[0105] 图37是一个内部管道表面 (ID) 的一个强度图图像；

[0106] 图38是在应用边缘检测、膨胀和细化算法之后图37的强度图，其中边界的一个结点区域被圈出；

[0107] 图39是图38的圈出的结点区域的放大视图；

[0108] 图40是移除了结点的图39的放大视图；

[0109] 图41示出了移除了连接分量的底部部分的图40的放大视图；

[0110] 图42是移除了小连接分量的图41的放大视图；

[0111] 图43是一个管道表面强度图，示出了从一个Canny边缘检测器输出的边缘，以及最大强度像素的曲线图，近似作为一个平坦板的真实边界的形状；

[0112] 图44是一个管道表面强度图，示出了使用从以直线连接的边缘检测过程提取的两个边界片段之间的区域对边界的内插；

[0113] 图45是用于边界辨识和界定的一个示例算法的顺序操作的流程图；

[0114] 图46是一个超声探头载体的侧视图，示出了用于与图1到图6的示例操纵器一起使用的一个可调整的反射器；

[0115] 图47是从相对侧示出的图46的超声探头载体的侧视图；

[0116] 图48是示出不均匀细化的一个管道壁的横截面侧视图；

[0117] 图49是在一个配件到配件焊接处的一个管道壁的横截面侧视图，示出了被检验厚度的一个区；

[0118] 图50是在一个Grayloc™配件到配件焊接处的一个管道壁的横截面侧视图，示出了被检验厚度的一个区；

[0119] 图51是一个网络图，示出了根据一个示例实施例的远程数据采集和分析计算机；

[0120] 图52是一个网络图，示出了根据一个示例实施例的在检验位点处使用的本地硬件组件的关系；

[0121] 图53是根据一个示例实施例的在远程采集位点处的设备配置的图；

[0122] 图54是一条示例距离振幅曲线 (DAC) ；

[0123] 图55是根据一个示例实施例的用于校准一个2"操纵器的一个2"参考块试样；

[0124] 图56是根据一个示例实施例的在一种6度配置中的用于校准一个2"操纵器的一个2"参考块试样；

[0125] 图57是根据一个示例实施例的用于校准一个2.5"操纵器的一个2.5"参考块试样；

[0126] 图58是一个校准块设置的透视图，示出了在校准之前的处于一个开放配置中的一个示例操纵器；

[0127] 图59是示出根据一个示例实施例的在使用一个示例校准块校准一个示例操纵器期间执行的步骤的流程图；

[0128] 图60是示出根据一个示例实施例的在一个管道直径的检验期间执行的步骤的流程图；

[0129] 图61是根据一个示例实施例的由一个数据分析者在检验数据分析的过程中执行的步骤的流程图；

[0130] 图62是根据一个示例实施例的由一个数据分析者执行的步骤以及由网关服务器、刀片服务器以及本地分析PC上的分析算法在检验数据分析的过程中应用的各种步骤的流程图；

[0131] 图63是在一些实施例中由一个数据分析者使用的NEOVISION™应用程序中的一个示例主结果窗口；

[0132] 图64是在一些实施例中由一个数据分析者使用的NEOVISION™应用程序中的一个示例3D窗口；

[0133] 图65是在一些实施例中由一个数据分析者使用的NEOVISION™应用程序中的一个示例3D概览窗口；

[0134] 图66是在一些实施例中由一个数据分析者使用的NEOVISION™应用程序中的一个示例3D弹出窗口；

[0135] 图67是用于IFM OD边界准备的一个示例数据流；

[0136] 图68是在一个时域超声信号中的所关注样本的详细视图，示出了根据一个示例实施例的将在其间保持数据样本的时间周期；

[0137] 图69是根据一个示例实施例的示出整个边界辨识数据流的流程图；

[0138] 图70是用于边界界定的一个示例数据流；

[0139] 图71是用于内部聚焦方法过程的一个数据流程图；

[0140] 图72是穿过一个示例管道焊接处的侧视横截面图，示出了厚度的示例界定；

[0141] 图73是示出了映射到具有长度L的一个示例线性超声阵列上的笛卡尔和球坐标系的关系的一个图；

[0142] 图74是超声束方向性的曲线图，示出了对于 $a=0.23\text{mm}$ 、 $f=7.5\text{MHz}$ 以及 $c=1480\text{m/s}$ 的一个示例实施例，振幅在垂直轴上从0增加到1以及角度在水平轴上从-90度增加到90度；

[0143] 图75是元件方向性的一个谱图，示出了角度在垂直轴上从90减小到-90并且超声换能器元件大小在水平轴上从0mm增加到0.3mm，并且具有用于范围从振幅0到振幅1的图右侧上的颜色值的一个图例；

[0144] 图76 (a) 是阵列方向性的曲线图，其中转向角 θ_s 等于0度，示出了角度 θ 沿着垂直轴从90度减小到-90度并且元件大小沿着水平轴从0mm增加到0.28mm，并且具有用于范围从振幅0到振幅1的图右侧上的颜色值的一个图例；

[0145] 图76 (b) 是阵列方向性的曲线图，其中转向角 θ_s 等于30度，示出了角度 θ 沿着垂直轴从90度减小到-90度并且元件大小沿着水平轴从0mm增加到0.28mm，并且具有用于范围从振幅0到振幅1的图右侧上的颜色值的一个图例；

[0146] 图77 (a) 是来自一个0.25mm宽度、5mm标高换能器的压力场，该换能器辐射在示例

平面空间 P_1 上相交的一个7.5MHz连续正弦波,示出了沿着垂直轴从0m增加到0.015m的Z轴距离以及沿着垂直轴从0m增加到0.005m的Y轴距离,并且具有用于范围从强度-0.06到强度0.06的图右侧上的颜色值的一个图例;

[0147] 图77(b)是来自一个0.25mm宽度、5mm标高换能器的压力场,该换能器辐射在示例平面空间 P_2 上相交的一个7.5MHz连续正弦波,示出了沿着垂直轴从0m增加到0.015m的Z轴距离以及沿着垂直轴从0m增加到0.005m的Y轴距离,并且具有用于范围从强度-0.06到强度0.06的图右侧上的颜色值的一个图例;

[0148] 图78是一个示例强度图,示出了用以产生实际质量索引的强度图的区域;

[0149] 图79是具有一个温度传感器的示例探头操纵器的侧视图;并且

[0150] 图80是图79的示例探头操纵器的等距局部视图。

具体实施方式

[0151] 概述

[0152] 本发明的示例实施例涉及用于俘获和后处理超声检验数据的超声成像装置和方法。具体来说,所描述的示例实施例涉及用于使用一个机械环带检验管道焊接处的装置和方法,该机械环带配合在一根管道周围处于焊接区中,并围绕管道的圆周旋转一个超声收发器阵列,此时该阵列经由全矩阵俘获数据采集技术执行管道体积的多个发射-接收循环。保留来自这些发射-接收循环的所有数据。随后使用一种二步算法对数据进行后处理。首先,通过构造管道的外表面的一个强度图并对此图进行滤波以检测该外表面的边界来对该外表面进行建模。第二,使用费马原理,将在第一步骤期间构造的外表面的模型用作一个透镜来对管道的内表面进行建模。内表面是以与外表面相同的方式建模:建立一个强度图,随后进行滤波以检测边界。

[0153] 该机械环带具有一个圆柱形外部结构,该结构在任一端上具有不透水密封件,用于抵靠管道表面进行密封。该机械环带经由一根管接收水流,并在操作时用水填充该结构与管道表面之间的体积,以便于超声扫描。

[0154] 该环带还具有一个内部旋转环,该环在内表面上具有超声收发器晶体的线性阵列,该阵列的纵轴沿着圆柱形结构的长度对准,与围绕管道的圆周的内部环的旋转方向垂直。该内部环在操作中自动地围绕管道表面旋转,同时该环带的外部结构保持静止。

[0155] 通过在针对每一帧用超声阵列执行多个发射-接收循环的同时围绕管道的圆周旋转内部环来采集数据。每一帧使用全矩阵俘获技术:脉冲一个单个元件,阵列中的每一元件测量该位置处的响应并存储所得的时域信号(A扫描)。随后重复此过程,依次脉冲每一元件并记录每一元件处的响应,从而得到对具有N个元件的阵列的($N \times N$)A扫描的总数据集。在本发明中,每一A扫描的存储时间周期是通过监视经过一个设定阈值(在时间t)的一个信号尖峰,随后追溯性地记录在该尖峰之前的一个设定间隔(在时间t-C)处开始的所有信号数据来确定。

[0156] 在该环带在围绕圆周的所有点处并不完全垂直于管道表面的情况下,可能优选改变阵列相对于管道表面的角度。为此目的,内部环结构带有一个可调整的反射器或反射镜,用于在收发器阵列与管道表面之间以变化的角度反射超声波。该反射镜可通过一个本地或远程处理器或控制器模块自动地调整,该本地或远程处理器或控制器模块接收探头数据并

通过调整镜角度来自动地优化信号质量。

[0157] 后处理算法的特征可以是对上文陈述的广义概述的一些精炼。可使用多个波型来改善每一探头的到达范围和分辨率。可以将外表面建模为多个表面以在外表面高度不规则的情况下进一步改善内表面的分辨率。另外,来自管道的多个邻近“切片”或其他体积的数据可以被组合并覆盖以改善表面模型的连续性,或者来自在不同时间取得的同一区域的两个切片的数据可以被覆盖以检测表面中随着时间的改变。

[0158] 虽然已经将本发明描述为一种管道检验工具和技术,但一般原理和算法在许多不同情形和应用中适用于超声成像。

[0159] 超声探头操纵器装置

[0160] 参见图,图1示出了包括一个超声探头操纵器100的一个示例实施例。操纵器100包括一个环带106,该环带在扫描过程期间配合在一根管道2的圆周周围。该环带106的中心与管道2的纵轴4对准。操纵器100使用安装在一个载体(未图示)上的超声探头元件的线性阵列来扫描由环带106环绕的管道切片,该载体借助于一个电动机128横越环带106的圆周。

[0161] 在操作中,环带106配合在管道2周围,不透水密封件104从环带106延伸到管道表面。随后用水或适合于用作超声扫描介质的另一流体填充由环带106的内表面、密封件104和外部管道表面界定的内部体积。在一些实施例中,通过并入在操纵器100中的一根软管110(图6示出)将水泵送到该内部体积中。软管110连接到一个外部水源和/或泵上,并经由一个软管进口132(图2示出)馈入环带106的内部体积中。

[0162] 一个或多个数据连接件将操纵器100连接到一个或多个外部数据处理系统和/或控制器上。这些外部系统可以控制操纵器100的操作和/或收集并处理通过操纵器100的扫描操作搜集的数据。图1示出了一个电动机连接器130,用以将电力和控制数据供应到电动机128,该电动机操作以围绕环带106驱动载体102。探头数据连接器108用以在探头阵列与外部数据处理系统和/或控制器之间传送超声探头控制数据和由探头收集的数据。在其他实施例中,这些功能中的一些或全部可以在操纵器100自身内发生,例如借助于一个嵌入式控制器和/或数据存储和处理单元。在一些实施例中,由操纵器100使用的电动机可以包括它们自己的电源。

[0163] 图2示出了与图1类似的实施例,它被隔离而不是配合到一根管道上。环带106的内表面112是可见的,如同外表面114。软管进口132在此图中也是可见的。

[0164] 图3是配合到一根弯曲管道上的操纵器100的侧视图,示出了正被扫描的管道部分的纵轴4。图4是配合到一根笔直管道上的操纵器100的等距视图,示出了管道的纵轴4。

[0165] 操纵器100在一些实施例中可以借助于一种允许打开环带106的铰接设计而从一根管道或其他扫描本体配合或移除。图5示出了包括一个铰接操纵器的一个示例实施例,一个铰接部分116允许打开环带,并且一个连接部分118允许环带的末端通过例如一个闩锁等连接装置一起连接到封闭操作位置中。图6示出了铰接部分116的结构,该部分使用一个铰接关节120来产生环带106的两个半部之间的一个双铰链,而不是简单的单铰接蛤壳设计。铰接关节120在第一连接点122处附接到环带106的第一半部上,并在第二连接点124处附接到环带106的第二半部上。由于所提供的较大自由度,使用双铰链允许更容易地将操纵器100放置于管道圆周周围。连接部分118在图6的示例实施例中示出为一个闩锁128。

[0166] 在操作中,操纵器100使用例如谐振器晶体等超声探头元件的线性阵列来扫描由

环带106环绕的体积。图7示出了具有 n 个元件202的示例线性超声探头阵列200。在操作中,附接到载体102上的线性阵列200与正被扫描的管道2的纵轴4平行对准。使用下文描述的全矩阵俘获技术通过全阵列200扫描管道2,随后通过包含在操纵器100中的一个电动机来围绕管道2的圆周移动载体,之后针对载体的新位置的新圆周坐标来重复扫描过程。通过围绕由环带106环绕的管道切片的圆周以规则地隔开的间隔执行许多这种扫描,可以使用扫描数据建立整个管道圆周的模型。

[0167] 全矩阵俘获(FMC)数据收集

[0168] 在一些实施例中使用的全矩阵俘获(FMC)技术是广泛用于超声扫描的相控阵列数据俘获技术的已知精炼。FMC通常需要俘获比一个相当的相控阵列扫描更大量的数据,但是允许从单次扫描提取更多信息。在全矩阵俘获中,对超声阵列200的单个元件202进行脉冲,从而将超声能量发射到正被扫描的介质中。阵列200的每一元件202被用作此能量的接收器,在此脉冲之后的时间周期中检测它的坐标处的超声振动。记录并存储此检测到的振动以用于后处理。一旦已针对全部 n 个元件202记录了数据,便对第二元件202进行脉冲,并针对所有接收元件202重复记录过程。此过程随后再次重复, n 个元件202中的每一者被依次脉冲,并针对每一接收元件202记录数据,从而得到记录数据的 n 乘 n 矩阵:每一接收元件202记录来自每一发射元件202的脉冲的扫描数据。图8说明了此矩阵,示出了 n 个发射元件206乘 n 个接收元件204的矩阵。

[0169] 在一些实施例中,将来自每一接收元件202的数据记录为随着时间取得的一系列数字样本。图9示出了来自如上所述的单个发射-接收循环的此扫描数据的三维矩阵。将从由接收器 j 212俘获的从发射器 i 210的脉冲得到的数据信号214示出为在时间维度208上取得的一系列 m 个样本,从而得到 n 乘 n 乘 m 大小的样本的总三维矩阵。

[0170] 在使用图1到6的操纵器100的示例实施例中,载体102的移动和超声阵列200的操作是由通过数据连接件108连接到操纵器100上的一个外部控制器控制。经由数据连接件108将由阵列200记录的数据发送到一个外部数据记录器和处理器,在该处如下文进一步描述存储和处理该数据。该控制器和数据处理器也可以彼此通信,并且记录的数据可以在扫描期间由控制器使用来校准或优化载体102和/或阵列200的操作。

[0171] 如上所述的单个发射-接收循环得到 n 乘 n A扫描(即,在接收元件202处接收的时域信号)。通常由一个接收元件通过监视高于一个设定阈值的振动,随后记录感测到的振动并在越过此阈值之后的一个设定时间周期中产生单个A扫描。在一些实施例中,在记录之前使用一个缓冲器来存储感测到的数据,并且将记录周期设定为包含在越过阈值之前的一个预定周期中的缓冲的数据,进而俘获在越过阈值之前短暂地开始的一个周期并持续一个设定时间周期。图68示出了此过程的图解。对感测到的数据6800进行取样,直到检测到超过预定阈值6806的一个峰6804为止,进而用信号表示信号的所关注周期的开始。然而,在峰6804之前可能存在所关注数据,例如在点6802处开始的信号6800的初始振荡。为了俘获在峰6804之前的这些初始数据点,保持经缓冲数据点在峰6804之前往回延伸一个预定周期,例如回到一个较早的点6808,该点早到足以俘获所关注的任何初始信号扰动。

[0172] FMC数据的处理

[0173] 所俘获数据的处理可以与扫描同时完成或在扫描之后完成。下文根据示例实施例描述了用于处理所俘获数据的技术。这些技术可以涉及应用移位孔径聚焦方法(SFM)、内部

焦点方法 (IFM) 以及边界检测和辨识来确定一个被扫描物体的结构, 例如一个管道壁的内表面和外表面轮廓。这些技术可以允许检测管道厚度中的细微变化、管道壁中的缺陷, 以及管道的任意内表面和外表面的其他结构细节。在此描述各种实施例所应用的一些数学原理以更完全地阐释它们的运作。

[0174] 图17是示出了根据一个示例实施例在对一个管道壁或其他物体的一个被扫描部分的外径 (OD) 和内径 (ID) 表面进行建模中涉及的操作的一个流程图。在步骤1702处收集来自探头阵列200的一个发射-接收循环的全矩阵俘获 (FMC) 数据。在步骤1704处, 对原始FMC数据进行预处理。在步骤1706到1710中对OD边界进行建模, 随后在步骤1716到1722中使用此OD边界定义1712结合原始FMC数据来确定ID边界1724。在下文更完整地说明这些步骤。在一些实施例中, 所使用的原始FMC数据包括来自多个发射-接收循环的数据, 该数据用以改善管道壁的邻近的径向位置的建模。

[0175] 图10示出了在描述对A扫描数据的处理中使用的向量记法。该图描绘了由线性超声阵列200和正被扫描的管道2的纵轴4界定的一个平面。在此示例中, 正被扫描的平面的区域由图像区域14示出。

[0176] k 是向量值函数, 使得 $k(u) = \langle x, y \rangle = \langle f(u), g(u) \rangle$ 是2空间 R_2 中的向量, 其中 $u \in [u_1, u_2]$ 。将点 $k(u)$ 定义为 $k(u) = (x, y) = (f(u), g(u))$ 。以黑体字表示的向量 $k(u)$ 有别于点 $k(u)$ 。贯穿本说明, 对于任何向量 $v = \langle x, y \rangle$, 点 (x, y) 由用斜体而不是黑体字的 v 表示。

[0177] K 是由所有点 $k(u)$ 的集合界定的曲线, $u \in [u_1, u_2]$ 。 K 是分段平滑的, 并且不是自相交的。 K 的端点是 $k(u_1)$ 和 $k(u_2)$, 它们分别被表示为 k_{122} 和 k_{224} 。

[0178] K 将第一介质6与第二介质8分离, 其中超声探头元件 i_{210} 位于第一介质6中, 并且向量 r_{16} 的端点位于第二介质8中。举例来说, 当扫描一个管道圆周时, 第一介质6将由被泵送到环带106与管道2的外表面之间的内部体积中的水构成, 而第二介质8将为管道壁自身的金属。声音在第一介质6和第二介质8中的速度分别表示为 c_1 和 c_2 。

[0179] 再次参考图10, 该图示出了由 $k_0 = k(u_0) = \langle f(u_0), g(u_0) \rangle$ 定义的向量 k_0 , 其中点 $k_0 \in K$ (点 k_0 由数字18表示, 表面 K 由数字10表示)。而且, 超声元件 i_{210} 示出为具有从坐标原点20的位置向量 $e(i)$ 。从超声元件 i_{210} 通过 k_0 18到 r_{16} 的行进时间表示为 $t_{ir}^{k_0}$, 由以下等式给定:

$$[0180] \quad t_{ir}^{k_0} = \frac{|k_0 - e(i)|}{c_1} + \frac{|r - k_0|}{c_2}$$

[0181] (等式1)

[0182] 从 r_{16} 通过 k_0 18到 i_{210} 的行进时间 (表示为 $t_{ri}^{k_0}$) 等于 $t_{ir}^{k_0}$ 。从 i_{210} 通过所有 $k \in K$ 到 r_{16} 的时间由图11中图示的曲线 $T_{ir}(K)$ 26给定, k 以参数方式从 k_1 变化到 k_2 。

[0183] 物理考虑

[0184] 声音变化的速度—材料物理考虑

[0185] 在超声应用中, 绝对距离测量值可以从声脉冲的行进时间来直接计算, 并且因此可能对超声在所研究材料中的速度敏感。在下文描述的关于管道焊接检验的一些实施例中, 将厚度定义为从外表面上的一点到内表面的最短距离。图72图示了壁厚度的此定义。 L_1 和 L_2 是在一个馈送器焊接处的外表面上的两个不同位置处的厚度。内表面和外表面型面是用于相对于外表面或内表面上的任何位置确定壁厚度的重要信息。

[0186] 超声距离测量值是通过材料的声速以及声波在开始点与结束点之间行进所花费的时间来确定。距离测量值 L 可以写成 $L = \bar{V}\tau$, 其中 τ 是波从开始点和结束点行进所花费的时间。 $\bar{V}$ 是沿着路径的平均声速。由于在一些实施例中可以使用浸没技术测量外表面型面并且可以将水用作耦合剂, 因此将需要考虑水的声速, 因为它将影响距离测量准确性。

[0187] 水声速温度相依性

[0188] 随着水温而变的水的声速是 $V_{fw}(T) = 1405.03 + 4.624T - 0.0383T^2$, 其中 V_{fw} 表示以米/秒为单位的淡水声速, 并且 T 表示以摄氏度为单位的温度。

[0189] 元件方向性(束扩散-侧向和横向)

[0190] 元件方向性是探头阵列设计中的一个潜在重要因素。大体来说, 元件方向性可以视为在检验体积上的不同点上的振幅压力场的变化。笛卡尔坐标($x-y-z$)和球坐标($\varphi-\theta-r$)两者是在讨论方向性时的标准(参考图73)。为了方便而规定, 当讨论近场元件方向性时使用笛卡尔坐标, 当讨论远场方向性时使用球坐标。在远场中, 对于 L 比 a 长得多的一个矩形元件, 并且对于给定距离 r , 在 $x-z$ 平面中的方向性经由仅 θ 、激发频率 f 和 a 的函数而得到良好近似。

[0191] 元件方向性最终从如下给定的波等式导出:

$$[0192] \quad \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

[0193] 其中 p 是压力并且 t 是时间。

[0194] 可以用数字导出在一个检验体积中的一个给定点处的压力场。一个换能器可以视为在水中辐射声波的一个活塞, 其中该换能器产生无限数目的平面波, 这些平面波全部在正 z 方向上行进但具有不同的 x 和 y 分量方向。由此, 在点 $q = (x; y; z)$ 处的压力场是以如下给定的2D积分的形式表示:

$$[0195] \quad p(q, \omega) = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(k_x, k_y) e^{i(k_x x + k_y y + k_z z)} dk_x dk_y$$

[0196] 其中 $\bar{k} = (k_x, k_y, k_z)$ 是具有量值 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 的波向量。

[0197] 在一些推导之后, 可以针对在 x 方向上具有长度 l_x 并且在 y 方向上具有长度 l_y 的一个矩形元件推导以上等式的解, 其中:

$$[0198] \quad p(q, \omega) = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \int \int_{k_x^2 + k_y^2 \leq k^2} \frac{i\omega\rho V(k_x, k_y)}{ik_z} e^{i(k_x x + k_y y + k_z z)} dk_x dk_y$$

[0199] 其中 $V(k_x, k_y)$ 是换能器的场的速率的2D空间傅立叶变换:

$$[0200] \quad V(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} v_x(x, y, z=0, \omega) e^{-i(k_x x + k_y y)} dx dy$$

[0201] 远场方向性

[0202] 在一个元件的远场中(当超声换能器元件尺寸相对于检验距离来说很小时), 对于 $x-z$ 平面中的给定半径 r , 当换能器长度 L 比它的宽度 a 大得多时, 方向性可以通过仅在 θ 、元件宽度 a 和频率 f 方面变化的一个函数而得到良好近似。远场方向性可以在涉及焊接检验的

一些实施例中相关,因为焊接将经常在超声阵列换能器元件的远场(在轴向方向上,x-z平面)中。用于元件在x-z平面中的远场方向性的公式如下给定:

$$[0203] \quad D_F(f, \theta) = \text{sinc}\left(\frac{\pi a f \sin \theta}{c}\right)$$

[0204] 值得注意的是,在给定角度 θ 下 a 和 f 均增加方向性。图74图示了一个示例实施例中的方向性,其中 $\theta = -90$ 度到 90 度, $a = 0.23\text{mm}$, $f = 7.5\text{MHz}$,并且 $c = 1480\text{m/s}$ 。

[0205] 元件宽度

[0206] 元件宽度 a 规定元件方向性,如以上等式中说明。较小的元件宽度将全向地(在所有方向上)辐射声音。较大的元件宽度将在它们的表面法线的方向上聚焦声音。这由图75图示,该图示出了随着元件大小 a 而变的元件方向性。

[0207] 类似地,相对于聚焦阵列,在阵列法线方向上,具有较大元件宽度的阵列将通常比具有较小宽度的阵列更好地聚焦。阵列法线的方向对应于为零的转向角。另一方面,在远离阵列表面法线的方向上,具有较小元件宽度的阵列将通常(比具有较大元件宽度的阵列)更好地聚焦。

[0208] 两个主张均可以通过检阅图76(a)和图76(b)来确认。两个图如下模拟同一阵列:

[0209] • 元件数目=10

[0210] • 频率=7.5MHz

[0211] • 间距(元件的中心之间的间隔)=0.28mm

[0212] 在元件宽度 a 在0与间距(0.28mm)之间变化时,图76(a)模拟阵列方向性,其中转向角 θ_s 等于0度,而图76(b)模拟阵列方向性,其中转向角 θ_s 等于30度。在不同元件宽度处的主瓣的强度通过检查两个图的线 $\theta_s = \theta$ 而为可见的,而其他水平线表示不合意的光栅效应。对于 $\theta_s = 0$ (图76(a)),较大的元件宽度衰减了光栅效应,同时保留了合意的主瓣强度。相反,对于 $\theta_s = 30$ (图76(b)),较小的元件宽度保留了主瓣强度,同时光栅瓣强度不因元件大小变化。

[0213] 元件标高

[0214] 在图73中,元件标高表示为 L 。在远场中,大的 L (相对于 a)将在垂直于表面的方向(z 方向)上聚焦能量,而 L 的较小值将以 y 中的较大分量来辐射能量。然而在通常当在与 L 相当的距离处执行检验时关注的近场中,从换能器辐射的能量将在 z 方向上从换能器的表面均匀地投射。这与预期情况一致,因为在这些检验距离处,检验点将与换能器的标高焦距相当。

[0215] 回想图73的坐标系。图77(a)和图77(b)揭露了来自辐射一个7.5MHz连续正弦波的0.25mm宽度、5mm标高换能器的在两个平面空间 $P_1 = \{x=0, 0 \leq y \leq 5, 0 \leq z \leq 20\}$ 和 $P_2 = \{x=1, 0 \leq y \leq 5, 0 \leq z \leq 20\}$ (所有尺寸以毫米为单位)上相交的压力场。第一空间 P_1 是在 y 和 z 方向上由向量跨越的一个平面,并且在 $y=0, 5$ 和 $z=0, 20$ 处定界。空间 P_2 是以与 P_1 相同的方式跨越和受限,但与 P_1 间隔1mm。图75中示出了两个空间。图77(a)和图77(b)图示了针对模拟的两种情况由换能器辐射的压力场的强度集中于 $y < 2.5\text{mm}$ 区域中。在给定的模拟中利用了所辐射场的对称性。如果所辐射压力场是在平面空间 $P'_1 = \{x=0, -5 \leq y \leq 0, -20 \leq z \leq 0\}$ 和 $P'_2 = \{x=1, -5 \leq y \leq 0, -20 \leq z \leq 0\}$ 处模拟的,这两个空间是平面空间 P_1 和 P_2 围绕 z - x 平面的反射,在这些空间上模拟的强度场将是在 P_1 和 P_2 上围绕 z - x 平面的反射。

[0216] 量化噪声

[0217] 在模/数转换中,将每一数据样本的量值转换为具有有限精度的一个近似值。量化是非线性过程。最小量化水平是分辨率。它是通过模/数(A/D)转换器的全标度输入振幅以及通常均匀间隔的量化电平的总数目来确定。分辨率经常由量化电平的数目来表达。10位A/D转换器具有1024个量化电平。12位A/D转换器具有4096个量化电平。12位A/D转换器的分辨率比10位A/D转换器的分辨率小四倍。由于预期量化误差小于最小量化电平,因此较高分辨率的A/D转换器通常是优选的。

[0218] 如果量化过程将输入数据值舍入到最近的量化电平,并且误差服从量化区间上的均匀统计分布,量化误差的平均值明显为零。量化误差的方差由 $\sigma_e^2 = \frac{\Delta^2}{12}$ 给定,其中 Δ 是量化区间。

[0219] 量化误差的均方根(rms)值是标准偏差 $\sigma_e = \frac{\Delta}{\sqrt{12}} \approx 0.29\Delta$ 。

[0220] 如果我们将SNR定义为信号方差与噪声方差之比,B+1位A/D转换器的SNR在一些实施例中可以表达为:

$$[0221] \quad SNR = 6.02B + 10.8 - 20\log_{10} \left(\frac{X_m}{\sigma_x} \right)$$

[0222] 其中 X_m 是该A/D转换器的全标度电平,并且 σ_x 是信号的标准偏差。

[0223] 在此示例实施例中对于8位、10位和12位的SNR限制分别是50dB、62dB和74dB。值得注意的是,最佳SNR通常只可能在将输入信号谨慎调整为A/D转换器的全标度振幅时实现。

[0224] 预处理

[0225] 在一些实施例中,预处理的若干操作组成,这些操作经由SFM和IFM子例程调节用于分析的原始数据。在图18所示的示例实施例中,这些操作如下:将全矩阵俘获原始数据上取样到100MHz的取样频率1804,从全矩阵俘获原始数据减去DC偏移1806,使用数字软件滤波器系数1810对全矩阵俘获数据集进行滤波以移除不想要的噪声1808,以及从获取的RF全矩阵俘获数据集1802计算1812分析时域全矩阵俘获数据集1814。

[0226] 在此示例实施例中,全矩阵俘获(FMC)原始数据1802由采集系统在50MHz的取样频率下收集。分析在此频率下收集的原始数据可能递送准确性不足的结果。为此原因,在步骤1804处将原始数据上取样到100MHz。采集系统在此实施例中对于小于25MHz的频率敏感,并且以此速率的两倍来收集数据,因此由于奈奎斯特取样定理,可以在高于50MHz的任何取样速率下完美地重构原始数据。将FMC原始数据从50MHz上取样到100MHz。

[0227] 采集系统经由12位量化方案存储原始数据,其中仅存储正值。在此实施例中,FMC波形以大约 $2^{12}/2 = 2048$ 为中心。分析算法要求波形以大约零为中心。在一些实施例中,2048的理论DC偏移值可能不完全准确:在控制超声探头阵列的硬件中可能存在固有的DC偏移。实验可以示出用于尽可能接近于现实得到零值的正确DC偏移值;在使用特定硬件的一些实施例中,该值为2058。因此,从每一FMC波形减去2058的DC偏移。DC偏移的确切值可以是一个使用者可配置的参数,可以改变该参数以考虑到与理论值的其他偏差。在步骤1806处减去DC偏移。

[0228] 全矩阵俘获数据中的不想要的频率内容将有时由于各种噪声分布而存在。在步骤

1808处可以通过利用一个数字软件滤波器来衰减这些频率。在步骤1810处可以在滤波过程中指定软件滤波系数,例如从Matlab™软件应用程序中的Filterbuilder程序导出的参数。

[0229] 将强度分配给检验介质中的点会需要分析时域信号的全矩阵数据集。采集系统的全矩阵数据集输出1802含有RF数据集(分析时域信号的实部)。为了在步骤1812处从RF数据集计算分析时域信号1814,计算RF数据集的希尔伯特变换,乘以虚数i,并且相加到RF数据集。

[0230] 在说明书末尾在表A1中陈述在系统的示例实施例中使用的函数的详细描述。

[0231] 移位孔径聚焦方法(SFM)

[0232] 一旦预处理1704完成,便在步骤1706处将移位孔径聚焦方法(SFM)应用于经预处理的数据。移位孔径聚焦方法是一种算法,它的目的是在给定全矩阵俘获原始数据的情况下输出一个强度图。在图20的流程图中示出了SFM确定OD强度图的操作。取决于实施例或使用用户界定的用于处理的参数,可以首先归一化或可以不首先归一化经预处理的FMC数据2004。在步骤2010处做出归一化的决策。如果将归一化数据2004,基于预定义或由使用者设定的OD归一化参数2006,如下文进一步说明,归一化在步骤2012处发生。随后如下文进一步说明,在步骤2014处,使用经归一化或未经归一化的数据来计算检验坐标行进时间,这是可以考虑基于OD成像参数2002在步骤2016计算的强度坐标的过程。在步骤2018处,计算当前检验坐标处的强度。在步骤2020处,存储检验坐标及其对应的强度。在步骤2022处,算法可以进一步聚焦在高强度坐标周围;如果是这样,在步骤2016处计算强度坐标,从而产生步骤2014到2022的一个迭代循环。当算法已经一次或多次迭代通过此过程时,该算法停止再聚焦并输出OD强度图2008。下文说明这些各种步骤。

[0233] 移位孔径聚焦方法是总聚焦方法(TFM)的变化。总聚焦方法是用于在声音以速度c行进的单一介质中成像的一种已知技术。

[0234] 在移位孔径聚焦方法中,首先,通过对在跨越阵列中设定数目的邻近元件的一个固定宽度孔径a内的每一发射元件i和每一接收元件j的函数 $g_{(i)j}(t)$ 求和,而针对扫描区域中的每一点r计算一个强度函数。(在一些实施例中,所界定孔径的宽度可以是使用者可配置的。)超声元件i210和j212属于孔径a。 $g_{(i)j}(t)$ 是在时间t从发射器i210到接收器j212的分析时域信号的数据集的振幅(应注意,针对每个i和j界定 $g_{(i)j}(t)$,因为采集了超声发射-接收阵列数据的全矩阵)。将i210封闭在括号中以表示它是发射器,而使j212不带括号以表示它是接收器。在r处的强度定义为:

$$[0235] \quad I(\mathbf{r}, a) = \left| \sum_{i,j \in a} g_{(i)j} \left(t = \frac{|\mathbf{e}_{(i)} - \mathbf{r}| + |\mathbf{e}_j - \mathbf{r}|}{c} \right) \right|$$

[0236] (等式2)

[0237] 其中r是相对于一个坐标原点来界定点r的向量, $\mathbf{e}_{(i)}$ 是相对于该坐标原点界定发射器i的位置的向量, $\mathbf{e}_j$ 是相对于该坐标原点界定接收器j的位置的向量,且c是光速。

[0238] 总聚焦是通过针对成像区域14中的每个点如上进行计算(r变化)来实现。通过在彼此充分靠近的点集合上变化r,使得 $I(\mathbf{r}, a)$ 在r的邻近值之间不会显著地变化,检验介质的一个图像可以在位置r处以强度 $I(\mathbf{r}, a)$ 的图像像素形成。此图像称为强度图。

[0239] 移位孔径聚焦方法中的下一步骤是沿着阵列移位孔径a,并且再次针对新孔径执行相同计算。在已经针对每一孔径计算强度之后,使用最高的此强度值来表示强度图中点r

的强度。因此，SFM解决了如何在将一个强度值分配给 r 时使来自不同孔径的强度相关的问题。在许多示例中，一个表面含有多个反射体，这些反射体相对于它们最佳地反射声音的孔径而变化。举例来说，一个反射器可以将声音良好地返回到孔径 a_1 到 a_6 ，而另一反射体可以将声音良好地返回到仅孔径 a_3 。然而在对一个表面进行成像时，应当以相等的强度对反射体进行成像，无论个别反射体良好地反射声音到多少孔径。这将导致在对表面成像时增加的强度水平。为此，将 $I(r)$ 界定为相对于孔径 $a \in A$ 在 r 处的所计算强度集合的在 r 处的最大强度。将 $I(r)$ 定义为：

$$[0240] \quad I(r) = \max_{a \in A} \{I'(r, a)\}$$

[0241] (等式3)

[0242] 如果存在将评估相应强度的许多坐标，SFM例程的实施可以变为计算非常密集的。在限制考虑中的坐标数目的同时聚焦于适当强度以满足检验规范可能会要求一个聚焦策略的谨慎实施。在一些实施例中采用的策略是首先计算位于检验区域中的一个过程网格上的坐标强度。

[0243] 在说明书末尾在表A2中陈述在系统的示例实施例中使用的OD成像参数的详细描述。在说明书末尾在表A3中陈述在系统的示例实施例中使用的SFM函数的详细描述。

[0244] FMC数据归一化

[0245] 总聚焦方法和移位孔径聚焦方法(以及下文描述的进一步变化,内部聚焦方法)可以使用束归一化。当个别元件是全向时,可以优化在远离与一个阵列垂直的方向的角度处的束转向。在成像中可以引入一个校正因数以模仿束扩散全向性。此方法的潜在问题在于它在将一个值分配给 $I(r, a)$ 时假定在 $g(i)_j(t)$ 中发现的信号位于 r 的方向上。虽然这在尝试对小物体进行成像时可能不是很关心的问题,但当对表面进行成像时这可能导致放大的光栅。放大的光栅造成真实表面与光栅重叠的图像区域中的信噪比的减小。此处针对归一化束扩展所呈现的方法是对在 $g(i)_j(t)$ 的实部和虚部中发现的波包进行归一化,使得 $g(i)_j(t)$ 的包络 $|g(i)_j(t)|$ 具有等于一个任意常数的峰。为了简单起见,在此示例中,此常数等于1。因此,如果 $g(i)_j(t)$ 含有波包 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 并且 $|g(i)_j(t)|$ 具有峰 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$,为了将 $|g(i)_j(t)|$ 的峰归一化为1,通过 $\{p_1^{-1}, p_2^{-1}, \dots, p_n^{-1}\}$ 来缩放波包 W 。用 $g'(i)_j(t)$ 表示具有经归一化波包的 $g(i)_j(t)$ 。图15和图16图示了分析时域信号归一化的此概念。图15中的A扫描数据1500具有实部1502,该实部展现第一峰1506和第二峰1508。信号的包络1504对于第一峰1506来说高于第二峰1508。在应用如上所述的波包归一化之后,图16中示出了经归一化的A扫描1600。A扫描的实部1602已经将包络1604的第一峰1606和第二峰1608归一化为同一常数值。

[0246] SFM再聚焦

[0247] 在步骤2022处,取决于预设的或使用者界定的参数,SFM子例程结束,将强度图2008输出到边界检测子例程,或者继续界定新坐标,将在步骤2016处计算该新坐标的对应强度。如果发生后一种过程,新界定的坐标将位于已经被分配高强度的坐标周围。新界定的坐标将聚焦所围绕的坐标的截止强度可以由一个预定义向量来界定。一旦已经界定新坐标,潜在地取决于使用者界定的参数,SFM子例程退出,或者继续进一步聚焦在高强度的坐标周围。识别高强度坐标并随后围绕它们再聚焦的过程可以执行任意次数,这在一些实施

例中可以由使用者指定。

[0248] 图19中图示了再聚焦过程的一个循环(步骤2014到2022)。将稀疏地间隔开的坐标表示为白圆1902或黑圆1904。白圆1902表示对应强度低于用来界定新坐标的截止强度的那些坐标。相反,黑圆1904表示对应强度超过用来界定新坐标的截止强度的那些坐标。灰圆1906表示围绕高强度坐标的新界定坐标。如果灰圆1906在坐标定义和强度分配过程的第 $i+1$ 迭代上界定,对于图19以x轴1908和z轴1910图示的示例, $dx(i)/dx(i+1)=dz(i)/dz(i+1)=4$ 。

[0249] 强度图

[0250] 图12中示出了管道2的OD(外表面)的一个示例强度图。OD强度图50是在与图11相同的平面中绘制的,扫描的深度28作为垂直轴线,并且沿着纵轴4的轴向位置30作为水平轴线。OD强度图50中的高强度OD区32指示在当前发射-接收循环期间在探头阵列200的径向位置处在轴向方向上的外部管道表面的形状。

[0251] 边界辨识和界定

[0252] 可以独立地或结合来自单独的发射-接收循环的相邻强度图来进一步处理OD强度图50,从而建立外部管道表面的一个模型。在图17所示的示例实施例中,在步骤1708处执行边界辨识,之后是步骤1710处的边界界定。

[0253] 如下执行边界辨识。给定OD坐标的一个强度图(在一些实施例中存储在稀疏坐标中)或者ID坐标的一个强度图以及相应的边界辨识参数,边界辨识算法将输出表面边界。

[0254] 边界辨识和界定意在界定OD/ID的真实边界(不是图像中的像差的边缘),以及呈坐标集合的形式的边界的提取。用于实现此任务的算法和费用是计算机视觉领域中的常见挑战,并且可以采用许多算法中的任一种来在给定一个强度图的情况下辨识和界定一个表面的边界。

[0255] 在一些实施例中,用于这些任务的工具是一种稳健边缘检测算法、各种形态学操作,以及强度图的高强度区与潜在边界的关联。下文详细说明这些工具。

[0256] 一般来说,一个图像由 $A=f(m,n)$ 给定,其中像素 (m,n) 位于该图像的行 m 和列 n 处。 m 和 n 均为整数集 Z 的元素。 f 为一个函数,它输出一个实数(集合 R 的元素),使得 $f:Z^2 \rightarrow R$ 。如果我们将 $f(m,n)$ 限制于0或1的值,那么图像 $f(m,n)$ 称为一个二进制图像。

[0257] 在边界辨识和界定中使用的示例算法

[0258] 说明书的以下部分界定了对图像的一些基本集合运算,这些操作形成在后续子部分中界定的较高级运算的基础。我们首先介绍平移和反射运算。对于一个图像 A , A 平移了 $x=(p,q)$ 是由 A 表示,并且界定为

[0259] $A_x = \{f(m+p, n+q) \mid f(m, n) \in A\}$

[0260] (等式4)

[0261] 表示为 $\hat{A}$ 的反射操作给定为

[0262] $\hat{A} = \{f(-p, -q) \mid f(p, q) \in A\}$

[0263] (等式5)

[0264] 此外,介绍基本的并集和交集算子,分别由 $\cup$ 和 $\cap$ 表示。将两个图像 $A=f(m,n)$ 和 $B=g(m,n)$ 的并集界定为

[0265] $A \cup B = \{ \max(f(m,n), g(m,n)) \mid f(m,n) \in A, g(m,n) \in B \}$

[0266] (等式6)

[0267] 而将两个图像A和B的交集界定为

[0268] $A \cap B = \{ \min(f(m,n), g(m,n)) \mid f(m,n) \in A, g(m,n) \in B \}$

[0269] (等式7)

[0270] 邻近图像的共享相同值的区被识别为连接分量。虽然存在不同的连接性措施,但当前说明的示例实施例考虑8连接的像素。如果任两个像素彼此邻近(包括对角线邻近),那么它们被视为8连接的。

[0271] 膨胀和侵蚀

[0272] 对一个图像的多个连接分量进行标记存在不同的算法。一般来说,给定一个图像A,可以界定一个新图像B,使得它的像素的值是图像A中的连接分量的标签。对于一个给定关注图像A,称为‘结构化元件’的一个结构化集合B是一个图像,该图像连同膨胀或侵蚀运算一起用于修改所关注图像。

[0273] 将膨胀运算定义为

[0274] $A \oplus B = \{ x \mid B_x \cap A \neq \emptyset, x = (m,n), m,n \in Z \}$

[0275] (等式8)

[0276] 实际上,膨胀运算通过围绕B的原点反射B并且随后将B移位x来放大图像A。另一方面,将侵蚀定义为

[0277] $A \ominus B = \{ x \mid B_x \cap A = B, x = (m,n), m,n \in Z \}$

[0278] (等式9)

[0279] 侵蚀保留了A中的1,从而当B被平移x并与A相交时等于B。侵蚀的作用是在给定以原点为中心的一个图像B的情况下从一个图像修整边界1。

[0280] 图24和图25分别图示了对图22中给定的图像执行的膨胀和侵蚀运算。膨胀和侵蚀运算中使用的结构化元件是图23中给定的以原点为中心的一个 5×5 矩阵。

[0281] 边缘检测

[0282] 可以使用本领域中已知的一种边缘检测算法来执行边缘检测。所使用的一种最流行、稳健并且多样的边缘检测器是Canny边缘检测器。下文详细说明该检测器。

[0283] Canny边缘检测中的第一步骤是对输入图像进行平滑。此平滑的目的是减少噪声以及不想要的细节和纹理。平滑过程是经由图像与一个二维高斯函数的卷积来执行。在图像由 $f(m,n)$ 给定并且高斯函数由 $G_\sigma(m,n)$ 给定的情况下,该卷积由下式给定

[0284] $g(m,n) = f(m,n) * G_\sigma(m,n)$

[0285] (等式10)

[0286] 此处使用的具体二维高斯函数的形式为

[0287] $G_\sigma(m,n) = A e^{-\left(\frac{m^2}{2\sigma_m^2} + \frac{n^2}{2\sigma_n^2}\right)}$

[0288] (等式11)

[0289] 其中 σ_m 和 σ_n 分别是在垂直和水平方向上该高斯函数的方差。在Canny边缘检测的传统实施方案中, $\sigma_m = \sigma_n$,从而产生等式11的较简单形式。然而,在本文说明的示例实施例中,垂直像素与水平像素之间的间隔不一定相同。举例来说,在垂直方向上彼此邻近的像素可

以表示分开0.01mm的位置,而在水平方向上彼此邻近的像素可以表示分开0.015mm的位置。因此,如果在卷积过程中相对于像素的实际位置使用形状为圆形而非椭圆形的一个高斯函数(在垂直或水平方向上未拉伸),在垂直像素与水平像素之间的间隔不同的情况下, σ_m 将不等于 σ_n 。如果在垂直方向上像素之间的间隔是在水平方向上像素之间的间隔的c倍的一个因数,那么 $\sigma_m = \sigma_n / C$ 。

[0290] 边缘检测过程中的第二步骤是计算卷积图像 $g(m,n)$ 的梯度。由于 $g(m,n)$ 是一个离散函数,并且通常是未分析的,因此已经形成算子来近似 $g(m,n)$ 的梯度, $\nabla g(m,n)$ 。此处不说明这些算子的细节。利用以上提到的任何算子均产生 $g_m(m,n)$ 和 $g_n(m,n)$,它们是含有垂直和水平梯度近似的两个图像。因此, $\nabla g(m,n)$ 的量值和方向可以表示为 $M(m,n)$ 和 $\theta(m,n)$,其中

$$[0291] \quad M(m,n) = \sqrt{g_m(m,n)^2 + g_n(m,n)^2}$$

[0292] (等式12)

$$[0293] \quad \theta(m,n) = \arctan\left(\frac{g_m(m,n)}{g_n(m,n)}\right)$$

[0294] (等式13)

[0295] 步骤三是计算 $M(m,n)$ 中的为局部最大值的那些像素。为此,对于每个像素 (m,n) ,考虑垂直于方向 $\theta(m,n)$ 的两个最相邻像素。如果 M 的在这些像素处的值均小于 $M(m,n)$ 的值,那么将 (m,n) 视为一个局部最大值。 $M(m,n)$ 中的所有局部最大值的集合表示为 $\tilde{M}(m,n)$ 。

[0296] 步骤四是将两个二进制图像分别界定为两个对应实数 τ_1 和 τ_2 的函数,其中 $0 < \tau_1 < \tau_2 < \tau'$ 。 τ' 等于 $M(m,n)$ 的最大值。将 $\tilde{M}\tau^1(m,n)$ 和 $\tilde{M}\tau^2(m,n)$ 界定为含有分别大于 τ_1 和 τ_2 的 $\tilde{M}(m,n)$ 的值的图像。因此,

$$[0297] \quad \tilde{M}\tau^i(m,n) = [1, \text{如果 } \tilde{M}(m,n) > \tau_i, (\text{否则}, 0), i=1,2]$$

[0298] 最后一个步骤(步骤五)是一个迭代过程。 E_j 是含有多个边缘的一个布尔图像,在过程的第j次迭代处输出。 F_j 是与 E_j 中具有值1的像素以及 $\tilde{M}\tau^1(m,n)$ 中具有值1的像素邻近(以8连接方式)的那些像素的交集。

[0299] 将 $j=1$ 设定为 $\tilde{M}\tau^2(m,n)$ 。迭代计算开始。如果 E_j 与 F_j 的并集等于 E_j ,那么算法终止,输出 E_j 作为canny检测边缘。如果否,将 E_j 界定为 E_j 与 F_j 的并集,并且递增j。算法随后循环,测试 E_j 与 $E_j \cup F_j$ 的相等性,直到它们相等为止。当 E_j 等于并集 $E_j \cup F_j$ 时,算法输出 E_j 。

[0300] 这可以用如下的伪码表示:

```

j=1;
 $E_j := \tilde{M}\tau^2(m,n)$ ;
While  $E_j \cup F_j \neq E_j$  do
[0301]    $E_j := E_j \cup F_j$ ;
        j=j+1;
end
output  $E_j$ 

```

[0302] 图26(a)示出了一组硬币的一个图像,而图26(b)示出了用Canny边缘检测处理过的此图像。

[0303] 细化

[0304] 也可以在边界检测中使用一种细化算法。将一个图像中的连接分量减少到它们的细线表示有着许多有用的应用,例如数据压缩、简单结构分析,以及轮廓失真的消除。此处呈现在一个示例实施例中使用的一种迭代细化。 $\wedge$ 、 $\vee$ 和 $\neg$ 符号分别表示与、或以及非运算。

[0305] 给定一个图像 $A=f(m,n)$,细化算法中的第一步骤是以一种棋盘模式将该图像划分为两个子域。算法随后使用一种并行方法,其中重复地并行执行以下两个子迭代,直到它们对图像无影响为止。

[0306] 第一子迭代是当且仅当条件 G_1 、 G_2 和 G_3 全部满足时删除棋盘中的像素 p 。

[0307] 第二子迭代是当且仅当条件 G_1 、 G_2 和 G_3' 全部满足时删除棋盘中的像素 p 。条件 G_1 、 G_2 、 G_3 和 G_3' 如下列出:

[0308] 条件 G_1 为:

[0309] $X_H(p) = 1$

[0310] 其中

[0311] $X_H(p) = \sum_{i=1}^4 b_i$ 且

[0312] $b_i = [1, \text{如果 } x_{2i-1} = 0 \wedge (x_{2i-1} = 1 \vee x_{2i+1} = 1), (\text{否则}, 0)]$

[0313] $x_1, x_2, \dots, x_8$ 分别是 p 的八个相邻者的值,以东边相邻者开始并逆时针编号,直到到达东南相邻者。

[0314] 条件 G_2 为:

[0315] $2 \leq \min \{n_1(p), n_2(p)\} \leq 3$

[0316] 其中

[0317] $n_1(p) = \sum_{i=1}^4 x_{2k-1} \vee x_{2k}$

[0318] $n_2(p) = \sum_{i=1}^4 x_{2k} \vee x_{2k+1}$

[0319] 条件 G_3 为:

[0320] $(x_2 \vee x_3 \vee \overline{x_8}) \wedge x_1 = 0$

[0321] 条件 G_3' 为:

[0322] $(x_6 \vee x_7 \vee \overline{x_4}) \wedge x_5 = 0$

[0323] 图27(a)示出了无细化的一个二进制图像。图27(b)示出了在已经应用一种细化算法之后的同一图像。

[0324] 结点识别

[0325] 还可以应用一种算法以测试一个像素是否为一个二进制图像中的多条线的一个结点。给定一个像素 p 的一个 3×3 相邻者,当且仅当在横越 p 的周边时在0与1之间的转变次数为6或8时, p 为多条线的一个结点。图28(a)给出多条线的一个结点,并且图28(b)放大了此结点并且图示了它的 3×3 相邻者。从图28(a)清楚看到该结点在0与1之间有6次转变。因此,满足结点识别的准则。

[0326] OD和ID边界辨识和界定的实施

[0327] 在示例实施例中用于从一个OD或ID强度图提取OD或ID边界坐标的算法可以采用在先前分段中介绍的所有工具,并根据超声扫描的特定域来裁定它们的使用。

[0328] 从OD/ID强度图提取真实OD/ID边界的第一步骤涉及识别强度图的垂直方向上的最大强度像素附近和上方(在靠近阵列200的侧)的canny边缘检测边界。给定一个强度图,可以提取真实边界。出现的第一个问题是在给定一个强度图中的高强度像素周围的相邻者的情况下,边界的精确坐标位于何处。从一个给定强度图(例如图30)可以观察到存在一个相对宽的高强度像素化区,真实边界可能位于其中。为了解决此问题,将从A扫描计算距离的方法延伸到强度图。为了从A扫描计算一个超声波已经在一种介质中行进的距离,将从发射器激发到所接收波包的前缘的时间乘以声音在该介质中的速度。从发射器激发到一个所接收波包的前缘的行进时间(在一个特定数字化频率下以样本数为单位)在图29中由数字2902示出。根据等式2,强度图的形成涉及将分析时域信号的值(A扫描连同它们的希尔伯特变换)映射到强度图中的点。将A扫描的波包的前缘映射到强度图边界的前缘,其中强度图的前缘被界定为在探头阵列200的靠近侧上的边缘。因此,从强度图边界中的前缘导出OD/ID边界。

[0329] 出现的第二个问题是如何通过程序识别强度图中存在的具有成像像差可能(由于例如光栅瓣或多次后壁反射等机制而出现的特征)的真实OD/ID边界。在图30中,在图像中的边缘中,真实边界是最靠近高强度区的边缘,与由于光栅或后壁反射所致的像差边缘形成对比。取图像的任一个垂直切片,真实边界将在正上方与此垂直切片相交,在该处真实边界将与该切片中的最大强度像素相交。这些观察推动了边界检测算法的第一步骤,通过垂直方向上的最高强度像素附近和上方的边缘的识别来隔离真实边界边缘。对于一个给定的强度图,例如图30中给定的一个强度图,强度图的边缘以及垂直方向上的最大强度的像素在图31中绘出。真实边界边缘是在高强度像素附近和上方的那些边缘,并且在图32中绘出。

[0330] 仅通过上文说明采用的方法识别OD/ID边界可能产生可以被改善的结果。在一些实施例中可以使用额外的技术来消除经由上文早先描述的方法界定的边界中的误差。

[0331] 像差可以具有比真实边界更高强度的内容,这可能导致真实OD/ID边界的错误识别。然而如果这些像差大小较小,可以采用膨胀和细化的操作以及连接分量大小的比较来从通过先前说明的算法提取的边界定义移除错误边缘。在边界检测算法中在此阶段处的错误边缘的消除可以经由三个步骤来执行:候选边界的膨胀,经过膨胀的边界的细化,以及小的连接分量的修整。

[0332] 错误边缘的消除

[0333] 图33到图36在用于消除错误边缘的示例算法的执行中在各个阶段处给出边界。图33中描绘从上文给定的算法输出的原始边界。由于在真实边界下方的像差中的高强度内容,输出边界含有误差。这是明显的,因为输出边界的小的区出现在像差上方。图34示出了在对一个矩形结构化元件执行膨胀操作之后的边界。在边界应该所处的位置中的小间隙(图33)已经被移除。边界的细化将它减小到所希望的宽度。图35中描绘经过细化的边界。最终,执行边界像素的比较。如果存在一个以上边界像素与强度图的任何垂直切片相交,仅保留(所考虑像素中)属于最大大小的连接分量的像素。其余部分被移除。这用于移除错误的边界像素。图36给出已移除了错误像素的边界。

[0334] 边缘结点的移除

[0335] 膨胀和细化操作可以引入如先前界定的线结点。在边界检测算法中的此点处,可以如上所述移除结点,直到没有结点存在于经界定的边界中。这用于对边界进行准备以移

除更多错误边缘的目的,这是通过下文说明的算法来执行。

[0336] 图37给出了一个ID强度图图像。边缘检测、膨胀与细化算法给出图38中给定的边界。图38中圈出的边界的结点区域3802揭露了将作为错误边界而移除的边界上和周围的区域。图39中放大示出了此结点区域3802。图40图示了已经移除了结点的边界的结点区域3802。

[0337] 连接分量的底部部分的移除

[0338] 边缘检测过程的下一阶段是移除连接分量的底部部分。连接分量的底部部分的移除包括移除下部连接分量像素。将一个下部连接分量像素界定为在某个连接分量中与同一连接分量中的某个其他像素具有相同x分量但是具有更大z分量值的一个像素(回想具有更大z分量值的像素出现在强度图上的下部。图41示出了已经移除了连接分量的底部部分的图40中的边界。

[0339] 小的连接分量的移除

[0340] 错误边缘的小的连接分量仍然可以保留在强度图中。移除这些边缘增加了所界定边界的准确性。对于强度图的每个垂直条带,如果一个以上连接分量与此切片相交,那么在强度图中仅保留最大的一者。图42图示了小的连接分量已经被移除的边缘边界。此图像是图37中描绘的强度图的真实边缘边界的识别中目前为止最准确的。

[0341] 连接分量的水平末端的近似

[0342] 强度图是由超声原始数据形成。在边界的末端附近的可用的超声原始数据的减少将导致高强度内容的细化。使用Canny边缘检测过程来确定这些区域中的真实边界将导致真实OD/ID边界被不良地确定为在高强度内容周围的边缘输出曲线,在该处实际上真实边界可能是平坦的。图43以红色图示了从Canny边缘检测器4302输出的边缘。实际上在区域4304中界定的强度逐渐减小的曲率非常高,并且在界定真实边界方面未起到很好的作用。在强度内容逐渐减小的区域中界定边界的更好方式是使用最大强度像素(垂直维度上)的曲率来近似真实边界的曲率。图43提供了最大强度像素4306(以黑色)近似真实边界的形状的一个良好示例。在此情况下真实边界是一个平板。

[0343] 在检测到的边缘的末端附近的边界的曲率因此是通过含有检测到的边缘和最大强度的像素两者的强度图的垂直条带中的最大强度像素的曲率来近似。仅在当膨胀时最大强度的像素全部彼此连接(即,它们属于相同的连接分量)的情况下执行此近似。随后对最大强度像素的坐标进行垂直平移,使得在检测到的边缘的侧附近的最大强度的像素与它水平邻近地连接。

[0344] 边界内插

[0345] 在真实边界的定义之间未界定真实边界边缘的区域中,可以内插真实边界,使得真实边界边缘连接在一起。这是边界界定过程的最后一个步骤。图44图示了可以如何内插边界。从边缘检测过程提取的边界片段4402之间的区域是用直线4404连接的。

[0346] 用于边界辨识和界定的一个示例算法的连续操作在图45的流程图中示出。强度图4502经受一系列图像处理算法,包括边缘检测4504、边缘的膨胀4506、已膨胀边缘的细化4508、错误像素的修整4510、边缘结点移除4512、连接分量的底部部分的移除4514、小的连接分量的移除4516,以及水平末端近似4518,最终输出包括先前操作的已计算和内插的结果的一个总边界4520。

[0347] 在图69中给定示出了整个边界辨识数据流的一个可以理解的流程图。在说明书末尾在表A4中陈述在系统的示例实施例中使用的边界辨识参数的详细描述。在说明书末尾在表A5中陈述在系统的示例实施例中使用的边界辨识函数的详细描述。

[0348] 内部聚焦方法 (IFM)

[0349] 与移位孔径聚焦方法 (SFM) 一样, 内部聚焦方法 (IFM) 是一种算法, 它的目的是在给全矩阵俘获原始数据以及OD边界表面的一个平滑近似的情况下输出一个强度图 (其中将强度分配给所关注检验坐标的一个图像)。

[0350] 一旦OD强度图已经被确定并且从高强度OD区32确定了一个OD表面模型, 便可以也应用费马原理来对内部管道表面的细节进行建模。费马原理是借以使总聚焦延伸超过介质界面 (例如, 图10中的曲线K10) 的工具之一, 这是将称为内部聚焦方法 (IFM) 的一种技术。

[0351] 定理1 (费马原理的现代版本) 规定声音从点p处的一个点源发射器到另一点q所采用的路径使得横穿该路径所花费的时间是一个静态值 (即, 一个最小值、最大值或转折点)。

[0352] 将以上所示的强度等式 (等式2) 延伸到越过一个介质界面的区域涉及将等式中的时间t替换为与路径经历介质界面处的折射的行进路径时间相等的时间。费马原理 (定理1) 可以在求解这些时间时应用。

[0353] 由于K是逐段平滑的, 因此 $T_{ir}(K)$ 具有有限数目的静态值。这些静态值被表示为 $t_{ir}^{K'}, t_{ir}^{K''}, t_{ir}^{K'''}, \dots$, 并且这些静态值的集合被表示为 T_{ir}^K , 其中:

$$[0354] \quad T_{ir}^K = \{t_{ir}^{K'}, t_{ir}^{K''}, t_{ir}^{K'''}, \dots\}$$

[0355] (等式4)

[0356] 界定集合 T_{ir}^K 和 T_{jr}^K , 其中i表示具有位置向量 $e_{(i)}$ 的元素i210, 且j表示具有位置向量 e_j 的元素j212。在 T_{ir}^K 的元素与 T_{jr}^K 的元素之间所有可能组合的总和的集合被界定为 $T_{ij}^K(r)$, 其中:

$$[0357] \quad T_{ir}^K(r) = \{t_{ir} + t_{jr} | t_{ir} \in T_{ir}^K, t_{jr} \in T_{jr}^K\}$$

[0358] (等式5)

[0359] 通过费马原理 (定理1), 以上集合含有在等式2中可以代替的行进路径时间, 以将总聚焦方法延伸到对越过介质6、8之间的界面10的区域进行成像。如果发射器和接收器对i210和j212在第一介质6中, r在第二介质8中, 且K10是划分第一介质6和第二介质8的曲线, 在r处的图像的强度可以写为:

$$[0360] \quad I(r, a) = \left| \sum_{i,j \in a} \sum_{t \in T_{ij}^K(r)} g_{(i)j}(t') \right|$$

[0361] (等式6)

[0362] 这些结果可以延伸到三维界面, 因为费马原理在三维中成立。此外, 这些结果可以被延伸以用于聚焦通过多个介质界面; n个介质界面将暗示将横穿n+1个介质的声音路径。在此情况下, 费马原理可以再次用于求解真实行进路径。一些实施例可以采用这些技术来执行更复杂的分析, 例如扫描含有两个以上介质的体积或者立即在三维中而不是在一个平面中扫描。

[0363] 应用IFM以产生ID扫描平面的一个强度图, 例如图13中示出的ID强度图。在已经产

生ID强度图52之后,使用上文描述的相同算法来应用边界辨识1720和边界界定1722的步骤以产生ID边界界定1724。

[0364] 如果存在相应强度要被评估的许多坐标,IFM子例程的实施可以变为计算非常密集的。这类似于实施SFM子例程的情况,差异在于IFM例程计算量更大。用于减少IFM中的必要计算次数的方法可以等同于SFM例程中采用的策略。在限制考虑中的坐标数目的同时聚焦于适当强度以满足检验规范会强加以下聚焦策略。首先,可以计算在一个过程网格上的坐标的强度。可以采用的策略是首先计算位于一个过程网格上的坐标的强度。

[0365] 在此点处,取决于使用者界定的参数,IFM子例程可以结束,将强度图输出到边界检测子例程,或者继续界定将为其分配强度的新坐标。如果发生后一种过程,新界定的坐标将位于已经被分配高强度的坐标周围。新界定的坐标聚焦所围绕的坐标的截止强度在一些实施例中由向量zoomPercentage(见表A10)来界定。一旦已经界定了新坐标,再次取决于使用者界定的参数,SFM子例程可以退出,或者可以继续进一步聚焦在高强度的坐标周围。识别高强度坐标并随后围绕它们再聚焦的过程可以执行任意次数,并且可以由使用者指定。

[0366] 图19中图示了再聚焦过程的一个循环。将稀疏地间隔开的坐标表示为白圆或黑圆。白圆表示对应强度低于用来界定新坐标的截止强度的那些坐标。相反,黑圆表示对应强度超过用来界定新坐标的截止强度的那些坐标。灰圆表示围绕高强度坐标的新界定的坐标。如果灰圆在坐标定义和强度分配过程的第 $i+1$ 迭代上界定,对于图19图示的示例, $dx(i)/dx(i+1)=dz(i)/dz(i+1)=4$ 。

[0367] 图71提供用于IFM过程的一个全数据流。在说明书末尾在表A10中陈述在系统的示例实施例中使用的ID成像参数的详细描述。在说明书末尾在表A11中陈述在系统的示例实施例中使用的ID成像功能的详细描述。

[0368] 边界界定和平滑

[0369] 从上述边界辨识程序输出的边界可能容易存在噪声。两个主要因素引起此噪声。第一个因素是由于经由SFM计算的强度图中的例如光栅等像差的成像。第二个因素是由于强度图网格的量化。误差(噪声)可以由于一个量的状态空间的量化而在该量的界定中出现。

[0370] 为了使噪声在确定真实边界(OD或ID)坐标中的影响最小化,可以采用标准滤波技术。从边界辨识算法输出的边界在一些实施例中可以经由两个连续过程来滤波。用于从输入数据消除噪声的第一滤波器可以是具有可变窗口大小的一个中值滤波器。这具有从输入坐标移除高频噪声的作用。所使用的下一滤波器可以是Savitzky-Golay滤波器。此滤波器通过使用一个给定程度的多项式的一种未经加权线性最小二乘法拟合来近似输入坐标而减少量化噪声。利用较高级数的多项式使得有可能较高度地平滑,同时保持所关注的特征。

[0371] 为了起初从所计算的边界消除噪声,可以采用一个中值滤波器。中值滤波器对一个连续数据序列实施一个滑动窗口,用窗口内的所有点的中值替换窗口中的中心值。可以针对它的良好噪声消除与它的边缘保留特征相结合的组合来选择此中值滤波器。对于OD算法和ID算法两者,在一些实施例中可以由使用者配置算法的窗口宽度。在一些实施例中,窗口宽度可以默认设定为5mm。

[0372] Savitzky-Golay平滑滤波器也可以由于它们在使频率范围(无噪声情况下)较大

的一个含噪声信号平滑的过程中的优良性能而被使用,因为在一个管道焊帽下的被侵蚀区可以被视为具有它们的潜在尖锐边缘。Savitsky-Golay滤波器对一个多项式执行连续数据点的一个窗口集合的最小二乘法拟合,并且将经拟合多项式曲线的所计算中心点取作为新的经平滑数据点。可以导出一个卷积整数集合,并且用作用于平滑操作的加权系数,这是一个计算上高效的过程。此方法确切地等效于将数据拟合于一个指定多项式。通过Savitsky-Golay算法平滑的数据点 $(y_k)_s$ 是:

$$[0373] \quad (y_k)_s = \frac{\sum_{i=-n}^n A_i y_{k+i}}{\sum_{i=-n}^n A_i}$$

[0374] 其中 A_i 是卷积整数,并且数据窗口是从 $-n$ 到 n 。

[0375] 在一些实施例中,用于在OD/ID平滑中使用的Savitsky-Golay滤波器的使用者可调整的参数是:

[0376] 1. 平滑宽度:以mm表达的平滑窗口宽度。该算法使用近似的“X间距”参数来确定以元素数目为单位的窗口宽度:

$$[0377] \quad \text{Number}_{\text{elements}} = \frac{\text{Smooth Width}}{X \text{ Spacing}}$$

[0378] 2. 平滑阶:在Savitsky-Golay算法中将使用多项式阶。它一般小于元素的平滑窗数目。用于平滑阶的一个典型值是4。

[0379] 图70中示出了通过以上过程的边界界定的一个示例数据流。在说明书末尾在表A6中陈述在系统的示例实施例中使用的边界界定参数的详细描述。在说明书末尾在表A7中陈述在系统的示例实施例中使用的边界界定函数的详细描述。

[0380] IFM外径 (OD) 边界准备

[0381] 内部聚焦方法 (IFM) 经由费马原理计算从探头阵列元件到外径下的点的行进时间。由于在OD处的折射率改变,超声波的折射将在此界面处发生。OD表面的界定中的极小的高频变化将引起探头阵列元件与和经界定OD表面中的小的区相交的OD下的检验点之间的大量行进路径解。这些行进路径解是由于OD表面中的真实高频变化、引入到OD界定中的高频噪声,或两者的组合。下文描述的信号处理技术用于消除由输入OD边界中的高频噪声内容引起的错误行进时间解并且减少IFM计算时间。

[0382] 虽然平滑经界定OD表面可以消除由于高频噪声所致的伪行进路径解,但这对由OD表面中的真实高频变化引起的行进路径解将具有何种影响并不明显。消除经界定OD表面的高频内容可以减少具有彼此非常接近的解的行进路径的数目,但将一般有效地保留相异解。举例来说,一系列行进路径解 $4.52\mu\text{s}$ 、 $4.55\mu\text{s}$ 、 $4.48\mu\text{s}$ 、 $6.21\mu\text{s}$ 、 $6.18\mu\text{s}$ 、 $6.23\mu\text{s}$ 可以可行地减少到 $4.53\mu\text{s}$ 和 $6.22\mu\text{s}$ 。在程序上,利用后面的行进时间解可以产生从IFM子例程输出的与利用前面的行进时间解产生的强度图类似的强度图,因为所关注行进时间得到保留。在强度图中的所关注特征将得到保留,其中增加的益处是减少了IFM子例程的计算时间,原因是涉及正在执行的行进时间解的计算的数目更少了。

[0383] 因此,平滑操作可以用来以一种有益的副作用来消除噪声的影响。OD边界的平滑首先用于消除由于高频噪声所致的错误行进时间解,同时将行进时间解的数目减少到实际上相异的解。对OD的边界采用的平滑方法可以包括一个中值滤波器,紧随着一个Savitzky-Golay滤波器。它们可以是用于边界界定的目的相同滤波器。这些滤波器具有在保留所关注

的数据特征的同时消除高频内容的作用。由于利用这些滤波器来准备OD边界作为进入IFM中的输入的目的不同于对边界界定的利用,因此所使用的滤波参数可能不同。IFM OD边界准备中用于Savitzky-Golay滤波器的窗口大小可以大于在OD边界准备中使用的窗口大小,因为不希望OD边界中保留高频内容。

[0384] 最终,可以对经平滑的数据进行下取样。这样的主要作用是减少经由IFM子例程计算行进时间所需的计算时间,同时保留所关注的行进时间解。

[0385] 图67中示出了通过以上过程的IFM OD边界准备的一个示例数据流。在说明书末尾在表A8中陈述在系统的示例实施例中使用的IFM OD边界准备参数的详细描述。在说明书末尾在表A9中陈述在系统的示例实施例中使用的IFM OD边界准备函数的详细描述。

[0386] 可调整的反射镜

[0387] 一些示例实施例可能能够调整超声探头阵列200相对于正被扫描的表面的投射角度。举例来说,当扫描一个管道壁时,操纵器100的一些实施例可以利用一个可调整的反射镜154,该反射镜反射从探头阵列200投射以及反射到该探头阵列的超声。图46和图47示出了具有一个可调整的反射镜154的载体102的一个示例实施例。超声探头阵列200从安排在该阵列的作用面152上的一个线性元件阵列投射超声。超声波朝向反射镜154投射,该反射镜的角度可以通过包括一个电动机的一个反射镜调整组件156来调整。通过从一个或多个元件投射超声并且以不同反射角度用一个或多个元件进行感测,有可能优化反射镜的角度以确保超声波垂直于管道表面而投射。在一些实施例中,此优化程序可以在FMC数据收集的每一帧之前执行。反射镜调整组件156可以由外部控制器经由探头数据连接器108进行控制。

[0388] 在具有一个反射镜154的实施例中,换能器被定位成用于与检验表面相切地而不是径向地启动。反射镜放置被设计成优化对准调节的范围,同时最小化到检验表面的增加的UT束发射距离。

[0389] 也可以通过软件控制操纵器100以在给定反射镜角度的可能改变的情况下适配检验步长的改变。在一些此类实施例中,可以通过脉冲一组元件202并且对它们的响应求和来实现对反射镜的控制。在一系列预定义步长增量之后监视响应的振幅。如果响应电平下降到低于一个使用者界定的阈值,控制操纵器100的模块将脉冲使用者界定的控制孔径,同时以一个经界定步长驱动反射镜154通过一个经界定角度范围。系统对每一步长处的响应求和,并且随后将反射镜驱动到对应于峰振幅的角度。

[0390] 在此实施例中使用的使用者接口可以具有一个GUI,可以在该GUI中输入所有相关控制变量。使用者可以能够在一次数据采集扫描期间改变跟踪参数,以便在检验表面上实现一个最佳控制区。

[0391] 下文在应用于管道焊接检验的数据采集程序的描述中提供关于使用可调整的反射镜来优化扫描角度的进一步细节。

[0392] 应用于管道焊接检验

[0393] 一旦已经对OD和ID表面型面进行了建模,它们可以用于确定管道壁或其他扫描物体的结构特性。举例来说,在图14示出的曲线图中组合了用于单个发射-接收循环的OD型面36和ID型面38。通过并置这两个型面,可以评估关于管道壁的扫描部分中的最细点40的信息,并且使该信息对使用者可见。

[0394] 邻近于焊接区域以及在焊接区域内的馈送管道材料的细化是发电站和其他行业的问题。可以在接合点的整个圆周周围发现细化,其中一些高度局部化区域在焊帽正下方。由于与焊接根部条件的关联,这些区域的位置可能是不可预测的。图48示出了展现细化的一个管道壁的示例。

[0395] 下文描述提供了一种程序,该程序提供了使用一个Micropulse™超声检验和数据采集系统在核电站对热输送馈送管道焊接执行厚度测量的方法和要求。此示例实施例是图示性的,并且所描述的方法和装置可以在各种实施例和所应用的各种上下文中实施。

[0396] 下文描述的检验程序意在检测在邻近于馈送管道中的圆周焊接接合点的区中的局部化以及较宽地基于壁的细化。此程序适用于各种管道尺寸。

[0397] 如图49中所示,检验区在焊接中心线的任一侧上是20mm。然而,几何限制可能约束了实现此覆盖的能力。此检验记录从每一元件发射到所有可能的接收元件的所有超声信号。阵列中的每一元件按顺序启动。因此,对于一个128元件线性阵列,128个元件中已经启动的每一者针对总共16384次单独A扫描具有128次接收。此过程按照检验序列中所指定在每一位置处重复。

[0398] 随后提交所记录的数据用于分析。数据分析软件产生每一检验数据集合的OD和ID型面。在离散的圆周位置处采集数据集。馈送器周围的一系列型面一起构成检验的结果。一个单独的表记录每一圆周位置、切片中的最小值的轴向位置以及切片的圆周位置的OD与ID型面之间的最小距离。

[0399] 可能存在程序的特殊情况和异常。举例来说,热点或高局部场可以产生操作者无法接近作业区域的情形。另外,在对管道焊接处的Grayloc™配合的情况下,可以修改检验覆盖以将在焊接中心线的Grayloc™侧上横跨10mm的一个区收集为焊接中心线的该配合侧上的20mm,如图50中示出。(在此实施例的上下文中,Grayloc™配合指代一个圆锥形管道配合,其中它的窄末端与一个直管道段的直径匹配。)

[0400] 定义

[0401] 以下定义在管道焊接检验的上下文内使用,如下文所述。

[0402] FMC:全矩阵俘获。超声数据收集策略,其中在所有元件进行接收的同时,换能器中的每一元件被个别地脉冲。这针对换能器中的每一元件重复,直到所有元件均已启动为止。此策略产生n乘n的数据阵列,其中n是换能器中的元件数目。因此,用于FMC检验的数据文件比用于相同分辨率下的等效常规(例如,相控阵列)技术显著更大。

[0403] 起始位置:内部旋转环的圆周位置,使得操纵器可以从它的闭合位置安全地解锁。起始位置在VIM和软件两者中指示,这由操纵器上的霍尔传感器识别。

[0404] 主对角线:使用FMC收集的数据中的一组发送-接收元件,其中每一发射元件是其自身的接收器。FMC数据集的主对角视图等同于常规线性电子B扫描。主对角线视图是FMC数据B扫描的默认视图。

[0405] 矩阵:当使用FMC数据收集策略时产生的数据结构。如果矩阵的列被分配以识别发射元件,那么矩阵的行对应于接收元件。阵列的每一元件随后对应于涉及该发射器接收器对的A扫描。举例来说:在元件17上的发射、在元件32上的接收的组合将产生一个A扫描,该扫描将在FMC数据矩阵的第32行上第17列下方。

[0406] 开始位置:相对于操纵器的圆周位置,扫描发起于该处。开始位置可以对应于起始

位置,或者可以从起始位置偏移。

[0407] TFM:总聚焦方法。使用经由FMC方法产生的数据的多种自动化数据分析策略的一般名称。TFM依赖于将来自各种发射器-接收器组合的A扫描中的一个时间索引范围中的振幅值求和。在存在有效表面的情况下,振幅相长地干涉以对表面进行成像。在不存在此表面的情况下,振幅相消地干涉,从而不形成图像。还将TFM描述为等效于整个检验体积中的经聚焦的相控阵列。

[0408] 缩写词和首字母缩写词

[0409] 以下缩写词和首字母缩写词可以在管道焊接检验的上下文内使用,如下文所述。

[0410]

A 扫描	一个特定Tx-Rx对的时间-振幅绘图
B 扫描	在检验阵列上的A扫描的集合,在此情况下是横向于焊接处,其中振幅以灰色或彩色标度来表示。
DP	数字化点——沿着A扫描的时间轴的点

[0411]

馈送器	将较重的水冷却剂运载到独立的燃料通道或从独立的燃料通道运载的管道
FMC	全矩阵俘获
检验阵列	用于FMC数据收集的多元件换能器
ID	内径
NEOVISION	用于FMC数据集的定制UT数据采集和分析应用程序
NPS	标称管道尺寸
OD	外径
Tmin	最小壁厚度
TFM	总聚焦方法
TSSA	技术标准与安全授权方
UT	超声测试
WPIT	焊接型面检验工具

[0412] 数据采集

[0413] FMC检验在焊接配置上叠加一个圆柱形几何形状的一个探头轨迹。取决于接合点的性质以及操纵器在接合点上的放置,OD和ID信号的一些失真会发生。此情况可能发生的区域是直到弯的几何形状或Grayloc™到弯的几何形状的面颊形区域。对此情况的一种可能补救是尝试在接合点上重新定位操纵器,目的是优化经历失真的区中的信号。

[0414] 存在两种类型的限制焊接检验的障碍。第一类型是阻挡工具在所需检验区域中的安装的邻近结构。在此情况下,检验区域可能是不可接近的。存在第二类型的障碍,其中由于邻近结构侵入操纵器路径而阻止操纵器实现完全旋转。数据采集软件可以具有一个选项,其中如果检测到一个障碍,操纵器将驱动到扫描原点并且随后在相反方向上采集数据,直到获得或者完全覆盖或者操纵器再次接触该障碍为止。在后一种情况下,可以将圆周的未获得数据的部分标记为接近受限的。

[0415] 图51示出了在收集和检验数据时使用的各种数据系统的一个示例配置。将检

验系统整体地划分为两个单独的球体;数据采集方面和数据分析方面。在采集位点5004处收集、审阅和记录在拱顶5002中的数据采集期间产生的UT (超声测试) 数据。在记录过程之后,将数据导出到分析位点5006,分析刀片系统5008驻留于该处。由于文件大小和网络速度,导出过程将花费几分钟(2-3)。

[0416] 分析者可能能够远程地接入分析位点5006,使得数据无需传送到分析者机器5010。分析者评估扫描数据以在提交一个作业之前将处理参数设定为适当的值。一旦已经处理了作业,分析操作者便将能够审阅型面和相关联的强度图。

[0417] 图52中给定了拱顶5002中的设备配置的简化图。

[0418] 图53中给定了尾部/远程采集位点5004处的设备配置的图。如果在采集位点5004与拱顶5002中的采集硬件之间未安装12光纤MT,此光纤可以从采集位点5004延伸到穿透。

[0419] 以下是在此示例下用于数据采集的设备列表:

[0420]

<u>数量</u>	<u>项目</u>	<u>描述</u>
3	Micropulse™ 5PA	数据采集仪器-具有千兆位以太网接口的128个通道,固件版本 P1 4.5.1.29 和 P2 4.5.0.10 或最新合格的版本
3	拱顶接口模块	用于操纵器、Micropulse™ 和外围设备的接口单元
2	采集计算机	4 G 字节存储器, Core2 Duo 23 GHz 或以上, 32 位 Windows XP, 500 G 字节 HDD, 千兆位以太网接

[0421]

数量	项目	描述
		口, 双 19" 监视器
3	Neovision™ 软件	数据采集软件 1.0 R0 或最近合格的版本
3	操纵器 2"	
3	操纵器 2.5"	
3 组	用 0 度的安装托架	
3 组	用 6 度的安装托架	由 Kinectrics™ 提供
3	阵列换能器	定制 128 元件, 7.5 MHz, 0.27 mm 间距, 具有 8 m 电缆和 Hypertronix™ 连接
3	温度传感器	
2	参考试样 2" 0 度配置	
2	参考试样 2.5"	
2	参考试样 2" 6 度配置	
4	参考块支架	
	光纤电缆	具有用于台侧和拱顶侧的 MT 连接的 12 光纤(所需长度取决于配置而变化)
2	网络交换机	应当支持千兆位标准
3	CAT 5e 或 CAT 6 以太网电缆	通常不推荐使用 CAT 5 电缆
1	以太网可寻址的电源条	
按需要	可编程头戴式耳机	将设定到一个专用信道的通信装置
1	耦合剂泵	具有管的潜入式类型
1	水容器	大容量-建议 60 升
1	流量控制模块	
按需要	尾部/远程拱顶相机监视器	按当前实践
按需要	拱顶相机控制单元	按当前实践
按需要	容纳侧相机控制器单元	按当前实践
按需要	PTZ 相机;	按当前实践
1	穿透插入件	通用或 SG 穿透(如果支持 MTP 光纤)
1	荧光棒	
2	GFCI	到 U 接地的 15 安培熔线
按需要	适配器	到 U 接地的扭转锁

[0422] 通常允许用作耦合剂的软化水在使用之前放置最少 48 小时, 优选地为 60 小时。这将准许溶解于水中的气体浓缩出来。将水加热到 50°C 并且允许水冷却将加速此过程。如果不对水允许一个周期来脱气, 非常可能气泡将在馈送器和换能器表面两者上成核。气泡将继续增长, 并且可能损害扫描数据的质量。抽吸探头表面上的凝胶耦合剂的一个薄层可以减少气泡形成的趋势, 然而耦合剂将在暴露于水时溶解。

[0423] 作为对将水放置一个延长的持续时间的替代方案, 另一种方法是可用的。通过使用一个常见花园喷嘴将水喷到一个合适的容器中可以执行有效的脱气。该喷嘴应当被设定为一个精细模式。喷嘴处的压力降造成空气与水分离。正确完成后, 水将准备好立即使用。

[0424] 可以准备含有呼吸空气软管(多个)的悬吊电缆 120VAC 电力与通信光纤, 并在平台处结扎, 其中另一端在拱顶底面上的一个合适点处结扎。该光纤可以连接到穿透, 该(多个)空气软管可以连接到一个专用呼吸空气头, 并且 120VAC 可以连接到一个 GFI 与指定插座。

[0425] 在平台上, 该光纤可以终止于开关以及可寻址电源条的电力处。平台设备可以安装在一个合适的小车或常见的仪器架上。

[0426] 仪器校准

[0427] 当采用利用信号振幅作为检测、区分和大小指示的手段的技术时,常规UT数据收集仪器可以得益于周期性校准。应用于馈送器厚度测量的常规垂直光束技术依赖于仪器时基的准确性和稳定性。数字仪器的时基取决于系统时钟,由于其长期稳定性而闻名的装置。因此可能不需要执行仪器的每年校准,因为信号振幅不是一个因数。在本申请中讨论的实施例类似地不依赖于信号振幅来进行测量;因此周期性仪器校准不是强制的。

[0428] 在给定相同设置参数的情况下,当将一个换能器连接到两个单独仪器时记录到显著差异时,校准可以是可建议的。当更换组件、升级硬件或必须修理仪器时,在这些时间可以校准数据收集仪器。

[0429] 换能器表征(维护)

[0430] 可以在从制造商接收时或者当首次投入服务中时表征换能器。在投入服务之后可以每年地表征换能器。表征活动可以通过合格的维护技师来进行。将表征任务视为系统维护活动的一部分,并且不是检验期间的校准活动的一部分。在表征期间可以参考制造者针对换能器的报告。对检验数据的正确处理取决于探头参数的准确测量。这些参数包括:

[0431] (1) 元件功能性检查

[0432] NEOVISION™应用程序具有一个特征,该特征将一系列线性变化的延迟引入到每一通道中,这些延迟在被观看时看上去像一个锯齿图案。此特征是探头元件测试,并且是在UT校准标签下发现。对主对角线B扫描响应的快速检查将突出显示任何遗漏的元件。操作者可以使用指针来识别该(多个)遗漏元件的通道号。可以在维护记录中记录任何遗漏元件(多个)的通道号。

[0433] (2) 换能器延迟

[0434] 可以在参考块上评估换能器;然而,略微的失准都可在延迟测量中引入误差。给定操纵器的各种组件中的间隙尺寸,难以确保探头相对于参考块表面的精确位置。为了此检验的目的,在一个计量器具上单独地测量换能器延迟。一旦换能器安装在操纵器中并且在参考块上测量,便记录此值并且随后确认该值在一个可接受的范围内。

[0435] (3) 元件延迟

[0436] 除了总体换能器延迟之外,还可以评估每一元件的延迟。已经发现换能器元件的延迟在换能器的面上显著变化,在一些情况下高达1/2循环。显著变化将把误差引入到检验数据的后续处理中。

[0437] (4) 频谱测试

[0438] 频谱测试从一个经界定目标获取元件的个别响应,并且随后对A扫描的一个片段执行傅立叶变换。将所得频谱与制造商报告中提供的原始频谱进行比较。一旦换能器安装在操纵器100中并且在维护期间在参考块上测量,便记录此值并且随后确认该值在一个可接受的范围内。

[0439] (5) 脉冲持续时间测试

[0440] 脉冲持续时间测试与频谱测试相关联。此特定测试涉及在6dB和20dB下降点处测量反射波形的持续时间。一旦换能器安装在操纵器100中并且在橡胶区域中的维护期间在参考块上测量,便记录此值并且随后确认该值在一个可接受的范围内。

[0441] (6) 束定向

[0442] 这测试检验发射的束相对于换能器的无源和有源平面的方向(角度)。该束通常在垂直于换能器表面的向量的0.5度内。在此规范之外的换能器可能不适合于FMC检验。

[0443] 额外测试(维护)

[0444] 此系列的测试和步骤不单独与换能器相关联;然而,它们确实影响后续的数据分析过程。希望在一个维护设施处或在一个适当配备的橡胶区域中执行这些检查。

[0445] (1) 水DAC曲线

[0446] 通过在DAC曲线不活动时在参考管的水柱台阶上进行扫描来产生水DAC(距离振幅曲线)。调整增益,使得接口回声不超过任何台阶的80%FSH(全屏幕高度)。保存数据文件并且随后对其进行分析。

[0447] 维护技师在A扫描上使用指针记录了接口信号的到达时间和峰值振幅。以从最近到最远的系列来测量台阶。计算使接口信号升高到80%FSH所需的增益量,并且连同DAC表中的峰的到达时间一起输入。

[0448] 产生一系列点,并且通过该数据系列绘制一条最佳拟合曲线。可以研究曲线的任何显著异常值是否有异常(潜在的空气气泡)。参看图54的一条DAC曲线的示例。随后激活水DAC,并且进行参考管的最终扫描以确保所有接口信号均处于80%FSH,而不管水柱距离如何。如果存在超过1.25dB(+/-5%FSH)的任何偏差,通常应当重新计算该曲线。

[0449] 可以用最近曲线更新所有其他采集计算机中的水DAC曲线。应注意,虽然水DAC曲线对每一换能器是唯一的,但可以应用被证明为对其他换能器提供适当响应的任何DAC曲线。

[0450] (2) 换能器增益修整

[0451] 一个换能器内的元件可以在灵敏度上在彼此的+/-4dB或以上变化。仪器、电缆和连接器方面的变化也可以复合元件到元件灵敏度变化。当这些变化经校正时可以改善TFM结果的一致性。

[0452] 可以在一个静态位置而不是作为校准扫描的一部分来执行以下测试。采集操作者可以使用NEOVISION™应用程序中的校准特征来调整和确认总体增益和单独通道的增益。在设置模式中在UT校准标签下找到校准特征。

[0453] (a) 采集操作者随后通过将校准门设定成涵盖接口信号来准备增益修整校准。采集操作者确保在换能器面上或在参考管上不存在气泡,因为这些气泡将使增益修整调整无效。

[0454] (b) 采集操作者开始校准。NEOVISION™将自动地调整增益,并且随后在一个短周期(近似5到10秒)之后返回一个消息,该消息指示调整单独元件所需的增益范围。在一些情况下,如果元件在标称增益修整范围之外,增益修整工具将报告错误(多个)。这可能是针对遗漏/无效元件和/或条件的情况,在这些情况下,空气气泡存在于换能器/反射镜上或参考管表面上。采集操作者可以调查错误消息以校正超过预期结果的任何条件。

[0455] (c) 采集操作者可以评估报告范围以将它与先前增益修整调整进行比较。

[0456] (d) 采集操作者通常会注意到来自先前调整的单独元件响应中的任何差异。增益修整调整在一些实施例中可以在针对同一换能器的先前评估的2.0dB内。可能会因为存在很小的空气气泡或换能器老化而出现差异。可以在继续之前解决这些差异。如果增益修整在可接受的限制内,采集操作者可以更新探头文件并且应用用于当前检验的增益修整设

定。一旦换能器安装在操纵器中并且在参考块上测量,便记录此值并且随后确认该值在一个可接受的范围内。

[0457] (3) 金属DAC曲线

[0458] 通过在使用水DAC但不使用次级DAC时在金属路径台阶上进行扫描而产生金属DAC。从水DAC的基线增益调整增益,使得第一后壁回声不超过40%FSH。水DAC基线增益与第一后壁反射达40%所需的增益之间的此差异是金属DAC的增益偏移。随后保存文件并且对其进行分析。

[0459] 维护技师在A扫描上使用指针一般会记录第一后壁信号的到达时间和峰值振幅。以从最薄到最厚的系列来测量台阶。计算使后壁信号升高到40%FSH所需的增益量,并且连同DAC表中的峰的到达时间一起输入。

[0460] 产生一系列点,并且通过该数据系列绘制一条最佳拟合曲线。可以调查曲线的任何显著异常值是否有异常。随后激活金属DAC,并且进行参考管的最终扫描以确保所有接口信号均处于40%FSH,而不管金属厚度如何。在一些实施例中,如果存在超过1.25dB(+/-5%FSH)的任何偏差,一般应当重新计算该曲线。

[0461] 保存金属DAC曲线。可以用最近的曲线来更新所有其他采集计算机中的金属DAC曲线。应注意,虽然金属DAC曲线对每一换能器是唯一的,但可以应用被证明为对其他换能器提供适当响应的任何DAC曲线。

[0462] (4) 温度换能器检查

[0463] 检查温度换能器的功能性,并且这不是换能器表征的一部分。这可以通过测量在一个冰水浴以及沸水中的温度来进行。可替代地,可以使用量热计装置来测试和校准温度换能器。虽然针对一个有限范围来校准温度换能器,但该范围的可重复证明将指示换能器正在正常操作。

[0464] 在执行先前段落中界定的校准之后,可以将所得的经更新换能器文件传送到采集计算机。当应用含有探头的工具(例如,操纵器100)时可以使用新文件。

[0465] 系统校准

[0466] 将系统校准界定为检验用于操作变量的值以及整体地确认FMC数据采集系统的持续性能的值。将UT数据转换为最终结果的过程是耗时的,因此分析不是校准程序的一部分。而是,证明相关UT参数在检验过程中未从推荐值偏离一般便足够。

[0467] 系统校准涵盖了检查:

[0468] 1. 编码器核对

[0469] 2. 元件功能性检查

[0470] 3. 换能器-操纵器对准/探头轴线功能检查

[0471] 4. 金属路径测量核对

[0472] 5. 换能器延迟检查

[0473] 6. 水路径衰减检查

[0474] 7. 温度传感器核对

[0475] 8. 水路径测量检查

[0476] 如果校准值落在规定或先前适用值之外,校准可能已失败。分析操作者可以解决可能的原因,而不是改变参数(例如,消除空气气泡但不改变速率)并重新尝试校准扫描。如

果校准结果是可接受的,检验可以继续。如果校准已经失败,那么通常丢弃在最近有效校准之后获得的所有检验文件。可以重新扫描讨论中的馈送器焊接处。

[0477] 校准设备

[0478] 校准设备由以下项目组成:

[0479] 1. 2"参考块试样(见图55)

[0480] 2. 用于6度配置的2"参考块试样(见图56)

[0481] 3. 2.5"参考块试样(见图57)

[0482] 4. 参考块支架

[0483] 5. 连接到UT仪器的换能器/操纵器组合

[0484] 如图58中描绘以安装在参考块上的操纵器100配置校准设备,其中参考块试样取决于待校准的操纵器大小。图58中的箭头5802指示扫描的近似开始点。

[0485] 校准方法

[0486] 平台操作者紧握适当大小参考管上的操纵器,确保操纵器外环接合在支架定位销中。在一些实施例中,对于常规和6度操纵器配置有一个单独的参考管。在适当的参考管上进行每一操纵器配置的校准。

[0487] 随后将稳定臂门锁在操纵器上。平台操作者向采集操作者指示系统何时准备好进行校准核对。图59中给出了校准步骤序列的流程图。

[0488] 采集操作者在NEOVISION™的设置窗口下启动耦合剂泵和扫描。采集操作者观察A和B扫描窗口中的信号以确认操纵器充满耦合剂。如果操纵器未填满耦合剂或不能维持水柱达校准实践的持续时间,在继续检验之前可以识别并确定原因。

[0489] 1. 编码器核对

[0490] 通过将操纵器从起始位置驱动完整一圈回到起始位置而最容易执行编码器的正确行为和值的核对。通过将分型线内环形阀与静止环形阀排成一行而容易地观察到这些位置。值应当通常在 $\pm 0.3\text{mm}$ 以内与圆周匹配。在具有2"操纵器和2.5"操纵器的示例实施例中,距离是:对于2"操纵器为195mm,对于2.5"操纵器为245mm。

[0491] 以下步骤可以由操作者使用:

[0492] (a) 通过在正方向上驱动而从负侧接近起始位置。

[0493] (b) 当内环中的裂缝与外环中的裂缝对准时,在“电动机/继电器”下将位置设定为0.0。如果此位置过了,不应当在负方向上驱动操纵器,因为如此可能将操纵器冲击带入校准中。如果位置过了,从负侧重复该方法。

[0494] (c) 从此零位置,在正方向上驱动操纵器,对于2"操纵器为195mm,并且对于2.5"操纵器为245mm。

[0495] (d) 操纵器应当通常执行360度旋转并停止,使得内部旋转环中的裂缝与外部环的裂缝对准。与此位置的任何偏移均可能表示操纵器的校准或机械操作中的误差。

[0496] (e) 通过使操纵器返回到起始位置而在相反方向上进行测试。

[0497] 在一些实施例中,最终值应当为0mm,在 $\pm 0.3\text{mm}$ 以内。

[0498] 在任一方向上无法满足这些要求可能是由于若干可能的原因:不正确的设定,电气问题或者机械问题。如果编码器在任一方向上超过这些值,可以使操纵器停止工作以进行进一步评估。

[0499] 编码器准确性的测量会受到操纵器传送系中的间隙的影响。间隙在操纵器之间不同,并且由于齿轮系和操纵器支承表面中的磨损而可随着时间增加。

[0500] 2. 元件功能性检查

[0501] NEOVISION™应用程序具有一个特征,该特征将一系列线性变化的延迟引入到每一通道,这些延迟在被观看时看上去像一个锯齿图案。此测试可以在参考样本上在设置模式中在一个静态位置中进行。可替代地,此测试也可以通过注意参考样本上的一个校准特征上的元件响应的存在/不存在来进行,以作为校准记录的一部分。

[0502] 对主对角线B扫描响应的快速检查将突出显示任何遗漏的元件。操作者可以使用指针来识别该(多个)遗漏元件的通道号。可以在维护记录中记录任何遗漏元件(多个)的通道号。

[0503] 如果换能器和仪器组合未能满足在以下表3中陈述的“元件功能性”因素中指出的要求,可以使该换能器和/或仪器停止工作以进行修理。

[0504] 采集操作者接着加载UT和用于核对扫描的扫描设定。参看以下表1和表2。平台操作者可以确保用于校准扫描的正确电缆布线。当就绪时,采集操作者开始校准扫描。

[0505] 表1-用于0度校准的示例UT参数

[0506]

参数	值	注释
平均化	1	
有效孔径	128	
脉冲器模式	回声触发器	
数字化频率	100 MHz	用于测量准确性
零偏移	专用于探头-标称地为 32 DP	
范围	1250	
门启动	245 DP	
门长度	2500 DP	用于获取 17 mm 水柱和角度
增益	~32-35 dB	探头和系统的功能

[0507]

阈值	~13% FSH	按需要调整以排除在初始脉冲上的触发
----	----------	-------------------

[0508] 表2-用于6度校准的示例UT参数

[0509]

参数	值	注释
平均化	1	
有效孔径	128	
脉冲器模式	回声触发器	
数字化频率	100 MHz	用于测量准确性
零偏移	专用于探头-标称地为 32 DP	
范围	1500	
门启动	350 DP	
门长度	3000 DP	用于获取 17 mm 水柱和角度
增益	~32-35 dB	探头和系统的功能
阈值	~13% FSH	按需要调整以排除在初始脉冲上的触发

[0510] 一旦按照下表中列出的项目完成,采集操作者就可以评估校准扫描。

[0511] 3.换能器-操纵器对准检查

[0512] 可以通过在参考块(例如图55到图57中所示的示例块)的5个平坦区上进行扫描来评估换能器-操纵器对准。这些区在一些实施例中相对于参考块轴线而倾斜。当正确设定时,信号振幅将从2度表面上升到1度表面,在平行于换能器面的表面上达到峰值,并且随后下降到1度并再次到2度表面。采集操作者可以将操纵器从起始位置围绕块向前驱动一个距离,该距离对于示例2"操纵器为145mm,对于示例2.5"操纵器为185mm。采集操作者可以随后将运动增量设定为0.1mm并且在观察接口信号时相对于当前位置而递增。操作者可以持续递增位置,直到观察到信号达到峰值并随后下降为止。在此点,操作者可以将操纵器的当前位置对于2"操纵器设定为149.1mm,并且对于2.5"操纵器设定为189.6mm。在相反方向上驱动可能导致操纵器反冲被带入设定中。

[0513] 如果发现峰值在其他表面上发生,换能器和操纵器可能未对准,并且应当对其进行调整。可以使操纵器停止工作以解决此问题。

[0514] 一旦识别出峰值并且按操纵器尺寸设定操纵器圆周位置,采集操作者可以将操纵器驱动到超过零的一个点:建议-3mm。可能需要此做法来从操纵器传动系去除冲击。采集操作者可以将操纵器驱动回到0位置(不一定是起始位置)。采集操作者随后准备好执行校准的其余步骤。

[0515] 采集操作者通常应当选择WPIT核对扫描,而不是WPIT校准扫描。核对扫描确认DAC曲线的函数,同时校准扫描建立DAC曲线。

[0516] 核对扫描运行参考块周围的一系列位置,金属路径系列,之后是水柱系列,之后是角度核对和成角度表面。

[0517] 此检查可以在带有一个反射器或反射镜154的实施例中变化或省略,该反射器或

反射镜动态地改变换能器的扫描角度。举例来说,在具有一个反射镜154的一些实施例中,通过在参考块的连续可变区上进行扫描来评估换能器-操纵器对准。此区实际上是经过一个角度范围的一个凸轮表面。控制系统将把反射镜驱动到一个角度以优化接口信号。所报告的角度应当对应于表面在检查的各个点处的角度。

[0518] 为了手动地执行此功能,采集操作者可以驱动探头轴线以在沿着连续表面的跨度的各个位置处使接口振幅达到峰值。报告探头轴线角度并与预期角度进行比较。所报告角度与预期角度之间的差在一些实施例中不应当超过 ± 1 度。

[0519] 4. 金属路径测量核对

[0520] 通过检查参考块中的各个台阶可以检验金属路径测量的准确性。在一些实施例中,检查2mm、8mm和14mm台阶。在说明书末尾的表A12到A15中发现图55到57中所示的特定于每一示例参考块的测量。

[0521] (a) 在对应于线性电子B扫描的矩阵主对角线通道选择的A扫描窗口上进行此测量。对于此测量可以选择来自B扫描的任何通道。

[0522] (b) 对于此测量,将时间轴设定为半路径,并且将速率设定为在显示选项标签下的碳钢。

[0523] (c) 通过在A扫描中的前两个后壁回声的区上进行放大来进行测量,使得可以区分单独的数据样本。

[0524] (d) 使用两对指针,通过将一个指针放置于第一回声的第一上升过零点上并将另一指针放置于第二回声的对应过零点上来进行测量。该测量是这两个指针的金属路径值之间的差。此值是从A扫描窗口边缘上的INFO按钮直接获得的。

[0525] (e) 在校准记录中记录这些步骤的值。

[0526] 如果该(多个)值落在可接受的范围之外,在检验继续之前应当识别和补救差异性的原因。在差异性的识别之前获得的所有数据都可能不再被视为有效的。

[0527] 5. 换能器延迟检查

[0528] 由于在参考样本上难以精确定位操纵器,因此换能器延迟可仅由于位置不准确性而变化。换能器延迟因此通常仅作为一个指示来执行。

[0529] 对于此测试,接口信号和第二接口倍数应当存在于扫描数据中。这可以在2mm或5mm水柱台阶中的任一者上实现。

[0530] 通过从针对该台阶的设计水柱距离减去测得的水柱距离来评估换能器延迟。变化量将是探头延迟从当前设定的探头延迟的改变。将从对应信号的第一最小值获得最准确的测量值,因为后续失真增加了测量值中的误差。应注意,此距离通常是在数字化点而不是基于水速率的半路径中评估。

[0531] 采集操作者可以使用其他台阶或通道来确认看上去在预期限制之外的读数。

[0532] 6. 水路径衰减检查

[0533] 通过检查接口信号的振幅可以核对水路径衰减曲线。

[0534] 在一些实施例中使用的校准软件(WPIT核对)具有一个特征,该特征针对各种水柱台阶上的一个给定元件报告振幅高度变化的范围。对于参考块的所有台阶上的任何主对角线通道,接口信号的振幅通常应当保留在50%到99%FSH内。在不存在其他可能因素(空气气泡)的情况下与此量的偏差表明水路径衰减曲线是不准确的。

[0535] 如果所报告水平在针对一个单独元件的范围之外,采集操作者可以使用另一换能器元件响应来执行一个手动评估。采集操作者可以将A扫描窗口中的指针水平设定为80%FSH。采集操作者可以选择所需通道并且从水柱台阶的范围检查振幅响应。如果响应落在50%到99%FSH内,衰减检查通常是可接受的。如果发现偏差存在于换能器的若干元件上,或者如果发现偏差范围是过大的,解决问题。

[0536] 7. 温度传感器核对

[0537] 给定这些类型的装置的稳健性,检验出温度读数是稳定的并且在预期界限内通常便足够。针对检验预期的标称界限通常是15到45摄氏度。

[0538] 采集操作者可以保存校准扫描并且在FMC馈送器校准记录中记录校准的结果。在准备补充扫描中,如果尚未处于起始位置,将操纵器驱动到起始位置。

[0539] 可以通过适当步骤(例如,组件放置,消除空气气泡)来解决任何异常,并且在继续检验之前重新校准。

[0540] 8. 水路径测量检查

[0541] 可能需要补充扫描来执行一个水路测量检查。该扫描通常在参考块上以0.5mm的步长从60mm运行到100mm。针对0度和6度配置可以进行此扫描,然而,此时仅可以评估0度结果。

[0542] 在一些实施例中,通过检查参考块中的2、5、8、11、14和17mm水柱台阶之间的测量变化量来确认水路径测量。在对应于线性电子B扫描的矩阵主对角线通道选择的A扫描窗口上进行此测量。对于此测量可以选择来自B扫描的任何通道。特定于每一参考块的测量可以保持在记录上并且在校准过程中用作一个参考。

[0543] 对于此测量,可以根据一半路径来设定时间轴,并且可以根据在显示选项标签下的水来设定速率。

[0544] 通过在A扫描中的接口回声的区上进行放大来进行测量,使得可以区分单独数据样本。使用两对指针,通过将一个指针放置于接口回声的第一上升过零点上并随后标引到下一步骤的图像,将另一指针放置于接口回声的对应过零点上来进行测量。该测量是这两个指针的水路径值之间的差。

[0545] 此值是从A扫描窗口边缘上的INFO按钮直接获得的。随后以相同方式进行后续水柱台阶测量。

[0546] 用于校准的参数与值

[0547] 以下表3识别将测量的参数以及将获得的适用目标值。

[0548] 表3-示例校准准则和值的列表

[0549]

因数	值	范围	注释
元件功能性	不适用	不超过 13 个遗漏, 不超过 3 个邻近遗漏	如果大于 13 或 3 个邻近元件, 拒绝换能器
探头延迟	32 DP	2 DP	注意-当在 100 MHz 取样速率下时
水柱 DAC	80 % FSH	99% - 50% FSH	
金属路径测量	块特定的, 参考表 A12 到 A15	+/- 0.03 mm	
换能器-操纵器对准	0	+/- 1	

[0550]

温度传感器功能	不适用	15°C - 45 °C	观察到起作用并且合理
编码器检查	0 到 195 (2") 或 245 (2.5")	+/- 0.3 mm	检查是否有后冲或过量游程-在必要时更换操纵器
水柱测量	块特定的, 参考表 A12 到 A15	+/- 0.01 mm	测量参考块的台阶之间的差

[0551] 校准记录内容

[0552] FMC 馈送器校准记录通常可以含有以下信息:

- [0553] • 校准文件的日期和时间
- [0554] • 校准文件的名称
- [0555] • 换能器序列号、操纵器序列号
- [0556] • 微脉冲序列号、拱顶接口模块序列号
- [0557] • 参考管序列号
- [0558] • 执行校准的采集操作者的姓名
- [0559] • 执行校准的平台操作者的姓名
- [0560] • 记录校准结果的数据表

[0561] 间隔

[0562] 可以在以下间隔处进行参考块的校准扫描:

- [0563] • 移位的开始
- [0564] • 4 小时间隔
- [0565] • 采集操作者的改变

[0566] 除了以上之外, 在每当一个换能器、操纵器或仪器改变时可以执行校准扫描。校准检查是检验系统保持校准以及完全操作的一个确认。校准检查文件可以记录有检验数据。

[0567] 超声设备设定

[0568] 超声设备设定可以在一种预定义配置(设置文件)中可用。负责用于检验活动的设备的初始设置的检验监督者可以确保将所有设置文件的最近版本加载到NEOVISION™软件中。

[0569] 下文在表4中给定这些设定的标称值。

[0570] 表4-用于超声测试的标称值

[0571]

参数	基本	值	注释
探头元件间隔	是	0.195 mm	按探头规范固定
探头元件间距	是	0.27 mm	按探头规范固定
探头元件标高	是	5.0 mm	按探头规范固定
探头元件数目	是	128 个元件-不超过 13 个元件非响应并且不超过 3 个元件邻近	按探头规范固定
探头中心频率	是	如所测量, 在标称的 $\pm 10\%$ 内	按探头规范固定
换能器元件	是	元件应当在先前的 ± 2.0 dB 内	经由程序确定

[0572]

增益修整			
零偏移	是	应当在已知延迟的+/- 2DP 内,然而当前设计是~ 32 DP @ 100 MHz 或 16 DP @ 50 MHz	经由探头特性测量
脉冲宽度	是	40 到 60 ns	经优化于换能器
脉冲电压	是	70 V	超过 100 V 将加速换能器老化
延迟	是	~ 30 DP 但不小于 20 DP	变量-馈送器和焊帽几何形状影响此变量的范围
范围	是	~ 500 到 850 DP	厚度与水柱范围的函数
数字化速率	是	50 MHz	针对数据发射速率优化
数字化分辨率	是	12 位	
平均化	是	1	
数据收集模式	是	FMC	
有效孔径	是	128	
增益	是	变量-在 40 到 47 dB 范围中的标称值	参考程序得到细节
滤波器	是	无	使用滤波器影响后续处理
水 DAC	是	接通-由程序确定	
金属 DAC	否	关	按照 Ncovision™ 1.0 分析软件
接口门	是	接通	
将接口设定为零	是	关(未检查)	
接口门启动	是	~ 225 - 350 DP 但不小于 200 DP	随着扫描类型而变,即在 2" 情况下的 0 度、6 度
接口门范围	是	~ 1000 DP	随着馈送器几何形状而变
接口门振幅	是	~11% FSH	
预触发器采集	是	接通-30 DP	
门 1	否	关	用于数据质量指示符的输入
门 1 启动	否		用于数据质量指示符的输入
门 1 长度	否		用于数据质量指示符的输入
门 1 振幅	否	5% FSH	用于数据质量指示符的输入
外径孔径	否	18	用于数据质量指示符的输入
最小百分比	否	50%	用于数据质量指示符的输入
优选百分比	否	80%	用于数据质量指示符的输入
内径孔径	否	32	用于数据质量指示符的输入

[0573]

最小百分比	否	50%	用于数据质量指示符的输入
优选百分比	否	80%	用于数据质量指示符的输入

[0574] 超声测试设置

[0575] 以上表4示出了在此检验中通常使用的标称超声参数。采集操作者可以确认在校准运行之后已经加载适当参数。

[0576] 在采集期间耦合剂的温度可以改变一个明显的裕度,其中一个典型范围是18到40度,并且在一些示例中超过此范围。在耦合剂内的声速存在相应改变。不同于其他检验方法,耦合剂中的速率改变可以对结果具有显著影响。因此,通常应当监视进行检验的温度。用于检验的可接受温度范围在一些实施例中是15到45C。如果遇到在此范围之外的温度,可以努力将温度引入指定范围内。

[0577] 在一些实施例中可以在硬件中包括一个温度传感器。图79和图80示出了借助于一个温度传感器附接夹7904连接到操纵器100上的一个示例温度传感器7902。Neovision™应用程序可以记录每一采集位置的温度。

[0578] 数据验证指示符

[0579] 一些实施例可以包括一个数据有效性指示符软件特征,作为对采集操作者评估数据集时的一个辅助。该指示符显示分别对于OD和ID表面在接口门和门1中的信号的存在。

[0580] 输入参数是:

[0581] • 接口门

[0582] • 接口门振幅

[0583] • 门1

[0584] • 门1振幅

[0585] • OD孔径大小,最小百分比,优选百分比

[0586] • ID孔径大小,最小百分比,优选百分比

[0587] 可以在设置模式中调整输入参数。

[0588] 检验序列界定

[0589] 可以针对2"和2.5"操纵器界定一个单独的检验序列。下文在表5和6中给定用于操纵器的设定。

[0590] 表5-检验序列参数-2.5"操纵器

[0591]

参数	值	注释
开始	0	开始位置可以不同于起始位置
结束	245	基于管道直径
扫描间隔	0.5	程序要求
速度	10	
数目/mm	91.80	所计算值
操纵器半径	47.45	设计值
缩减比率	3748.6	所计算值
最大电流	500	与最大浪涌电流相关-不超过

暂停电流	450	与最大连续电流相关
比例增益	2000	经由测试确定
积分增益	80	经由测试确定
微分增益	1000	经由测试确定

[0592] 表6-检验序列参数-2"操纵器

[0593]

参数	值	注释
开始	0	开始位置可以不同于起始位置
结束	195	基于管道直径
扫描间隔	0.5	程序要求
速度	10	
数目/mm	65.64	所计算值
操纵器半径	39.3	设计值
缩减比率	2133.3	所计算值
最大电流	500	与最大浪涌电流相关-不超过
暂停电流	450	与最大连续电流相关
比例增益	2000	经由测试确定
积分增益	80	经由测试确定
微分增益	1000	经由测试确定

[0594] 扫描和检验区域

[0595] 由于馈送器与操纵器之间的偏移以及馈送器的表面变化,在一些示例实施例中,操纵器可以仅在特定定向中获取UT信号。可以实现一个折衷,其中在0度模式中配置操纵器以获取拱腹线和拱背线区域,在6度前向配置中配置操纵器以获取左颊以及在6度后向配置中配置操纵器以获取右颊。当操纵器正在既定区之外的区域上进行扫描时,UT信号可能降级。

[0596] 0度扫描的开始位置在一些实施例中被界定为换能器直接在右颊上方的位置。操纵器被定向成电缆面朝头部(远离Grayloc™),并且扫描在正方向上继续通过弯曲部的拱腹线到达左颊,随后到达终止于右颊上的弯曲处的拱背线。

[0597] 6度正向扫描的开始位置在一些实施例中被界定为换能器稍微在配合的拱腹线右边的位置。电缆的定向与0度配置相同,面朝头部,远离Grayloc™。扫描从拱腹线前进经过左颊以刚好经过拱背线中心线。扫描通常应当获取拱腹线和拱背线,并且长度不小于100mm。

[0598] 6度反向扫描的开始位置在一些实施例中被界定为换能器稍微在配合的拱腹线左边的位置。电缆的定向与0度配置相反,远离头部,面朝Grayloc™。扫描从拱腹线前进经过右颊以刚好经过拱背线中心线。扫描必然采集拱腹线和拱背线,并且长度不小于100mm。

[0599] 采集操作者可以识别检验记录中的扫描类型、开始和长度。

[0600] 在具有一个可调整的反射器或反射镜154的一些实施例中,双轴线配置可以改善系统的能力。通过经由一个反射镜154转接UT束,该工具可能能够针对大多数配置在一次扫描中搜集所需数据。在复合接合点的情况下,可能需要2次扫描,一次对第一拟合进行跟踪,第二次扫描对第二拟合进行跟踪。

[0601] 对检验样本的操纵器设置

[0602] 在所有扫描类型中通常可以实行以下步骤：

[0603] (1) 平台操作者可以在馈送器上安装操纵器，从而确保操纵器半部相符且扣紧。如果对检验区域的直接接近是不可能的，平台操作者可以将操纵器安装在馈送器的一个可接近区域处，并且将操纵器重新定位在将检验的区域上。操纵器上的驱动封壳通常应当位于馈送器的顶部处以用于水平馈送器运行，或在垂直运行的情况下齿轮系在底部处。平台操作者还可以检查操纵器上的密封以确保它们挠曲的方向是一致的。

[0604] (2) 平台操作者可以在一个邻近末端配件上环绕电缆以释放操纵器上的应变，从而确保存在足够的换能器电缆松弛可用于准许操纵器在既定方向上的旋转。

[0605] (3) 平台操作者和采集操作者可以在操纵器已经安装在馈送器上之后重新确认将检验的馈送器的身份。

[0606] (4) 一旦操纵器放置被确认，采集操作者可以启动耦合剂泵以填充操纵器。平台操作者可以检查操纵器密封件是否有过量泄漏。可能需要对密封件的调整以减少泄漏。可能需要平台操作者经由耦合剂流量螺线管组件上的阀来调整流动速率以优化耦合剂消耗。

[0607] (5) 与检查密封件一致，平台操作者还可以检查并确认操纵器的两个半部被紧固地门锁。如果这些半部未完全接合，可能遇到过量泄漏和不良运动控制。

[0608] 检验过程

[0609] 图60中给定了检验过程的流程图。采集操作者能够选择取决于所遇到环境而使用不同的操纵器扫描模式。在所有扫描类型中通常可以实行以下步骤：

[0610] (1) 采集操作者可以在一旦耦合剂泵已经启动并确认耦合剂从操纵器泄漏时便开始静态扫描。应当用线性B扫描图像填充B扫描窗口，应当用来自B扫描窗口的A扫描来填充A扫描窗口。如果B扫描存在而没有A扫描，采集操作者可以重新建立A扫描选择到B扫描窗口的链接。如果未填充任一窗口，采集操作者和检验监督者可以调查并补救原因然后继续下去。一旦A和B扫描已经建立，采集操作者应当对扫描质量做出一个大致评估，以识别和校正任何明显的缺陷。

[0611] (2) 如果不使用起始位置作为开始位置，采集操作者可以将换能器轻推到所要的目标位置。在替代方案中，平台操作者可以使用对VIM的局部控制来执行此任务。当换能器已经定位于扫描开始位置处时，采集操作者可以将开始位置设定为零。同样，平台操作者可以针对既定行进方向确保有效的电缆松弛以及正确的电缆馈送。

[0612] (3) 如果在任何时间，平台操作者看到对检验的干扰或受限接近的可能性，平台操作者可以通知采集操作者。采集操作者可以在空隙是一个问题的情况下选择在一个较有利位置开始扫描。

[0613] (4) 采集操作者可以选择执行一个任选的测试运行。测试运行的目的是检查焊接位置、焊帽上的信号振幅、操纵器对准、空气气泡或气穴的存在，或者其他条件/制品。在一些实施例中，用于圆周分辨率的建议值是10mm到15mm。在进行扫描之前可以校正在测试运行中注意到的任何不利条件。

[0614] (5) 采集操作者可以从开始位置发起扫描。平台操作者可以监视操纵器的进程，对正确的电缆馈送密切关注。采集操作者可以监视主对角线B扫描和对应A扫描的数据质量。在空隙减小的区中，换能器可能接触邻近的障碍物。让操纵器暂停通常是优选的，而不是换

能器将操纵器推到旁边。在后一种情况下,可能记录到错误数据。

[0615] (6) 操纵器控制可以在扫描完成后使操纵器返回到开始位置,前提是尚未检测到一个暂停条件。如果已经检测到一个暂停条件,操纵器的行为可以按照采集操作者选择的扫描选项。

[0616] (7) 采集操作者可以针对影响扫描可接受性的因素审阅完成的文件。采集操作者可以在审阅文件时关断耦合剂泵。如果扫描是不可接受的,采集操作者和平台操作者可以尝试校正缺陷并且重新扫描焊接处。对获取可接受数据的尝试的次数不存在指定限制。采集操作者可以在已经做出若干扫描尝试的情况下保存不满足一组质量准则的数据。可以在检验记录中做出描述这些限制的标记。

[0617] (8) 如果采集操作者将文件视为可接受的,采集操作者可以保存文件和检验记录。

[0618] (9) 如果不在起始位置,采集操作者可以将操纵器驱动到起始位置。

[0619] (10) 如果在同一个馈送器上,采集操作者可以指示平台操作者释放操纵器或者将操纵器移动到下一位置。

[0620] (11) 采集操作者和平台操作者可以如上所述以指定间隔执行校准。可以丢弃在最近有效校准扫描之后获得的数据,并且可以重新检验受影响的焊接处。

[0621] 检验的范围

[0622] 检验的范围可以按照在上文和在图49到图50中界定的范围。应注意,针对这些几何形状界定的检验区域是基于焊接中心线的一个已知位置。在一些实施例中可以将操纵器构造成跟踪一个圆柱形型面,并且可能不一定跟踪复杂几何形状上的焊接中心线。在这些几何形状上,焊接中心线可以遵循扫描数据中的一条正弦轨迹。如果认为从馈送器的其他区域获得数据是必要的,用户可以选择在第二回合重新定位操纵器。

[0623] 记录准则

[0624] 相对于NEOVISION™应用,可以记录在接口信号之后的所有信号。

[0625] 评估和接受准则

[0626] 采集操作者可以相对于以下准则来审阅数据文件以确定扫描可接受性。给定贡献于信号质量的因数的数目,采集操作者可以在采集数据时监视数据,并且在采集之后花费时间来执行对选定区域的任何详细审阅。

[0627] 以下准则适用于讨论中的扫描的关注区域,即,根据上述示例实施例,在0度配置的情况下的拱背线/拱腹线、针对6度正向扫描的左颊、针对6度反向扫描的右颊。在数据质量评估中通常不考虑在与扫描不相关的区域中遇到的不利条件。

[0628] 信号质量

[0629] (1) 偏斜和偏移:当换能器未在轴向方向上与检验表面对准时可能发生偏斜条件。偏移是一个类似条件,但可能改为当换能器在平行于管道轴线时处于在管道轴线旁边的一个侧向距离处时发生。这两个条件均可能导致OD信号振幅中的显著下降以及OD信号的分裂。在这些条件下,ID信号可能完全丢失。当检验紧密的弯头或接合点到接合点配置时,这些条件可能在一定程度上是固有的,但通常不应当超过总圆周的40%。在轴向和/或径向位置上相对于管道表面重新定位操纵器可以减少扫描中的失真量。

[0630] (2) 空气气泡:空气气泡可以在3个地方发生:检验表面上,换能器表面上,或水柱中的振荡。空气气泡通常对数据质量具有不利影响。在这三个条件中,管道表面上的空气气

泡由于它们的局部化特征以及它们大小较小的趋势而影响最少。这些气泡中的较大者可能产生致使采集过早地发生的一个响应。表面空气气泡是当它们导致OD或ID信号振幅中的可观察到的减小时是过量的。通过管道表面的正确清洁以及在清洁过程期间使用一种表面活性剂的组合可以减少管道上的空气气泡。可替代地,沿着管道轴向地移动操纵器使得密封件刮擦表面可以驱除大部分气泡。

[0631] 位于换能器/反射镜面上的空气气泡是较显著的,只要它们在检验的整个持续时间内恒定地衰减来自特定元件的脉冲。通过特定于少数元件的OD/ID信号中的异常持久下降来检测此类型的空气气泡。可以在参考块上确认此行为。在一些实施例中,此类型的空气气泡当在扫描的长度中在OD/ID信号中造成2dB或更多的下降时可能是不可接受的。通过使用一种核准的UT凝胶耦合剂轻轻地擦抹换能器的表面可以减轻换能器/反射镜面上的空气气泡。

[0632] 作为数据采集接口的不规则触发,水柱中的空气气泡是明显的。此类型的空气气泡的最常见原因是在耦合剂供应中挟带的空气。数据采集的不适当触发可能导致数据分析例程中的问题,并且在一些条件下可能带来错误结果。给定水柱的大小,水柱中的空气气泡在一些实施例中通常不会占据超过整个数据文件的少数单独扫描线。如果发现水柱中的任何客观量(在一些实施例中超过5%的扫描位置)的空气气泡,应当识别并消除空气气泡的来源。可以进行重新扫描受影响的焊接并且在检验记录中记录。

[0633] (3) 空气气穴:空气气穴可以在操纵器的上部极端处发生,并且可能在泄漏速率超过耦合剂供应速率时引起空气气穴。当跨换能器在连续扫描线上存在UT信号的部分到完全损失时,会观察到一个空气气穴。如果信号损失被隔离于少数通道或在持续时间上较短(~5个帧),采集操作者可以接受扫描文件。否则,可以建议解决过高泄漏速率的原因和/或增加到操纵器的流量并且重新扫描馈送器焊接处。

[0634] (4) 信号范围限制:例如操纵器在馈送器表面上的位置、焊帽高度和馈送器几何形状等因素可能对扫描中水路径距离的范围具有显著影响。水路径长度中的过量变化可能对扫描质量具有不利影响。最成问题的情形可能在换能器过于靠近检验表面(在一些实施例中小于200DP)时发生。在此情况下,接口信号可以合并到来自发射元件的初始脉冲的下降中,从而潜在地导致错误触发。此外,在此点的接口信号可能邻近于元件的接近区域,在此情况下信号振幅是高度地可变的。这两个条件均可能在分析过程中引入误差。然而,最显著的影响可能是在数据中将俘获第二水柱接口。此特征可能被错误地识别为后壁,因为振幅可能大于真实ID信号。在例如过高焊珠高度等极端情况下,在换能器与检验表面之间可能存在不足的空隙,导致对换能器自身的损坏。

[0635] 潜在地较少问题的条件是在换能器与检验表面之间存在过量距离。这可能从以上段落中说明的条件在馈送器的相对侧上发生。对数据分析的影响是较细微的,因为换能器离检验表面越远,对任何给定特征的观看角度受限制越多。

[0636] 校正范围限制相关问题的一种方法是重新定位操纵器,目的是将操纵器在长水柱侧上带到靠近管道,同时在短柱侧使操纵器移动远离管道。在重新定位操纵器之后可以重新扫描焊接处。应注意,重新定位操纵器可能无法解决由过高焊帽高度引起的问题。

[0637] (5) 电噪声:扫描中的电噪声可以被识别为一个或多个A扫描轨迹中的随机(在一些情况下,重复的)信号。在噪声不相关即不形成一个重复信号的假定下,在数据分析中可

以将噪声有效地平均掉。如果噪声的振幅相对于ID信号的振幅变得较高(在一些实施例中ID的-6dB内),问题可能发生。电噪声的源可能来自与换能器、电缆或连接器损坏相关的若干区域,或者在一些示例中可以与Micropulse™单元自身相关。

[0638] 如果在扫描数据中识别出电噪声,解决问题的一种手段是更换换能器或Micropulse™仪器并且重新扫描焊接处。

[0639] (6) 温度范围:针对数据的温度范围在一些实施例中可以是15到45C。在此范围之外的温度可能引起不准确的结果。采集操作者可以进行重新扫描,使得温度在这些界限内。

[0640] (7) 遗漏/无效元件:遗漏或无效元件可能从换能器的自然老化、对电缆或连接器的损坏或Micropulse™仪器中的故障出现。如果识别出不超过13个无效/遗漏元件,扫描通常是可接受的,前提是在13个元件当中,不超过3个是彼此紧接邻近的。如果可以将故障追踪到Micropulse™,通常推荐移除Micropulse™来进行修理并且重新扫描焊接处。

[0641] (8) 接口振幅:可以将增益设定为在标称条件下接口振幅饱和了6dB的水平。此设定的目的是确保焊帽接口信号保持在一个足够高的水平以触发数据采集。过高增益设定对于后续数据分析可能成问题。如果焊帽信号不足以触发数据采集,可以升高增益,在一些实施例中优选不超过6dB,并且增加接口门振幅。建议在降低门振幅时小心,因为不想要的信号可能现在造成错误的采集。

[0642] (9) ID信号振幅:在标称条件、垂直于表面的换能器、稳定的水柱、在中间范围处的检验表面下,管道ID信号应当得到在一些实施例中近似10%FSH的振幅。如果管道ID信号与此值偏差超过 $\pm 6\text{dB}$,在可能的情况下(空气气泡、松散的表面污物)可以调查和校正原因。

[0643] (10) 检验覆盖:相对于所希望的覆盖的不充足的检验区域覆盖可能需要操纵器的重新定位以及重新扫描。在一些实例中,检验几何形状可能限制单遍覆盖,从而必须进行两遍来实现所希望的覆盖。如果情况是这样,可以使用两个文件来用于检验,其中在检验记录中做出适当标记。如果障碍物限制了定位操纵器以得到所需的覆盖的能力,在检验记录中做出适当的标记。

[0644] (11) 开始/结束对应:在一些实施例中,一次完整圆周扫描的开始和最终帧可以在轴向方向上在 $\pm 2.0\text{mm}$ 内并在径向方向上在 $\pm 50\text{DP}$ 内在同一位置处显示相同UT特征。如果开始和结束帧不对应于在这些限制内,在扫描期间操纵器可能已经移位。如果如此,可以重复扫描。

[0645] 数据文件

[0646] 采集操作者可以将数据文件导出到分析位点。分析位点可以具有多个冗余存储装置以保持数据文件。对数据的分析可以在数据采集阶段完成时进行。

[0647] 检验记录内容

[0648] 在一些实施例中检验记录是一个文档,该文档记录了用于所进行的检验的参数。对于所检验的每一馈送器可存在一个单独的检验记录。注意,可能存在与任何给定馈送器相关联的多个焊接处。

[0649] 在检验记录中可以含有以下信息:台、单元、日期、时间、面、馈送器、焊接处、文件名称、换能器、操纵器、微脉冲系列、拱顶接口、ID、序列号、编号、模块SN、采集、平台、参考管ID、校准文件、操作者、操作器、分辨率、数据质量、扫描开始、扫描长度、扫描类型、限制、识别任何扫描限制的位置和特征的实际馈送器的草图,以及关于检验的任何其他相关信息。

[0650] 数据分析

[0651] 用于当前描述的示例中的馈送器焊接型面的检验的数据采集方法是全矩阵俘获 (FMC) 检验技术的应用。此方法使用多个独立的元件来发射和接收声音,并且因此获取一个非常大的数据阵列。该阵列很大,以便有效地排除对数据的手动分析。

[0652] 此分析方法的基础是源A扫描中的时间索引的循序向后传播。此技术有时候一般地称为全聚焦方法 (TFM)。分析方法的结果是计算机超声断层法 (CUT)。

[0653] 以下部分界定在一个示例实施例中可以使用NEOVISION™软件应用程序来分析FMC数据的程序。它提供了在一个馈送器焊接区域的检验中使用NEOVISION™软件应用程序作为一个分析工具的程序。从馈送器焊接接合点的检验中获得将分析的数据。此程序适用于从:管道到管道、管道到配件、配件到配件以及配件到Grayloc™焊接处获得的FMC数据集。参看图49作为一个配件到配件焊接处的一个区段的示例。既定覆盖在焊接中心线的任一侧上是20mm。然而,几何限制可能约束了接近的区。

[0654] 此示例实施例适应如以上示例采集程序中所描述使用0度和6度偏移获得的数据文件的分析。

[0655] 在分析之前提供来自检验活动的FMC UT数据。可以使用一个多处理器刀片服务器系统来支持Neovision™分析软件应用程序。此系统在一些实施例中通过一个适当的网络链接到采集位点和分析位点两者。网络连接应当能够支持数据传送速率1Gbit/s。

[0656] 设备和工具

[0657] 以下表7列出了在一个示例实施例中在此程序下使用的示例设备。

[0658] 表7-数据分析所需的硬件和软件

[0659]

数量	项目	描述
每个使用者 1 个	台式 PC (远程)	4 G 字节存储器, Core2 Duo 2.3 GHz 或以上, 32 位 Windows XP, 500 G 字节 HDD, 1 千兆位以太网接口, 双 19" 监视器
1	客户端 PC	按支持桌面 PC 的需要来配置
1	存储装置	用于存储检验数据和经处理结果的基于网络的本地装置。建议大小, 最小 5 TB
1	分析刀片服务器	由 2 个服务器和 28 个双处理器四核刀片组成的分析系统
1	Linux™ OS	SUSE
1	Matlab™	版本 2008b
1	Windows™ 64 位 XP 服务器	SP3
1	NEOVISION™	版本 1.0 或最近合格的版本

[0660] 核对

[0661] 数据分析

[0662] 通过让第二个合格的分析者独立地对同一数据集执行分析而实现分析结果的核对。在此策略中,初始作业称为主要分析,而随后的作业称为辅助分析。

[0663] 任何合格的分析者都可以对任何数据集执行或者主要或者辅助分析。通常,同一分析者不会对同一数据集执行主要和辅助分析两者。

[0664] 将用于主要和辅助分析两者的最小厚度的值和位置进行比较。如果在一些实施例中对于同一位置的结果在0.06mm内,报告两者中的较小者的结果。如果结果不符合在这些界限内,第三分析者、领导分析者可以执行对数据的独立评估。

[0665] 程序

[0666] 一个结果协调者可以负责确保按照此程序进行分析。

[0667] FMC数据集的分析-程序

[0668] FMC数据集的分析是一连串处理步骤,基于先前步骤的结果来建立任何给定步骤的结果。因此,任何不准确性或数据损失均可能显著损害所有后续的步骤。结果的可靠性随着输入数据质量而变。

[0669] 以下两个部分讨论了分析作业流和分析数据流。该作业流描述了分析者为了产生最终结果而进行的步骤。参看图61中呈现的流程图。数据流描述由软件执行的处理。在此将数据流概括为在确定处理参数时提供背景信息。在以上先前部分中讨论了数据分析算法。

[0670] 分析作业流概述

[0671] 在数据采集阶段中发起作业流中的第一步骤。采集操作者将满足可接受性准则的一个完整扫描文件上载到网关服务器。一个完整的检验记录通常也伴随着数据文件。

[0672] 分析者可以随后检索UT数据文件和相应的检验记录表格,并发起用于作业的一个分析记录表格。分析者可以随后加载UT数据文件并按照接受准则审阅数据质量。与接受准则的任何偏差或异常通常应当已经在用于文件的检验记录中识别出。如果如此,在分析记录中可以记录异常。如果在UT数据中识别出在检验记录中未反映的数据质量的异常,分析者可以发起重新扫描焊接处的请求。

[0673] 分析者可以随后审阅记录影响分析设定的UT参数的文件。可以按照上文描述的方针来调整处理参数。在分析记录中可以记录处理参数。随后提交作业以进行处理。

[0674] 当处理已经完成时,分析者可以检索结果文件。分析者可以发起一个结果记录表格。分析者可以对照总体有效性的若干准则来评估结果。可以用不同系列的参数来再处理数据以解决不满足有效性准则的区域。

[0675] 当分析者已经完成评估并且不再获得结果中的另外增益时,分析者可以在结果记录中记录最小厚度信息。分析者还可以如下文指定产生趋势文件(多个)。

[0676] 分析数据流概述

[0677] 图62中描绘了分析数据流。在当前描述的示例实施例中,以从采集位点到网关服务器的数据的传送来发起过程。作业列表将随着网关接收到数据而更新,数据的预处理立即开始。预处理包含例如数据文件转换和数字滤波等步骤。

[0678] 将用于单独扫描帧的文件下载到位于刀片服务器中的可用处理器上。按顺序次序执行以下步骤。

[0679] • 将数据集上取样到等效于100MHz取样速率。

[0680] • 补偿DC偏移和UT数据的数字滤波。

[0681] • OD强度图信息。OD强度图是通过按照参数集针对每一元素评估到检验体积中的每一经界定点的时间索引来形成。针对每一发射器-接收器对将这些时间索引求和,并且将该时间索引处的A扫描的振幅加和到强度图中。针对对于检验体积中的指定点有效的所有发射器-接收器组合重复求和过程。

[0682] • OD表面辨识。使用所提供的参数来界定OD表面。通过算法产生X、Z坐标对。可以对强度图的低级或遗漏部分进行内插。将OD表面平滑为对下一处理步骤的输入。为了输出而应用一个单独的平滑值。应注意,OD表面X、Z对形成结果输出的部分。

[0683] • ID强度图信息。ID强度图是通过应用经修改的参数来计算。ID强度图是以与OD强度图类似的方式计算,然而,OD表面的X、Z坐标用于确定各种发射器-接收器对的适当时间索引。在形成ID强度图之前在此阶段实施例如OD信号抑制和信号归一化等选项。

[0684] • ID表面辨识。使用所提供的参数来界定ID表面。通过算法产生X、Z坐标对。可以对强度图的低级或遗漏部分进行内插。为了输出而对X、Z坐标对进行平滑。应注意,ID表面X、Z坐标对形成结果输出的部分。

[0685] 将经处理OD和ID坐标作为结果文件的一部分传送回到网关服务器。针对网关队列中的所有单独帧文件重复此过程。当所有可用的FMC帧文件均已经被处理时,将网关服务器上的作业状态更新为“后处理”。将在作业状态之后的短间隔更新为“完成”。

[0686] 结果审阅-屏幕布局

[0687] 主结果窗口

[0688] 图63中图示了主结果窗口。分析者可以使用此窗口来逐步通过每一个帧的结果。下文列出主结果窗口的内容:

[0689] (1) 在结果窗口的左上方绘制OD强度图

[0690] (2) 在结果窗口的左中部绘制ID强度图

[0691] (3) 在结果窗口的左下方绘制组合的OD/ID型面(X、Z坐标)。

[0692] (4) 在结果窗口的右下方中列出采集、分析和文件信息。

[0693] (5) 位于结果窗口的右中部的所有TMIN值和每一帧的位置的列表。

[0694] (6) 在结果视图的右上侧存在全局TMIN。

[0695] (7) 在右上方存在用于滚动和分类结果数据的控制。

[0696] (8) 用于产生各种3D视图的选项位于结果视图的右上方。

[0697] 3D产生窗口

[0698] 3D产生窗口是提供检验体积的3D重构的一个群组。该重构是通过在一个线性空间中或以一种径向格式绘制OD和ID型面来实现。当估计OD表面或ID表面相关特征或评估细化趋势时这些视图尤其有用。然而,当明显数目的扫描型面具有显著内插或者不正确地识别强度图假像时该有用性变得折衷。

[0699] 3D窗口

[0700] 3D窗口提供基本3D开发和3D径向视图。图64中给出了此窗口的示例。位于窗口右侧的显示选项准许分析者改变视图中的细节程度、视图的内容、表面滤波、平移、旋转、缩放以及所应用的颜色标度。

[0701] 概览窗口

[0702] 概览窗口为分析者提供检验体积的3D径向重构。另外,此视图还为分析者提供相对于检验体积绘制的轴向和径向型面。当评估任一表面上的细化趋势时这是有用的。再次地,关于不同表面可以平移、旋转、缩放绘图并且呈现细节水平。参看图65的概览窗口的示例。

[0703] 弹出窗口

[0704] 弹出窗口为分析者提供用于任何选定视图类型的一个专用窗口。此窗口的目的是优化视图以用于评估或报告。参看图66的弹出窗口的一个示例。

[0705] 使用NEOVISION™的数据分析的另外细节

[0706] 分析方法

[0707] 以下是按照图62的分析方法的简要大纲。在为每一步骤标示的段落中提供该步骤的另外细节。

[0708] 数据分析可以从一个文件状态已经从“作业预处理”改变为“作业就绪以进行处理”的通知开始。可以为分析者分配关于一个给定文件的主要或辅助分析的任务,前提是它们不对同一文件执行替代的作用。分析者可以针对将分析的文件发起一个分析记录表格。

[0709] 步骤1:校准核对

[0710] 如果分析者尚未核对校准扫描和当前会话的记录,分析者可以检索校准数据文件和记录两者。可以针对如下表8中概括的度量来检查这两个记录。如果校准是无效的,分析者可以通知领导分析者与作业包所有者和采集FLM一起解决该问题。

[0711] 表8-校准变量和准则的列表

[0712]

因数	值	范围	注释
与采集设置的关系	不适用	不适用	必须是用于数据采集的相同换能器、设备和人员
有效性间隔		在校准活动的 4 小时内采集的数据	
元件功能性	不适用	不超过 13 个遗漏, 不超过 3 个邻近遗漏	如果在规范以外, 拒绝换能器
探头延迟	32 DP	+/- 2 DP	注意-当在 100 MHz 取样速率下时
水柱 DAC	80 % FSH	50%到 99% FSH	
水柱测量	按块, 参看附录 B	+/- 0.01 mm	注意-当在 100 MHz 取样速率下时
金属路径测量	按块, 参看附录 B	+/- 0.03 mm	注意-当在 100 MHz 取样速率下时
换能器-操纵器对准	不适用	+/- 1 度	将在平坦零度上发生的峰值
温度传感器功能	不适用	15°C - 45°C	观察到起作用并且合理
编码器检查	0, 195/245	+/- 0.3 mm	取决于使用中的操纵器的值

[0713] 步骤2:检验数据质量和记录核对

[0714] 分析者可以按照所提供的准则审阅UT数据文件和相应的检验记录。在检验记录中可以记录数据质量的任何异常。如果在检验记录中未识别出异常,分析者可以请求一次重新扫描。

[0715] 表9-扫描数据质量因数的概述

[0716]

编号	问题	条件	准则
1	换能器-馈送器失准	偏斜	不超过扫描遗漏的累计总共 40%
1	换能器-馈送器失准	偏移	不超过扫描遗漏的累计总共 40%
2	空气气泡	管道表面:	无明显的接口或 ID 信号振幅的减少
2	空气气泡	换能器/镜表面	不可接受
2	空气气泡	水柱	不超过 5 个扫描线误触发
3	空气气穴	水平	少于 5 个连续扫描线的空气气穴
3	空气气穴	垂直	少于 10 个元件并且不超过 40 个扫描线

[0717]

4	信号范围限制	近	靠近不超过 200 DP 的接口信号
4	信号范围限制	远	充分靠近触发接口门, 应当不超过 900 DP
5	电噪声		如果不相关, 则不超过 5% FSH, 如果相关, 则不超过 2%
6	温度读数		在 15 C 到 45C 和合理的范围内
7	遗漏-无效元件		总共不超过 13, 并且不超过 3 个邻近
8	接口振幅		近似超过直管道段上的 100% FSH 的 6 dB, 或者足以可靠地触发焊帽上的接口门
9	ID 信号振幅	在管道材料下	在线性电子 B 扫描中可观察到
10	检验覆盖	轴向	在焊接处上定心的换能器-经受配件几何形状和障碍
10	检验覆盖	圆周	扫描完整圆周-经受障碍
11	开始/结束对应	轴向	在相同轴向位置+/- 1.0 mm 中的开始与结束 UT 特征
11	开始/结束对应	径向	在相同径向位置+/- 50 DP 中的开始与结束 UT 特征

[0718] 步骤3: 检验数据特性测量

[0719] 分析者可以重复审阅UT数据, 测量馈送器的特定特性。随后将这些特性用作按需要修改分析参数的基础。在下表10中陈述了可以测量的一些特定特性。

[0720] 表10-与处理参数相关的UT数据特性

[0721]

条件		处理参数	注释
到接口的水路径	最大	X Min, X Max 孔径 高度	增加水柱减少了换能器的有效孔径。如果在 UT 数据中记录了第二接口，过高高度可以引入 ID 假像。不足的高度和 X Max 可以剪短厚横截面的区域中的 ID 强度图图像
到接口的水路径	最小	X Min, X Max 孔径 方向性截止 高度	虽然减小水柱高度允许跨一个较宽孔径观察信号，但第 2 水柱接口将限制可以成像的最大厚度。较宽的孔径仅达到方向性截止限制了所使用通道的数目的点
接口信号振幅		归一化 OD 抑制	通过使用归一化可以补偿低接口信号振幅-可能引入假像 OD 抑制将仅在实现 OD 的最小/正确内插的情况下改善 ID 上的 S/N 比率
在线性电子 B 扫描中的 ID 信号振幅	在焊帽下	归一化	减小用于归一化的阈值电平可以增强 ID 强度图
在线性电子 B 扫描中的 ID 信号振幅	在母材下	方向性截止 最大发射器-接收器差	改变方向性截止和最大 Tx-Rx 差可以帮助形成 ID 强度图
焊帽宽度		最大发射器-接收器差 归一化	纵横比（宽度与高度）是在焊帽下可以观察什么的一个指示，该比率越高，ID 的重构越好

[0722]

焊帽高度		NA	仅相对于焊帽宽度相关，参看上文
焊帽接口		归一化	纹波的指示，高调制可以解决一个或中的 ID 重构

[0723] 步骤4:参数变化和处理

[0724] 在分析过程中可以第一遍应用默认参数。特定检验数据特性可以保证改变一些处理参数。可以将用于每一遍的参数保存到与结果文件相关联的一个唯一文件中。

[0725] 步骤5:结果审阅和核对

[0726] 分析者可以检索和审阅结果。取决于结果审阅的发现，分析者可以选择针对整个文件或文件的子集重新处理数据一次或多次。分析者可以针对每一处理回合在一个单独的文件名称下保存每一组处理参数。

[0727] 步骤6:报告结果和归档

[0728] 分析者可以在结果记录中记录特定结果信息。分析者还可以创建一个趋势文件。还可以包括补充输出。

[0729] 用于确定所采集的UT数据质量的索引

[0730] 在一些实施例中,软件将为用户提供额外信息以帮助分析者确定所采集的UT数据的质量。在一些实施例中,此分析可以在步骤5:结果审阅和核对的过程中发生。

[0731] 在一个示例实施例中,向分析者提供两个索引来帮助分析。第一索引称为“理论质量索引”。这是基于所检测的OD表面的几何形状,并且指示对于ID UT可以实现的理论最佳可能质量水平。第二索引称为“实际质量索引”。这是基于来自所收集的UT数据的ID强度图。

[0732] 使用所收集的UT数据来产生实际质量索引。首先,软件取得整个强度图的平均值,基于所检测的表面忽略一些小的区域。具体来说,被忽略的区域是在强度图上从所检测的表面在Y轴上向下延伸的那些区域。通过在计算平均值时忽略这些区域,计算会移除强度图的贡献于所检测的表面的所有部分。强度图的其余部分的平均强度越低,“实际质量索引”值将越好。为了达到实际质量索引值,将此计算出的平均值与如下两个数字中的一者或两者进行比较:

[0733] 1) 在强度图中在任何地方发现的最大强度(该最大强度将可能在通过平均化而忽略的一个区域中发现),和/或

[0734] 2) 基于可能基于OD几何形状实现的理论UT值的最大可能强度。

[0735] 图78示出了从一个强度图产生实际质量索引的一个示例实施。所检测到的边界7802用于识别在Y轴上从它向下延伸的那些区域7804。忽略这些区域7804,且仅使用其余区域7806来产生一个平均强度值。此平均强度越低,实际质量索引越好。

[0736] 用于管道焊接检验的处理软件

[0737] 下文详细描述用于执行各种程序的软件作为一个示例实施例的一部分。在说明书末尾的表A1到A10提供了在此示例实施例的上下文内将使用的示例函数和参数。以下描述在此示例实施例中使用的软件的部分既定仅是说明性的,作为上文以较一般术语描述的系统的一个可能实施。

[0738] 软件架构

[0739] 馈送器焊接区域厚度测量工具(WPIT)含有一个软件套件,用来采集、分析和显示馈送器焊接区域型面以确定由流辅助侵蚀引起的最小馈送器厚度。

[0740] Neovision™是主要用户接口软件,负责超声数据的采集、探头操纵器的控制、分析参数的设置、在网关模式中自身与网格中间件程序之间用于提交分析作业和检索组合结果的通信,以及发起结果显示程序以显示分析结果。此软件仅可以在Windows™操作系统下执行。

[0741] 网格中间件程序是一个java程序,并且它具有2种模式:网关模式和代理模式。

[0742] 在网关模式中,它与Neovision™通信并且接收来自Neovision™的分析作业请求。它通过调用导出器程序将Neovision™超声数据文件划分为单独的FMC数据文件。它通过发出FMC数据并回接FMC结果文件来控制到网格中间件代理的数据流。它随后通过调用合并器程序而将所有FMC结果文件合并到一个组合结果文件中。随后基于用户请求将组合结果文件发送回到Neovision™。

[0743] 在代理模式中,它从网关接收FMC数据文件,并且启动一组分析程序,从而可以分析数据。它向网关回报它的状态以及分析程序的状态。当分析程序创建FMC结果文件时,它将结果文件发送回到网关。它被设计成使得每一服务器需要代理的一个示例,并且代理控制和调用通过配置设定而界定和限制的一组分析程序。

[0744] 网络中间件程序是以Java编写,并且它可以在Windows™操作系统或Linux™操作系统上运行。对于网关模式,它必须在Windows操作系统上执行,因为它需要调用仅在Windows™ OS上作业的导出器程序。一个典型的部署包括在网关模式中运行网络中间件的一个64位Windows™服务器,以及在代理模式中运行网络中间件的一个64位Linux™服务器的一个集群。对于一个小尺度部署,网络中间件将在与Neovision™程序相同的机器上执行,并且它将含有在网关模式中运行的网络中间件的一个示例以及在代理模式中运行的网络中间件的一个示例。

[0745] 导出器程序将Neovision™数据文件导出到用于分析程序的一组FMC数据文件中。FMC数据文件仅含有一组FMC信号并且将它保存为MATLAB™数据文件。这些FMC数据文件将用于分析程序的输入文件。此程序仅可以在Windows™ OS下执行。此程序由网络中间件程序在网关模式中调用。

[0746] 分析程序是一个MATLAB™独立可执行程序,它可以在Windows™操作系统或Linux™操作系统上运行。通过单个一组FMC数据,它计算OD的2D强度图并且确定OD边界界定。当界定OD边界时,它随后计算ID的2D强度图并且确定ID边界界定。使用OD和ID边界界定,它计算此对OD和ID边界的最小厚度(TMin)。它随后将可报告的结果转换为一种标准化格式并且保存这些结果。分析程序输出单个结果文件,该文件含有所有可报告的结果。它是高度存储器密集型 and CPU密集型程序。此程序由网络中间件程序在代理模式中运行。

[0747] 合并器程序从分析程序取得输出的分析结果文件,并且组合所有可报告的结果以产生单个组合结果输出文件。通过组合来自每一型面的OD和ID边界,合并器程序可以重构扫描的3D表示并且重新创建OD和ID表面。合并器程序是以MATLAB™编写,并且它是一个MATLAB™独立可执行程序。它由中间件在网关模式中运行。

[0748] 结果显示程序显示组合结果输出文件,使得用户可以检验和查询结果。它显示2D强度图、OD和ID边界、每一型面的TMin以及整个数据文件的绝对TMin。它还显示扫描的3D表示以让用户更好地理解数据。结果显示程序提供一个简单用户接口,使得用户可以过滤掉不合理的TMin值和型面。用户可以创建厚度趋势数据文件并且将经过滤数据报告给其他CAD(计算机辅助设计)程序以用于进一步调查,例如应力分析。它在运行Neovision™的同一机器上运行。它是一个MATLAB独立可执行程序,并且它是从Neovision™调用的。

[0749] 数据路径

[0750] 此处是在分析Neovision数据文件时的数据流步骤:

[0751] (1) 在采集Neovision™数据文件之后,采集操作者或分析者可以将有效数据文件提交到Neovision™中,并且Neovision™将把该数据文件发送到网络中间件网关模式并且为此数据文件创建一个作业。

[0752] (2) 分析者选择该作业并且检验数据文件。分析者在审阅数据文件之后输入分析参数,并且开始作业。Neovision™将一个请求发送到网络中间件,并且网络中间件网关代理将通过调用导出器程序而开始分析。

[0753] (3) 在导出器程序以MATLAB™格式将Neovision™数据文件转换为单独的FMC数据文件之后,将它们返送回到网关。

[0754] (4) 当网关发现一个可用的代理机器时,该网关将把FMC.MAT文件发送到网络中间件代理。

[0755] (5) 该代理创建一个节点并且调用分析程序,其中FMC.MAT文件作为一个输入参数。

[0756] (6) 在分析程序完成它的计算之后,它将结果FMC.MAT文件发送回到代理。

[0757] (7) 该代理将结果FMC.MAT文件发送回到网关,并且告知网关存在一个可用节点用于更多地分析计算。

[0758] (8) 当网关接收到用于Neovision™数据文件的所有结果FMC.MAT文件时,它将调用合并器程序并且向它发送所有结果FMC.MAT文件。

[0759] (9) 合并器程序将提取可报告的数据并且将单独结果合并为一个有意义的次序,并将一个组合结果文件输出回到网关。

[0760] (10) 网关向Neovision™告知结果就绪。用户接着经由Neovision™从网关检索该组合结果文件,并且保存组合结果文件的一个本地副本。

[0761] (11) 在Neovision™接收到组合结果文件之后,它调用结果显示程序以显示数据。用户可以在结果显示程序中审阅、检验、修改和导出数据。

[0762] 网络中间件组件

[0763] 网络中间件组件可以在表现极为不同的两种模式中运行。一种模式是网关,并且另一模式是代理。一个起作用的分析系统将具有Neovision™的一个示例、一个网关以及一个或多个代理。网关在分析期间从Neovision™和该(多个)代理均接收消息。通常,网关并不发起通信,但这存在例外。

[0764] FMC数据集分析

[0765] 如上文所述实施FMC数据的分析。

[0766] 在采集软件将多个FMC数据集递送到分析软件的情况下,分析软件分析独立地并且按规定接收的每一FMC数据集。因此,单个FMC数据集的分析的描述足以描述所有FMC数据集的分析,因为用于所有数据集的分析过程是相同的。在FMC数据集的分析完成后,将输出(OD和ID边界坐标)输入到图形输出过程中。

[0767] 图形输出过程

[0768] 创建基于型面的结果

[0769] 基于型面的结果是基于分析结果。按需要重新映射数据并且改变轴线值。创建每一型面的厚度值。在此部分中创建扫描位置以及其他基于型面的信息。

[0770] 在每一型面花费少量时间(在最大分辨率下约3秒)来创建基于型面的结果。然而,为了共同创建460个型面,即使使用MATLAB™向量化技术,在整个过程中也仍将花费大量时间。为了缩短总执行时间,在分析程序的末尾处创建基于型面的结果。因此在执行时间上没有任何显著延迟的情况下并行地产生基于型面的结果。

[0771] 合并结果

[0772] 合并结果是独立MATLAB™可执行的。它在一次扫描中合并单独的基于型面的结果并且产生一个结果文件。如果结果文件已经存在,它将把基于型面的结果的指定型面合并到结果文件中。

[0773] 合并结果的主要任务之一是重构OD和ID的3D表示。由于MATLAB™使用2D矩阵来表示任何表面并且使用矩阵行和列索引来维持数据点之间的逻辑相对位置,因此合并结果将通过首先确定全局间隔分辨率和限制而基于它们的相对位置来合并OD和ID。随后重新映射

来自每一型面的结果,并且将数据点的有效集合插入到最终OD和ID矩阵中。

[0774] 将OD和ID的最终型面基于它们的型面排序而保存到矩阵中。基于型面的位置及其相对位置来计算一个分类向量,使得当在3D视图中显示OD和ID时可以使用该向量。

[0775] 将所有基于型面的结果作为不同结构保存到结果文件中。将所有有用的信息存储在合并的结果文件中,因此不需要保持来自分析命令程序的输出文件。当所需数据不存在时,将无效的、部分的(仅OD)和空的型面作为空值合并到结果中。

[0776] 合并结果搜集每一型面的最小厚度并且将它们保存到一个矩阵中,使得显示程序更容易存取信息。

[0777] 合并结果的一个限制在于,来自不同型面的基于型面的结果必须具有相同的间隔分辨率。合并结果将在间隔设定不相同的情况下跳过型面。

[0778] 而且,当通过重复型面直到发现具有该信息的第一有效型面为止来产生结果文件时,确定全局间隔分辨率和限制。即使合并具有较大范围的较新的基于型面的结果,合并结果也将仅基于先前界定的限制而合并。如果用户想要重新创建一个不同的间隔分辨率和不同的数据范围限制,必须首先移除结果文件,使得可以重新确定全局间隔分辨率和限制。在FP6分析步骤内,这要求用户创建一个新作业,使得将没有任何存在的结果文件并且再次重新提交扫描用于分析。

[0779] 显示结果主窗口

[0780] 这是显示结果程序的主GUI。所有其他显示窗口是基于此窗口来产生。用户可以从此窗口调用显示窗口的其余部分,并且用户也可以从此窗口修改TMin并导出数据。

[0781] 它具有一个初始化函数(Initialize)来通过读取结果文件并将数据高速缓冲存储到存储器中来设置数据。它从一个设定文件加载全局设定,该设定文件界定了大部分的显示性质和趋势输出性质。它加载一个分析参数映射文件,使得当程序显示内部分析参数时,参数名称可以相同或类似于在NeoVision™中的分析参数窗口中使用的参数名称。

[0782] 此窗口通过存取用于保存在结果文件中的每一型面的单独结构来显示基于型面的结果。它们是OD强度图、ID强度图以及OD和ID型面。它还显示用于扫描设定的TMin信息和参数值、分析设定以及型面信息。

[0783] 当用户启动例如弹出、概览或3D等子显示窗口时,程序存储来自这些图的句柄(handlePopup、handleOverview和handle3D),使得它可以在终止时关闭所有子窗口。它还使用此句柄列表来将经修改TMin信息发射到子窗口。

[0784] 将一个定制数据指针添加到程序中。所有窗口均使用同一定制函数CursorUpdateText来显示数据指针。

[0785] 在MATLAB™中不存在可分类的“uitable”控件,因此软件必须针对TMin列表手动地重新创建特征。基于用户点击的按钮,设定不同的分类参数值并且调用sortUpdateListGUI和DisplayTMin来执行分类和显示。

[0786] 显示弹出窗口

[0787] 弹出窗口是基于主窗口,并且这是在分析显示程序内可以具有多于1个示例的仅有窗口。

[0788] 此窗口的主要用途是通过仅显示单个图来允许最大屏幕分辨率。用户可以观看在其他显示窗口中所示的任何图的一个较大版本。

[0789] 类似于其他子窗口,可以直接调用弹出窗口,并且可以创建一个独立可执行的程序。

[0790] 显示概览窗口

[0791] 概览窗口是基于主窗口,并且它是一个单元窗口。

[0792] 此窗口的主要用途是提供扫描的一个高级概览。连同扫描的3D视图,它提供扫描的横截面视图以及轴向视图,使得用户可以检验结果。参看3D窗口获得更多细节以及3D视图的描述。

[0793] 类似于弹出窗口和3D窗口,在圆周方向上可以将一个中值滤波器应用于显示数据。这会减少噪声和数据错误,使得用户可以有效地审阅数据。

[0794] 类似于弹出窗口和3D窗口,界定数据取样的四个水平。默认水平是中值,并且它会有最佳细节和性能组合。

[0795] 还在3D视图上绘制横截面图和轴向视图的观看平面以增强数据的视觉表示。

[0796] 类似于其他子窗口,可以直接调用概览窗口,并且可以创建一个独立可执行的程序。

[0797] 显示3D窗口

[0798] 3D窗口是基于主窗口,并且它是一个单元窗口。此窗口的主要用途是提供扫描的3D表示。它含有开发性视图和3D视图。开发性视图基于型面的型面排序而显示数据的所有型面,并且并排显示。3D视图是扫描的3D重构。

[0799] 在MATLABTM绘图中,两个视图均可以显示为“surf”或“mesh”对象。对于“surf”,可以使用颜色来表示馈送器的厚度,或可以单调地绘制表面以审阅表面的细节。

[0800] 类似于弹出窗口和概览窗口,在圆周方向上可以将一个中值滤波器应用于显示数据。这会减少噪声和数据错误,使得用户可以有效地审阅数据。

[0801] 类似于弹出窗口和概览窗口,界定数据取样的四个水平。默认水平是中等,并且它会有最佳细节和性能组合。

[0802] 类似于其他子窗口,可以直接调用概览窗口,并且可以创建一个独立可执行的程序。

[0803] 修改TMin

[0804] 修改TMin的功能性由LoadModifiedTMin、SaveModifiedTMin、DisplayTMin、TMinUitableCellEditCallback和menuui_ExportToFigures_Callback功能来处置。

[0805] LoadModifiedTMin读取MATLABTM数据文件,并且将经修改的TMin信息加载到程序中。

[0806] SaveModifiedTMin将经修改的TMin信息写入到数据文件中。

[0807] DisplayTMin将基于分类模式来重新创建TMin列表并且忽略列表,并在主窗口上显示TMin列表。

[0808] 当用户通过选择忽略复选框来从列表移除或重新添加TMin而修改局部TMin列表时,调用TMinUitableCellEditCallback。此功能将更新TMin列表的内部定义。应注意,当用户从列表移除TMin时,它从显示移除扫描的型面,而不仅是TMin定义。型面移除将影响显示和导出结果,因为将省略那些型面。

[0809] 当用户从菜单选择“将经修改的TMin导出到其他窗口(多个)”选项时调用menuui_

ExportToFigures_Callback。将把经修改的TMin列表发送到所有子窗口,并且将更新这些窗口上的数据。这是两部分过程,其中用户将需要刷新单独的子窗口以显示经更新的TMin信息。

[0810] 导出3D点云

[0811] 导出3D点云会导出OD和ID表面作为点云值。

[0812] 输出文件名将由用户选择,并且OD和ID表面将以文件扩展名.xyz被保存到单独的输出文件中,该扩展名是SolidWorks™的一个经界定的点云文件扩展名。

[0813] 输出文件格式每条线含有一个简单点定义,并且将点界定为“x y z”,其中x y z是点的坐标。

[0814] 导出趋势结果

[0815] 导出趋势结果将扫描的趋势信息导出到一个Excel™文件。

[0816] 将删除任何现存的导出文件。

[0817] 趋势信息含有通道名称、全局TMin列表和TMin趋势。

[0818] 全局TMin列表含有以下字段:

[0819] 1.型面编号

[0820] 2.TMin

[0821] 3.圆周位置 (mm)

[0822] 4.OD轴向位置 (以mm计的X)

[0823] 5.OD深度 (以mm计的Z)

[0824] 6.ID轴向位置 (以mm计的X)

[0825] 7.ID深度 (以mm计的z)

[0826] TMin趋势含有来自扫描的相等间隔的厚度值。每一条线表示具有以下字段的一个扫描型面:

[0827] 1.型面编号

[0828] 2.圆周位置 (mm)

[0829] 3.轴向位置 (mm)

[0830] 轴向位置在整个型面上相等地间隔。当不可得到一个特定取样点的厚度时,将它标记为“NaN”。当仅可使用内插值来得到一个特定取样点的厚度时,将它标记为“IV”。如果基于经修改的TMin选择而忽略一个特定取样点,将它标记为“Ign”。当前,所忽略的选择仅适用于型面,因此将整个行标记为“Ign”。

[0831] 将把所有趋势信息保存到Excel™文件中的一个新标签中,并且标签名称是通道名称。

[0832] 表A1-预处理功能

[0833]

功能名称	输入数据	输入数据类型	输入数据描述	输出数据	输出数据类型	输出描述
filtfilthd	1. 三维矩阵 (实)。 2. 数字软件滤波器。	1. 单精度 2. 滤波器对象	1. 全矩阵 RF 数据集。 2. 界定数字滤波器的频率衰减性质的滤波器对象。	三维矩阵。	单精度	经滤波的全矩阵 RF 数据集。
ndimhilbert	三维矩阵。	单精度	全矩阵 RF 数据集。	三维矩阵。	单精度 (复合)	全矩阵分析时域数据集。

[0834] 表A2-0D成像参数

变量	类	描述
块大小 (blockSize)	单精度	界定在 SFM 成像中使用的物理孔径的大小的一个标量。此标量的范围可以是 1 到阵列的大小。
方向性截止 (directivityCutoff)	单精度	0 与 1 (包含性) 之间的一个实数, 用于确定所考虑强度图坐标 (相对于 SFM 算法) 以反射去往/来自单独阵列元件的超声波。如果从一个元件到强度图中的一个坐标的所计算方向性低于 directivityCutoff, 在程序上将该元件视为不反射去往/来自所讨论坐标的声音。为了计算一个元件到一个指定位置的方向性, 使用近似方向性的一个公式 (参看理论手册[R-2])。
x 最小 (xMin)	单精度	界定强度图坐标的 x 分量的下限 (以米计) 的一个实数。xMin 小于 xMax。强度图坐标的 X 分量的范围将是 xMin 到 xMax。
x 最大 (xMax)	单精度	界定强度图坐标的 x 分量的上限 (以米计) 的一个实数。xMax 大于 xMin。xMin 小于 xMax。强度图坐标的 X 分量的范围将是 xMin 到 xMax。
x 间隔 (xSpacing)	单精度	长度 n 的一个向量, 指定将迭代地执行强度图坐标处的强度计算的 x 间隔。执行强度计算的总共 n 次迭代 (假定强度计算不需要进一步分解来满足存储器要求)。朝向向量的较小索引指定较粗略的间隔, 而朝向向量的较精细索引指定较精细的间隔。另外, 对于 1 与 n-1 之间的每个 i, dx(i+1)/dx(i) 是一个正整数。
z 最小 (zMin)	单精度	界定强度图坐标的 z 分量的下限 (以米计) 的一个实数。zMin 大于或等于零。强度图坐标的 z 分量的范围将是 x 到 x+高度, 其中 x 是 zMin 和对应于 lookupTable.Offset 减 minDistanceBuffer 中的最小延迟的距离中的最大值。
z 间隔 (zSpacing)	单精度	长度 n 的一个向量, 指定将迭代地执行强度图坐标处的强度计算的 z 间隔。执行强度计算的总共 n 次迭代 (假定强度计算不需要进一步分解来满足存储器要求)。朝向向量的较小索引指定较粗略的间隔, 而朝向向量的较精细索引指定较精细的间隔。另外, 对于 1 与 n-1 之间的每个 i, dz(i+1)/dz(i) 是一个正整数。
高度 (height)	单精度	表示一个距离 (以米计) 的一个实数。
最小距离缓冲器 (minDistanceBuffer)	单精度	表示一个距离 (以米计) 的一个实数。强度图坐标的 z 分量的范围将是 x 到 x+高度, 其中 x 是 zMin 和对应于 lookupTable.Offset 减 minDistanceBuffer 中的最小延迟的距离中的最大值。
缩放百分比 (zoomPercentage)	单精度	长度 n-1 的一个向量, 隐式地指定强度图中的坐标以聚焦于坐标强度的迭代计算。对于 1 与 n-1 之间的 i, zoomPercentage(i) 含有 0 与 1 (包含性) 之间的一个实数。在坐标强度计算的第 i+1 迭代上, 其中 lmax 是在强度图中计算的最大强度, 聚焦所围绕的坐标是具有大于 zoomPercentage(i) * lmax 的强度的坐标。

[0835]

[0836]

运行归一化 (runNorm)	布尔	这确定是否将对输入数据运行归一化。如果此值为假, 那么 normThresh、normWidth 和 normRunUp 的值是不重要的, 因为将不使用它们。
归一化阈值 (normThresh)	单精度	大于 0 并且小于或等于 100 的一个实数。 此数字指定在 A 扫描数据中归一化波包的截止包络高度。在我们使“y”为所有 FMC 数据的最大包络值的情况下, 具有大于或等于 threshold*y/100 的峰值高度的波包信息将被归一化。A 扫描中的所有其他信息将设定为 0。 回想希尔伯特数据的包络仅是它的量值。
归一化宽度 (normWidth)	单精度	大于 1 并且小于或等于 FMC 数据中含有的 A 扫描的任何非零长度的一个正标量。 此数字指定 A 扫描中的相异波包之间的距离 (以数字化点计)。如果大于阈值变量的包络峰之间的距离超过变量宽度, 那么包络峰被视为属于相异波包。否则, 包络峰被视为属于相同波包。
归一化运行 (normRunUp)	单精度	大于 1 并且小于或等于 FMC 数据中含有的 A 扫描的任何非零长度的一个正标量。 此数字指定在具有大于阈值变量的值的包络峰之前的 A 扫描值的数目 (以数字化点计), 从而连同包络峰本身一起归一化。
光栅阈值 (gratingThresh old)	单精度	大于或等于 0 并且小于或等于 100 的一个实数。 此值用于帮助减少最终强度图中存在的光栅。它通过从每一孔径移除低强度贡献而起作用。在每一孔径中, 如下应用此阈值。该阈值中的最高强度位置是测量 100% 的标准。强度图中的每个其他位置必须处于此值的至少 gratingThreshold 百分比, 以便包含在最终总和中, 否则将它清零。
总存储器 (totalMemory)	单精度	此值是可用于此模式的存储器量, 以字节计。它用于在必要情况下将某些值的计算分段。这允许程序配合在存储器约束内。如果空间允许在不分段的情况下进行计算, 没有计算分段发生。
温度超驰 (tempOverride)	布尔	此值确定用户输入温度值是否将超驰存储在切片数据文件中的值。如果此值为假, tempValue 的值是不重要的, 因为将不使用它。
温度值 (tempValue)	单精度	这是温度的用户输入值。如果 tempOverride 值为真, 此值将用于计算中的温度。否则将忽略此值。

[0837] 表A3-SFM功能

[0838]

功能名称	输入数据/输入数据类型	输入数据描述	输出数据/输出数据类型	输出描述
归一化 FMClocal3 (normalizeFMClocal3)	1. 2D 矩阵/单精度(复数) 2. 标量/单精度 3. 正整数/单精度 4. 正整数/单精度	1. 经滤波和希尔伯特FMC数据集 2. 用于归一化的截止阈值。 3. 波包峰之间的最小距离(以样本数计)超过截止阈值,使得将波包视为相异的。 4. 在检测到的超过截止阈值的峰之前用于归一化波包信息的距离(以样本数计)	1. 2D 矩阵/单精度(复数)	1. 具有经归一化峰的FMC数据集。将所有未归一化数据设定为零。
准备 od 的原始数据 (preparerawdataforod)	1. 2D 矩阵/单精度(复数) 2. 正整数/单精度 3. 正整数/单精度 4. 2D 矩阵/单精度	1. 经滤波并且可能经归一化(如果用户已经设定分析以运行归一化)FMC数据集。 2. 探头阵列元件的数目 3. 孔径的大小 4. 2D 矩阵,对于每一发射器/接收器对,它的条目指示FMC数据集中的存储 A 扫描的列。发射器和接收器分别对应于该矩阵的行和列。	1. 2D 矩阵/单精度(复数)	1. FMC数据集经排序以用于 sfmzoom2 算法中的正确的内插。属于特定发射器/接收器对的 A 扫描预期处于FMC数据集中的特定列。
预先计算阵列坐标 (pre_computearraycoords)	N/A	N/A	1. 列矩阵/单精度	1. 列矩阵中的条目 x 是探头阵列元件 x 的 x 分量位置。

[0839]

o_ 计算初始坐标 (o_computeinitcoords3)	3 2D 矩阵/双精度	2D 矩阵, 对于发射器/接收器对, 它的条目对应于超声数据的发射与记录之间的延迟 (以样本数计)。每一条目的行和列分别对应于它的发射器和接收器对。	1. 列矩阵/单精度 2. 列矩阵/单精度 3. 列矩阵/单精度	1. 用于第一遍强度图计算的 x 坐标。 2. 用于第一遍强度图计算的 z 坐标。 3. 用于第一遍强度图计算的型面编号。对于每一(x,z)对, 型面编号指示此对属于哪一个 FMC 数据集。注意: 此变量阵列用于属于不同数据集的 OD 强度图的并行处理。如果每次仅处理一个数据集, 将型面阵列中的每个条目设定为 1。
o_ 计算当前精细坐标 (o_computecurrfinecoords4)	4 1. 列矩阵/单精度 2. 列矩阵/单精度 3. 列矩阵/单精度 4. 标量/双精度	1. 所计算强度图坐标的 x 坐标。 2. 所计算强度图坐标的 z 坐标。 3. 所计算强度图坐标的型面编号。 4. 循环迭代	1. 列矩阵/单精度 2. 列矩阵/单精度 列矩阵/单精度	1. 超过指定强度截止的强度图坐标的相邻者的 x 坐标。 2. 超过指定强度截止的强度图坐标的相邻者的 z 坐标。 3. 超过指定强度截止的强度图坐标的相邻者的型面编号。

[0840]

o 当前计算初始距离和可见性 (o_currcomputeindicesandvis ibility)	1. 列 矩阵/ 单 精 度 2. 列 矩阵/ 单 精 度 3. 列 矩阵/ 单 精 度 4. 列 矩阵/ 单 精 度	1. 探头阵列 x 坐 标 2. 用于即将进行 的强度图计算的 x 坐标。 3. 用于即将进行 的强度图计算的 z 坐标。 4. 用于即将进行 的强度图计算的 坐标型面。	1. 2D 矩阵/ 单 精 度 2. 2D 矩阵/ 逻辑	1. 矩阵条目产生针对 一个给定探头阵列元 件和强度图坐标的行 进时间(以样本数计)。 矩阵的行对应于(x,z) 坐标索引,并且矩阵的 列对应于探头阵列元 件索引。 2. 如果一个强度图坐 标落在指定用户界定 的元件方向性内,矩阵 条目产生“真”,否则 为“假”。矩阵的行对 应于(x,z)坐标索引,并 且矩阵的列对应于探 头阵列元件索引。
--	--	---	--	---

[0841]

Sfm 缩放 2 (Sfmzoom2)	1. 3D 矩阵/单精度(复数) 2. 1D 列 矩阵/单精度 3. 2D 矩阵/单精度 4. 2D 矩阵/逻辑 5. 3D 矩阵/单精度 6. 标量/单精度	1. 经滤波和希尔伯特 FMC 数据。 2. 列矩阵指示输入项 2 和 3 中的每一行索引的型面编号。 3. 矩阵条目产生针对一个给定探头阵列元件和强度图坐标的行进时间(以样本数计)。矩阵的行对应于(x,z)坐标索引,并且矩阵的列对应于探头阵列元件索引。 4. 如果一个强度图坐标落在指定用户界定的元件方向性内,矩阵条目产生“真”,否则为“假”。矩阵的行对应于(x,z)坐标索引,并且矩阵的列对应于探头阵列元件索引。 5. 矩阵的条目[i,j,k]给出来自元件 j 的脉冲发射与元件 k 的接收器接收之间的样本。 6. 来自每一孔径的值在添加到主强度图之前应当通过的光栅阈值	1. 1D 矩阵/单精度	1. 存储在与输入项目 2 相同的索引的索引中的坐标的所计算强度
o_ 计算截止上方的坐标 (o_computecoordinatesabovecutoff)	1. 1D 列 矩阵/单精度 2. 1D 列 矩阵/单精度 3. 1D	1. 在强度图计算中使用的 x 坐标 2. 在强度图计算中使用的 z 坐标 3. 在即将进行的强度图计算中使用的坐标型面。 4. 针对每一坐标	1. 1D 列 矩阵/单精度 2. 1D 列 矩阵/单精度 3. 1D	1. 新界定的 x 坐标。 2. 新界定的 z 坐标。 3. 给定的新界定的坐标的型面。

[0842]

	列 矩 /型面组合计算的 阵 /单 强度 精度 5. 列矩阵中的条 4. 1D 目 i 给出型面 i 的 列 矩 强度截止, 使得 阵 /单 强度超过条目 i 精度 中的强度的坐标 5. 1D 周围的新坐标将 列 矩 具有相应的所计 阵 算强度。	列 矩 阵 /单 精度	
--	--	-------------------	--

[0843] 表A4-边界辨识参数

[0844]

变量	类	描述
Σ 度量 (sigmaMetres)	双精度	一个标量, 界定在 Canny 边缘检测中实施的卷积窗口的大小。
阈 值 参 数 (thresholdParams)	双精度	一个二元素向量, 其中 thresholdParams(1)界定 Canny 边缘检测中的低截止阈值, thresholdParams(2)界定高截止阈值。
SEDimsZX	双精度	一个二元素向量 (仅含有正整数), 界定用于膨胀边缘检测边界的矩形结构化元件参数。SEDimsZX(1)含有矩形结构化元件高度 (z-方向), 而 DEDimsZX(2)含有矩形结构化元件宽度 (x-方向)。
最 大 SEDims (maxSEDims)	双精度	一个二元素向量 (仅含有正整数), 界定用于膨胀在输入强度图的垂直切片中发现的最大强度的像素的矩形结构化元件参数。maxSEDims (1)含有矩形结构化元件高度 (z-方向), 而 maxSEDims (2)含有矩形结构化元件宽度 (x-方向)。
边 缘 最 大 距 离 (cdgcMaxDistance)	双精度	一个标量, 界定 Canny 边缘检测点与强度图中的最大强度点 (z 方向上) 的点之间的最大可允许距离 (z 方向上)。
长度修整 (lengthTrim)	双精度	一个标量, 界定边缘检测到的连接分量末端的长度 (x 方向上) 以进行修整并用在与经修整边缘相同的垂直切片中发现的经平移最大强度坐标进行更换。
最 小 可 接 受 长 度 (minAcceptableLength)	双精度	一个标量, 界定所计算边界的最小可接受长度 (x 方向上)。如果所计算边界的长度小于最小可接受长度, 不返回边界。
最 大 非 连 接 片 (maxDisjointPieces)	双精度	一个标量, 界定所计算边界中的水平连接分量的最大可接受数目。如果水平连接的分量的数目超过 maxDisjointPieces, 不返回边界。

[0845] 表A5-边界辨识功能

[0846]

功能名称	输入数据/输入数据类	输入数据描述	输出数据/输出数据类	输出描述
使矩阵非稀疏 (<code>Makematrixoutofsparse</code>)	1. 列矩阵/单精度 2. 列矩阵/单精度 3. 列矩阵/单精度 4. 标量变量/单精度 5. 标量变量/单精度	项目 1-2 是强度图的(x-z)坐标。项目 3 是每一(x,z)坐标的所存储强度。因此,项目 1-3 具有相等的长度。项目 4-5 分别是 x 与 z 坐标之间的最小间隔。	二维矩阵/双精度	含有强度值的矩阵。将强度值及其位置存储在项目 1-3 中。如果无强度可以映射到一个矩阵条目,将 NaN 存储在该条目中。
填充 nan (<code>fillnan</code>)	二维矩阵/双精度	含有所映射稀疏坐标三元组(x,z,i)的强度值的矩阵。	二维矩阵/双精度	输出矩阵等同于输入矩阵,其中稀疏 NaN 条目填充有相邻条目强度的强度值。NaN 条目的较大块被填充值 0。
前缘 (<code>leadingedge</code>)	1. 二维矩阵/双精度 2. 标量变量/双精度 3. 标量变量/双精度 4. 标量变量/双精度 5. 标量变量/双精度	项目 1 含有呈 2D 矩阵格式的强度图。 项目 2 和 3 分别含有 Canny 边缘检测低和高阈值。 项目 4 和 5 分别含有 Canny 边缘检测水平和垂直 Σ 值。	1. 二维 al 矩阵/逻辑 2. 二维 al 矩阵/双精度	1. 含有输入项目 1 的所检测边缘的二进制图像。 2. 输入项目 1 的经平滑版本。
计算距离内的边缘下方的点 (<code>compute pointsbelow edge with in distance</code>)	1. 行矩阵/单精度 2. 行矩阵/单精度 3. 行矩阵/单精度 4. 行矩阵/单精度 5. 标量变量/双精度	项目 1 和 2(分别)含有从 <code>leading_edge</code> 功能输出的经平滑图的垂直切片的最大强度像素的 x 和 z 坐标。 项目 3 和 4(分别)含有从 <code>leading_edge</code> 功能输出的 x 和 z 坐标。	1. 行矩阵/单精度 2. 行矩阵/双精度	项目 1 和 2 分别含有从 <code>leading_edge</code> 功能输出的边缘正下方(具有相等 x 值但更大 z 值)的最大强度像素的 x 和 z 坐标。
计算最大线上方的点	1. 行矩阵/单精度 2. 行矩阵/单精度	项目 1 和 2 分别含有从 <code>leading_edge</code> 功能输出的边缘	1. 行矩阵/单精度 2. 行矩阵/双精度	项目 1 和 2 分别是高于输入项目 3 和 4(具有相等 x 值但

[0847]

(compute pointsabove maxline)	精度 3. 行矩阵/单 精度 4. 行矩阵/双 精度	的 x 和 z 坐标。 项目 3 和 4 分别含 有 从 computepointsbelo wedgewithindistan ce 功能输出的最大 强度像素的 x 和 z 坐标。	精度	更小 z 值) 的从 leading edge 功能输 出的边缘的 x 和 z 坐标。
计算距离 内的 点 (Compute pointswithi ndistance)	1. 行矩阵/单 精度 2. 行矩阵/单 精度 3. 行矩阵/单 精度 4. 行矩阵/双 精度 5. 标量变量/ 双精度	项目 1 和 2 分别含 有 从 computepointsabo vemaxline 功能输 出的 x 和 z 边缘坐 标。 项目 3 和 4 分别含 有 从 computepointsbelo wedgewithindistan ce 功能输出的最大 强度像素的 x 和 z 坐标。 项目 5 是指定输入 坐标 (1 和 2) 与 输入坐标 (3 和 4) 之间的最大距离 的距离 (以米计)	1. 行矩阵/单 精度 2. 行矩阵/双 精度	项目 1 和 2 分别是 从 computepointsbelo wedgewithindistance 功能输出的最大强 度坐标的垂直距离 内的边缘的 x 和 z 坐标

[0848]

坐标 2 矩阵 (coords2 matrix)	1. 二元素向量/双精度 2. 二元素向量/单精度 3. 二元素向量/单精度 4. 行向量/单精度 5. 行向量/双精度	项目 1 含有从 makematrixoutofs parse 功能输出的强度图矩阵的高度(第一元素)和宽度(第二元素) 项目 2(相应的 3)含有强度图的在它的的第一和第二元素中的较低和较高 x 轴(相应的 z 轴)限制。 项目 4(相应的 5)含有从功能输出的边缘坐标的 x 轴(相应的 z 轴)值。	二维矩阵/逻辑	从输入项目 4 和 5 中的边缘位置映射的条目中含有真的二进制图像,在所有其他条目中含有假。
imdilate	1. 二维矩阵/逻辑 2. 矩形结构化元件/结构化元件	1. 从功能 coords2matrix 输出的二进制图像 2. 在输入项目 1 的形态膨胀操作中使用的矩形结构化元件	二维矩阵/逻辑	输入二维二进制矩阵后膨胀操作
bwlabeln	二维矩阵/逻辑	从功能 imdilate 输出的二进制图像	二维矩阵/双精度	具有设定为 0 的假条目以及通过正整数 1,2,3,...列出的单独连接的分量的输入矩阵

[0849]

bwmorph	1. 二维矩阵/逻辑 2. 行向量/串 3. 标量变量/双精度	1. 从功能 imdilate 输出的二进制图像。 2. 界定形态操作的串。串是作为常数“thin”的输入。 3. 界定细化操作的数目以对输入二进制图像(输入项目 1)执行的标量。此标量设定为 Inf, 使得细化操作将持续连续地应用, 直到它们不再有效。	二维矩阵/逻辑	输入二进制图像经细化。
修整同一线上的分量 (trimcomponsameline)	二维矩阵/逻辑	来自 bwmorph 的二进制图像输出 I。	二维矩阵/逻辑	输入二进制图像的连接分量经修整, 使得在与较大的连接分量相同的垂直切片上的像素的较小的连接分量将这些像素设定为假。
移除线之间的所有连接 (removeallconnectionsbetweenlines)	二维矩阵/逻辑	从 trimcomponsameline 输出的二进制图像	二维矩阵/逻辑	移除了线之间的所有结点的输入二进制图像。
移除底部分量 (removebottomcomponent)	二维矩阵/逻辑	从 removeallconnectionsbetweenlines 输出的二进制图像	二维矩阵/逻辑	输入二进制图像的连接分量经修整, 使得仅相对于矩阵中的任何列的这些分量的顶部(最低相应 z 值)像素得到保留。
移除相同垂直线分量 (removecommonvertical)	二维矩阵/逻辑	从 removebottomcomponent 输出的二进制图像	二维矩阵/逻辑	输入二进制图像的连接分量被完全移除, 使得具有在与较大的连接分量相同的垂直切片上的像素的较小的连接分

[0850]

				量被设定为假。
替换 cigartips (replacecigartips)	1. 二维矩阵/逻辑 2. 二维矩阵/逻辑 3. 标量/双精度 4. 矩形结构化元件/结构化元件	1. 含有从属于一个特定标签的功能 bwlabeledn 输出的边缘的从功能 removecomponents vertline 输出的二进制图像 2. 具有从功能 compute points below wedge with distance 输出的最大强度坐标的二进制图像 3. 用于修整输入项目 1 的水平末端的所计算像素数目。 4. 在输入项目 2 的形态膨胀操作中使用的矩形结构化元件	二维矩阵/逻辑	含有输入项目 1 的二进制图像, 其中水平连接的分量的末端被输入项目 2 中的垂直平移点替换。
具有 nan 的矩阵 2 坐标 (matrix2coordinates with nan)	1. 二维矩阵/逻辑 2. 二元素向量/单精度 3. 二元素向量/单精度	项目 1 含有从功能 replacecigartips 输出的一个二进制图像 项目 2 (相应的 3) 含有强度图的在它的的第一和第二元素中的较低和较高 x 轴 (相应的 z 轴) 限制。	1. 列矩阵/单精度 2. 列矩阵/单精度	项目 1 和 2 分别含有从功能 replacecigartips 输出的所计算边缘二进制图像的 x 轴值和 z 轴值

[0851]

仅内插矩阵 2 坐标 (Matrix2coordsinterp only)	1. 二维矩阵/逻辑 2. 二元素向量/单精度 3. 二元素向量/单精度	项目 1 含有从功能 replacecigartps 输出的一个二进制图像 项目 2 (相应的 3) 含有强度图的在它的的第一和第二元素中的较低和较高 x 轴 (相应的 z 轴) 限制。	1. 列矩阵/单精度 2. 列矩阵/单精度	项目 1 和 2 分别含有从 功 能 replacecigartps 输出的所计算边缘二进制的图像的空区的线性内插坐标的 x 轴值和 z 轴值
--	--	--	--------------------------	---

[0852] 表A6-边界界定参数

[0853]

变量	类	描述
宽度 (width)	单精度	这确定在 MedianFilter 功能中使用的中值滤波器的宽度。宽度确定了当选择一个中值来替换一个给定数据点时使用的数据点的数目。
平滑宽度 (smoothWidth)	单精度	这确定了在 PerformSmoothing 功能中应用的 Savitzky-Golay 滤波器的宽度。
平滑阶 (smoothOrder)	单精度	这确定了在 PerformSmoothing 功能中应用的 Savitzky-Golay 滤波器中用于近似表面的多项式的阶。

[0854] 表A7-边界界定功能

[0855]

功能名称	输入数据/输入数据类	输入数据描述	输出数据/输出数据类	输出描述
中 值 滤 波 器 (MedianFilter)	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度 3. 正整数/单精度	1. 待滤波的表面的 x 分量 2. 待滤波的表面的 y/z 分量 3. 将使用的中值滤波器的宽度	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度	1. 经滤波表面的 x 分量 2. 经滤波表面的 y/z 分量
执 行 平 滑 (PerformSmoothing)	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度 3. 正整数/单精度 4. 正整数/单精度	1. 待滤波的表面的 x 分量 2. 待滤波的表面的 y/z 分量 3. 将使用的平滑窗口的宽度 4. 在平滑近似中使用的多项式的阶	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度	1. 经平滑表面的 x 分量 2. 经平滑表面的 y/z 分量

[0856] 表A8-IFM 0D边界准备参数

[0857]

变量	类	描述
宽度 (width)	单精度	这确定在 MedianFilter 功能中使用の中值滤波器的宽度。宽度确定了当选择一个中值来替换一个给定数据点时使用的数据点的数目。
平滑宽度 (smoothWidth)	单精度	这确定了在 PerformSmoothing 功能中应用的 Savitzky-Golay 滤波器的宽度。
平滑阶 (smoothOrder)	单精度	这确定了在 PerformSmoothing 功能中应用的 Savitzky-Golay 滤波器中用于近似表面的多项式的阶。
表面取样间隔 (surfaceSamplingInterval)	单精度	此数字是一个正整数。数字 1 将指示应当使用给定 OD 表面上的每个点。数字 2 将指示使用每隔一个点，数字 3 将指示使用每第三个点，等等。

[0858] 表A9-IFM OD边界准备功能

[0859]

功能名称	输入数据/输入数据类	输入数据描述	输出数据/输出数据类	输出描述
中值滤波器 (MedianFilter)	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度	1. 待滤波的表面的 x 分量 2. 待滤波的表面的 y/z 分量	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度	1. 经滤波表面的 x 分量 2. 经滤波表面的 y/z 分量

[0860]

	精度 3. 正整数/单精度	y/z 分量 将使用的中值滤波器的宽度	精度	的 y/z 分量
执行平滑 (PerformSmoothing)	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度 3. 正整数/单精度 4. 正整数/单精度	1. 待滤波的表面的 x 分量 2. 待滤波的表面的 y/z 分量 3. 将使用的平滑窗口的宽度 4. 在平滑近似中使用的多项式的阶	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度	1. 经平滑表面的 x 分量 2. 经平滑表面的 y/z 分量

[0861] 表A10-ID成像参数

[0862]

变量	类	描述
方向性截止 (directivityCutoff)	单精度	0 与 1 (包含性) 之间的一个实数, 用于确定所考虑 OD 边界坐标 (相对于 SFM 算法) 以折射来自单独阵列元件的超声波。 如果从一个元件到一个 OD 边界坐标的所计算方向性低于 directivityCutoff, 那么在程序上不考虑该 OD 边界坐标来折射来自该元件的声音。为了计算一个元件到一个指定位置的方向性, 使用近似方向性的一个公式 (参看理论手册[R-1])。
介质 2 的速度 (speedOfMedium2)	单精度	一个实数, 界定声音在 OD 与 ID 表面之间发现的第二检验材料中行进的速度。
x 最小 (xMin)	单精度	一个实数, 界定强度图坐标的 x 分量的绝对下限 (以毫米计)。xMin 小于 xMax。 在 y 是 OD 边界的最小 x 分量的情况下, 强度图坐标的 x 分量的实际下限是以下两个标量中的最大者: xMin 和 y-horzBuffer。
x 最大 (xMax)	单精度	一个实数, 界定强度图坐标的 x 分量的绝对上限 (以毫米计)。xMin 小于 xMax。 在 y' 是 OD 边界的最大 x 分量的情况下, 强度图坐标的 x 分量的实际上限是以下两个标量中的最小者: xMax 和 y'+horzBuffer。
水平缓冲器 (horzBuffer)	单精度	一个实数, 界定 IFM 强度图的 x 分量坐标。 在 y 是 OD 边界的最小 x 分量的情况下, 强度图坐标的 x 分量的实际下限是以下两个标量中的最大者: xMin 和 y-horzBuffer。 在 y' 是 OD 边界的最大 x 分量的情况下, 强度图坐标的 x 分量的实际上限是以下两个标量中的最小者: xMax 和 y'+horzBuffer。
x 间隔 (xSpacing)	单精度	长度 n 的一个向量, 指定将迭代地执行强度图坐标处的强度计算的 x 间隔。执行强度计算的总共 n 次迭代 (假定强度计算不需要进一步分解来满足存储器要求)。 朝向向量的较小索引指定较粗略的间隔, 而朝向向量的较精细索引指定较精细的间隔。另外, 对于 1 与 n-1 之间的每个 i, $dx(i+1)/dx(i)$ 是一个正整数。
z 间隔 (zSpacing)	单精度	长度 n 的一个向量, 指定将迭代地执行强度图坐标处的强度计算的 z 间隔。执行强度计算的总共 n 次迭代 (假定强度计算不需要进一步划分以满足存储器要求)。 朝向向量的较小索引指定较粗略的间隔, 而朝向向量的较精细索引指定较精细的间隔。另外, 对于 1 与 n-1 之间的每个 i, $dz(i+1)/dz(i)$ 是一个正整数。

[0863]

第一对角索引 (firstDiagIndex)	单精度	大于 0 并且小于 lastdiagindex 的一个正标量。 此数字指示应当用于 IFM 强度图计算的探头阵列中的第一元素。
最后对角索引 (lastDiagIndex)	单精度	大于 firstdiagindex 并且小于探头阵列中的元件数目的一个正标量。此数字指示应当用于 IFM 强度图计算的探头阵列中的最后元素。
缩放百分比 (zoomPercentages)	单精度	长度 n-1 的一个向量, 隐式地指定强度图中的坐标以聚焦于坐标强度的迭代计算。 对于 1 与 n-1 之间的 i, zoomPercentage(i) 含有 0 与 1 (包含性) 之间的一个实数。在坐标强度计算的第 i+1 迭代上, 其中 Imax 是在强度图中计算的最大强度, 聚焦所围绕的坐标是具有大于 zoomPercentage(i) * Imax 的强度的坐标。
最大发射器接收器差 (maxTransmitterReceiverDifference)	单精度	一个正标量, 界定用于 IFM 强度图计算的组合中所使用的一个发射器与接收器之间的最大绝对差。
临界点 (criticalPoints)	字符	以下三个串中的一者: “mins”、“maxes”或“minsandmaxes”。 如果 criticalPoints 等于 “mins” (相应地, “maxes”), 那么仅将行进路径时间的局部最小值 (相应地, 最大值) 视为经折射超声波的真实行进路径。如果 criticalPoints 等于 “minsandmaxes”, 那么将行进路径时间的局部最小值和局部最大值均视为经折射超声波的真实行进路径。
进行归一化 (doNormalization)	逻辑	如果 doNormalization 设定为真, 那么执行用于 IFM 计算的所有 A 扫描的归一化。否则, 如果 doNormalization 设定为假, 不计算归一化。
阈值 (threshold)	单精度	大于 0 并且小于或等于 100 的一个实数。 此数字指定在 A 扫描数据中归一化波包的截止包络高度。 在我们使 ‘y’ 为所有 FMC 数据的最大包络值的情况下, 具有大于或等于 threshold*y/100 的峰值高度的波包信息将被归一化。A 扫描中的所有其他信息将设定为 0。 回想希尔伯特数据的包络仅是它的量值。
宽度 (width)	单精度	大于 1 并且小于或等于 FMC 数据中含有的 A 扫描的任何非零长度的一个正标量。 此数字指定 A 扫描中的相异波包之间的距离 (以数字化点计)。如果大于阈值变量的包络峰之间的距离超过变量宽度, 那么包络峰被视为属于相异波包。否则, 包络峰被视为属于相同波包。
运行 (Runup)	单精度	大于 1 并且小于或等于 FMC 数据中含有的 A 扫描的任何非零长度的一个正标量。 此数字指定在具有大于阈值变量的值的包络峰之前的 A 扫描值的数目 (以数字化点计), 从而连同包络峰本身一起归一化。

[0864] 表A11-ID成像功能

[0865]

功能名称	输入数据/输入数据类	输入数据描述	输出数据/输出数据类	输出描述
O_计算表面方向性因数 (O_computesurfa cedirectivityfactor)	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度 3. 1D 列矩阵/单精度 4. 标量/单精度	1. 探头阵列元件的 x 坐标 2. 表面的 x 坐标 3. 表面的 z 坐标 4. 水中的激发脉冲的波长。	2D 矩阵/逻辑	如果从元素 j 到具有索引 k 的表面坐标的方向性大于或等于全局界定的 'surfaceDirectivityCut off', 条目 (j,k) 含有“真”。否则它含有“假”。
O_计算表面探头阵列时间 (O_computesurfa ceprobearraytimes)	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度 3. 1D 列矩阵/单精度 4. 标量/单精度	1. 表面的 x 坐标 2. 表面的 z 坐标 3. 探头阵列元件的 x 坐标 4. 声音在水中的速度	2D 矩阵/单精度	条目 (j,k) 含有一个声音脉冲从探头阵列中的元素 k 行进到具有索引 j 的表面坐标所需的时间。
O_计算 id 坐标 (O_computeidco ordinates)	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度	1. 表面坐标的 x 分量。 2. 表面坐标的 z 分量。	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度	1. 初始强度计算的坐标的 x 分量。 2. 初始强度计算的坐标的 z 分量。
O_计算当前精细坐标 4_id (O_computecurrfin ecoords4_id)	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度 3. 1D 列矩阵/单精度 4. 1D 列矩阵/单精度 5. 正整数/双精度	1. 先前循环迭代的强度计算的坐标的 x 分量。 2. 先前循环迭代的强度计算的坐标的 z 分量。 3. 表面坐标的 x 分量。 4. 表面坐标的 z 分量。 5. 强度计算循环的迭代。	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度	1. 超过指定强度截止的强度图坐标的相邻者的 x 坐标。 2. 超过指定强度截止的强度图坐标的相邻者的 z 坐标。

[0866]

O_移除边界 3 外的 id 坐标 (0_removeidcoordinates3)	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度 1D 列矩阵/单精度 4. 1D 列矩阵/单精度	1. 当前循环迭代的强度计算的候选坐标的 x 分量。 2. 当前循环迭代的强度计算的候选坐标的 z 分量。 3. 表面坐标的 x 分量。 4. 表面坐标的 z 分量。	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度	1. 经界定强度图边界内的当前循环迭代的强度计算的坐标的 x 分量。 2. 经界定强度图边界内的当前循环迭代的强度计算的坐标的 z 分量。
o_从表面 10 计算坐标可见性 (O_computccoordvisibilityfromsurface10)	1. 1D 列矩阵/单精度 1D 列矩阵/单精度 3. 1D 列矩阵/单精度 4. 1D 列矩阵/单精度	1. 当前循环迭代的强度计算的坐标的 x 分量。 2. 当前循环迭代的强度计算的坐标的 z 分量。 3. 表面坐标的 x 分量。 4. 表面坐标的 z 分量。	1. 1D 列矩阵/单精度 2. 1D 列矩阵/单精度 3. 2D 矩阵/逻辑	1. 当前循环迭代的强度计算的坐标的经分类 x 分量。 2. 当前循环迭代的强度计算的坐标的经分类 z 分量。 3. 如果存在从表面坐标 k 到强度图坐标 j 的一条直线, 该直线不与输入表面相交 (除了在坐标 j 处), 条目 (j,k) 为 “真”。否则条目 (j,k) 为 “假”。

[0867]

O_计算表面坐标 时 间 (O_computesurfa cccoordtimes)	1. 1D 列矩阵/单 精度 2. 1D 列矩阵/单 精度 3. 1D 列矩阵/单 精度 4. 1D 列矩阵/单 精度	1. 当前循环迭代的 强度计算的坐标的 x 分量。 2. 当前循环迭代的 强度计算的坐标的 z 分量。 3. 表面坐标的 x 分 量。 4. 表面坐标的 z 分 量。	1. 2D 矩阵/单精 度 (复数)	1. 条目(j,k)为声音在 水中从元素 k 到具有 索引 j 的表面坐标的行 进时间。
--	--	--	-----------------------	---

[0868]

O_ 计算行进时间 4 (0_computetravel times4)	1. 2D 矩阵/单精度 2. 2D 矩阵/单精度 3. 2D 矩阵/逻辑 4. 2D 矩阵/逻辑	1. 条目(j,k)为声音在水中从元素 k 到具有索引 j 的表面坐标的行进时间。 2. 条目(j,k)含有一个声音脉冲从探头阵列中的元素 k 行进到具有索引 j 的表面坐标所需的时间。 3. 如果从元素 j 到具有索引 k 的表面坐标的方向性大于或等于全局界定的‘ surfaceDirectivity Cutoff’，条目(j,k)含有“真”。否则它含有“假”。 4. 如果存在从表面坐标 k 到强度图坐标 j 的一条直线，该直线不与输入表面相交（除了在坐标 j 处），条目(j,k)为“真”。否则条目(j,k)为“假”。	1. 具有如下字段的结构： a) 列矩阵/无正负号整数（16 位）。 b) 列矩阵/单精度 c) 列矩阵/无正负号整数（8 位）。 d) 列矩阵/无正负号整数(8 位) e) 标量/无正负号整数（8 位）	相对于结构的索引 i（对应于线性探头阵列的元件 i）， a) 条目 j 含有一个坐标的索引 b) 条目 j 含有从元素 i 到在字段 a 中具有索引 j 的坐标。 c) 条目 j 含有从元素 O 到在字段 a 中具有索引 j 的坐标的数字行进时间解。 d) 含有从元素 i 到所有检验坐标的解的数目的集合 e) 含有字段 d) 的长度。
---	--	--	---	---

[0869]

O_ifm 缩放 8 (O_ifmzoom8)	1. 2x1 元素矩阵/双精度 2. 2D 矩阵/复数单精度 3. 2D 矩阵/单精度 4. 2D 矩阵/单精度 5. 具有如下字段的结构: a) 列矩阵/无正负号整数 (16 位). b) 列矩阵/单精度 c) 列矩阵/无正负号整数 (8 位). d) 列矩阵/无正负号整数 (8 位). e) 标量/无正负号整数 (8 位)	1. 坐标矩阵的大小 2. FMC 数据集, 其中 A 扫描包含在垂直维度中。 3. 条目 (i,j) 含有属于发射器 i 和接收器 j 的 A 扫描的列索引 4. 条目 (i,j) 含有来自元素 i 的超声波的发射与来自接收器 j 的 A 扫描数据的记录之间的偏移 (以样本数计). 5. 相对于结构的索引 i (对应于线性探头阵列的元件 i), a) 条目 j 含有一个坐标的索引 b) 条目 j 含有从元素 i 到在字段 a 中具有索引 j 的坐标的行进时间 (以样本数计)。	1. 列矩阵/单精度	1. 具有匹配索引作为所计算强度的坐标的所计算强度。
----------------------------	---	---	------------	----------------------------

[0870]

		c) 条目 j 含有从元素 I 到在字段 a) 中具有索引 j 的坐标的数字行进时间解。 d) 含有从元素 i 到所有检验坐标的解的数目的集合 c) 含有字段 d) 的长度。		
O_计算截止强度 上方的坐标 (O_computecoordinatesabovecutoff_id)	1. 列矩阵/单精度 2. 列矩阵/单精度 3. 列矩阵/单精度 4. 标量/单精度	1. 坐标 x 分量 2. 坐标 z 分量 3. 坐标强度。 4. 截止强度值。	1. 列矩阵/单精度 2. 列矩阵/单精度	1. 具有超过截止强度值 (输入项目 4) 的强度值的坐标 x 分量 2. 具有超过截止强度值 (输入项目 4) 的强度值的坐标 z 分量。

[0871] 表A12-2”参考块(序列号001)尺寸

[0872]

位置	从英制转换的测量值	经舍入的测量值	步骤变化量
扫描 块			
1	2.032	2.03	
2	5.0038	5.00	
3	8.00608	8.01	
4	10.9982	11.00	
5	13.9827	13.98	
6	16.99006	16.99	
7	23.89632	23.90	3.00
8	20.89912	20.90	3.00
9	17.89684	17.90	3.00
10	14.89964	14.90	3.00
11	11.89736	11.90	2.97
12	8.9281	8.93	

[0873] 表A13-2”参考块(序列号002)尺寸

[0874]

位置		从英制转换的测量值	经舍入的测量值	步骤变化量
扫描	块			
	1	2.032	2.03	
	2	5.00888	5.01	
	3	8.0264	8.03	
	4	11.0109	11.01	
	5	13.99286	13.99	
	6	17.00022	17.00	
	7	23.89378	23.69	2.99
	8	20.9042	20.90	3.01
	9	17.8943	17.89	3.00
	10	14.8971	14.90	3.00
	11	11.8999	11.90	2.98
	12	8.9154	8.92	

[0875] 表A14-2.5"参考块(序列号001)尺寸

[0876]

位置		从英制转换的测量值	经舍入的测量值	步骤变化量
扫描	块			
	1	1.99898	2.00	
	2	4.99872	5.00	
	3	8.001	8.00	
	4	10.9982	11.00	
	5	13.9954	14.00	
	6	16.99768	17.00	
	7	24.0919	24.09	3.00
	8	21.0947	21.10	3.01
	9	18.0848	18.09	2.99
	10	15.09522	15.10	3.00
	11	12.09802	12.10	3.01
	12	9.0932	9.09	

[0877] 表A15-2.5"参考块(序列号002)尺寸

[0878]

位置		从英制转换的测量值	经舍入的测量值	步骤变化量
扫描	块			
	1	2.00406	2.00	
	2	4.99364	4.99	
	3	7.99592	8.00	
	4	10.9982	11.00	
	5	13.9954	14.00	
	6	16.9926	16.99	
	7	24.09698	24.10	3.00
	8	21.10232	21.10	3.01
	9	18.0975	18.10	2.99
	10	15.10538	15.11	3.01
	11	12.09294	12.09	3.00
	12	9.0932	9.09	

[0879] 在不脱离本披露的精神或基本特征的情况下,本发明可以用其他具体形式体现。所描述的实施例在所有方面中将被视为仅说明性的而不是限制性的。本披露希望环绕和包括技术上的所有合适的改变。

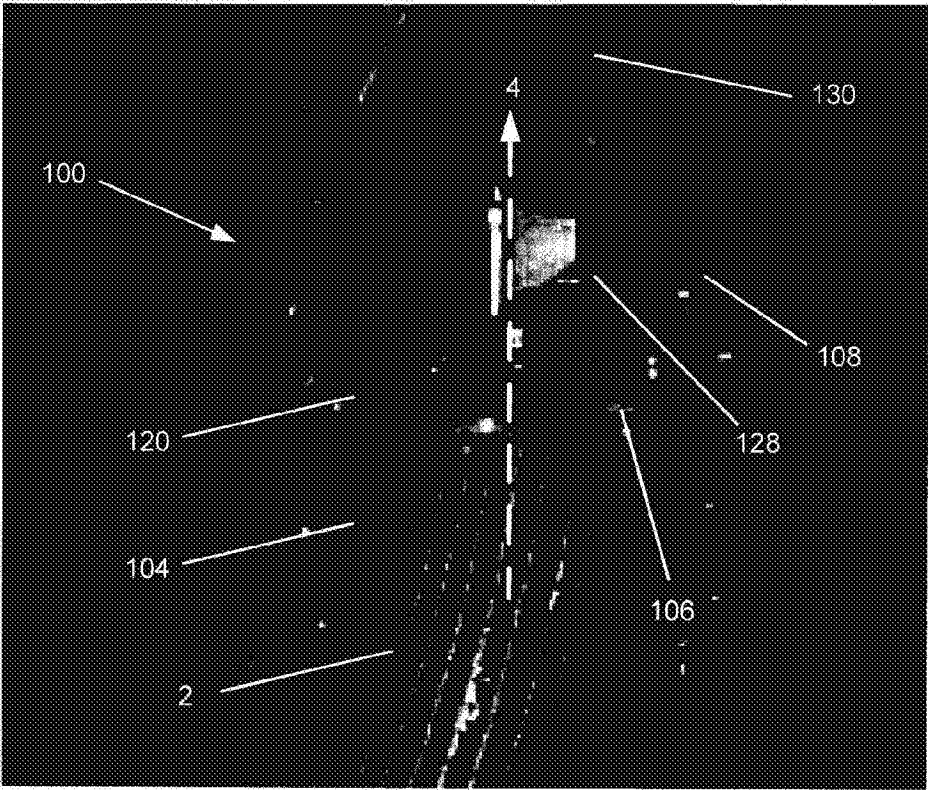


图1

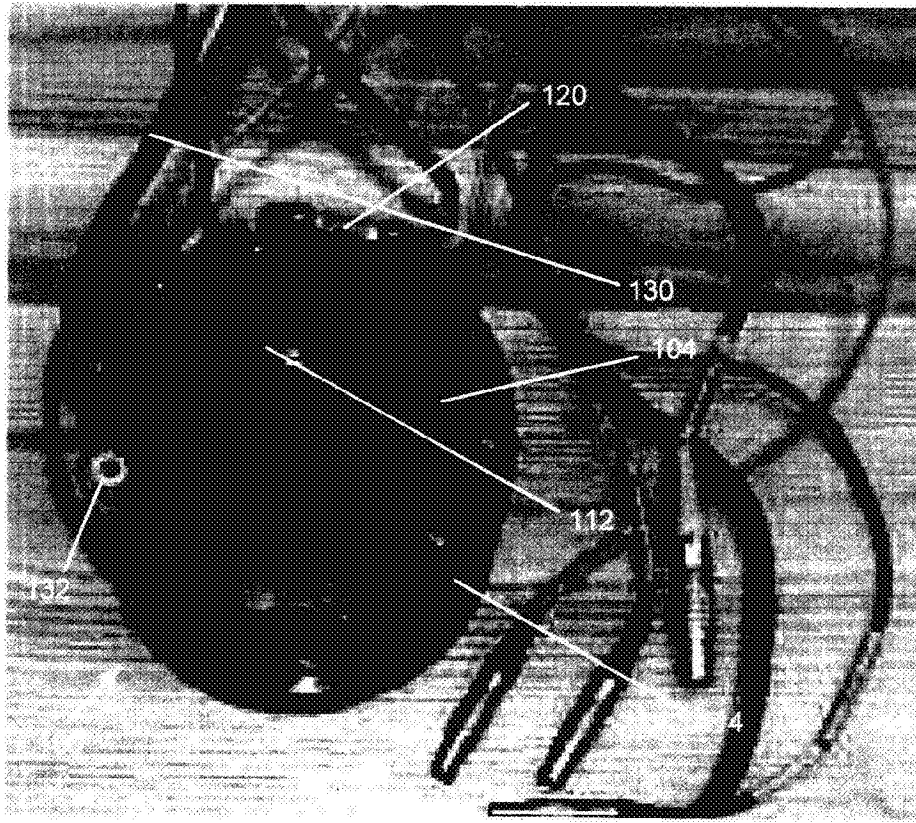


图2

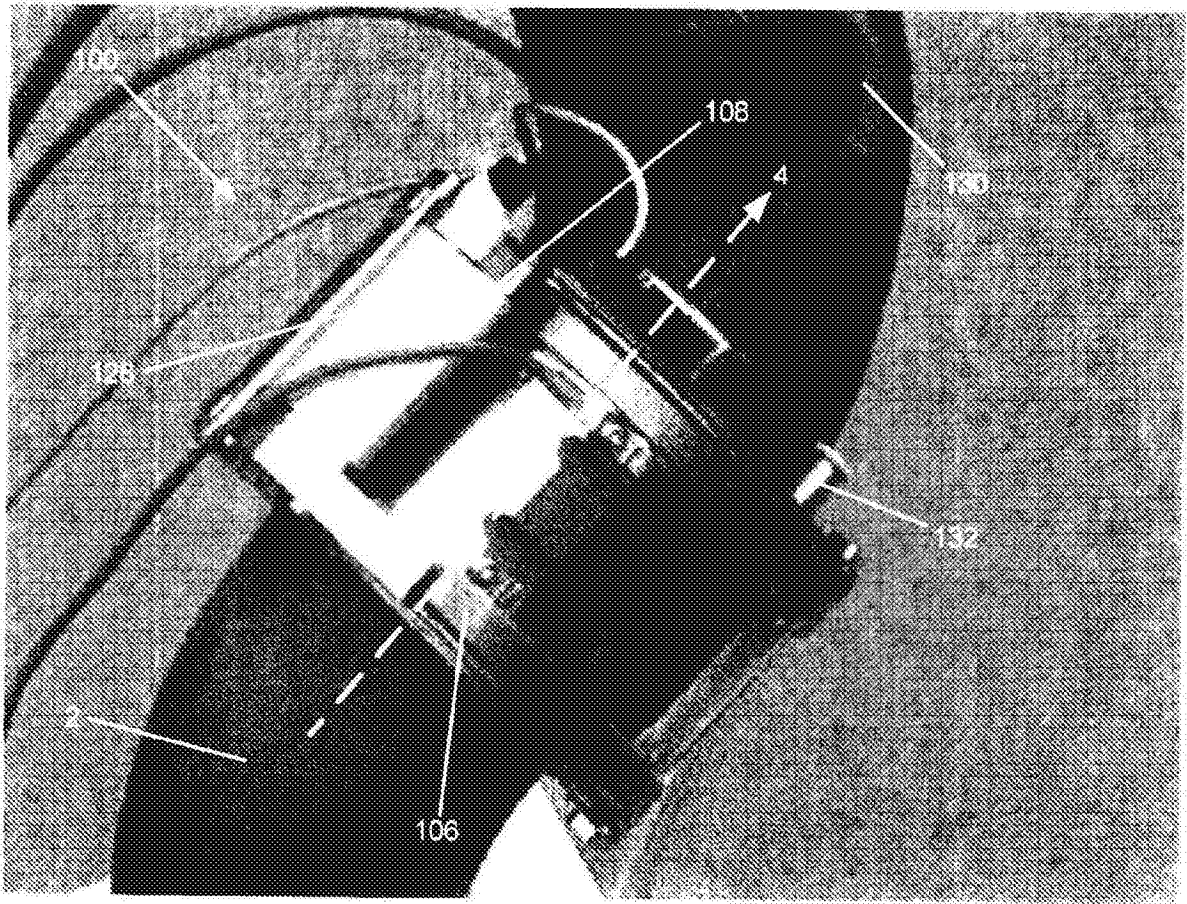


图3

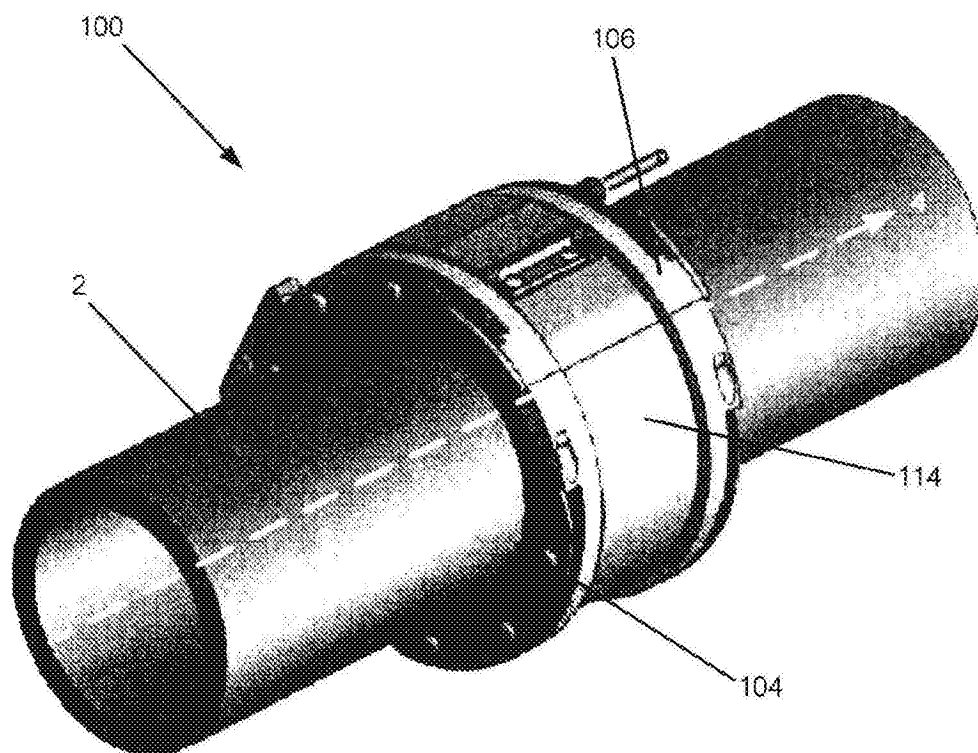


图4

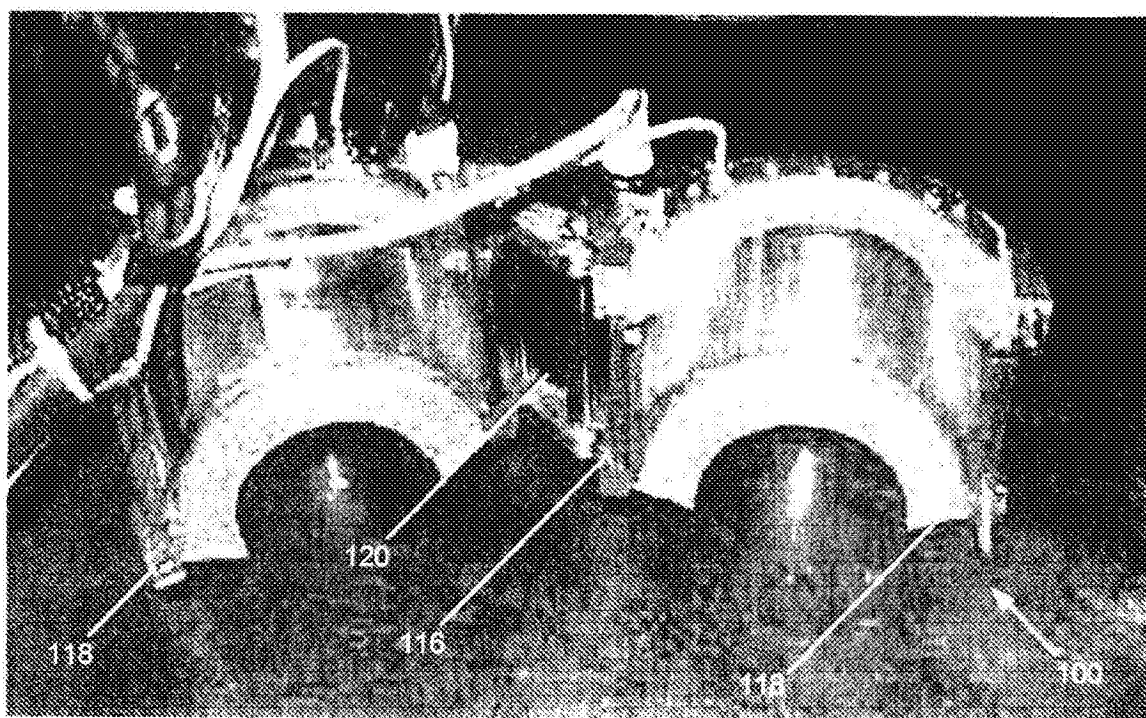


图5

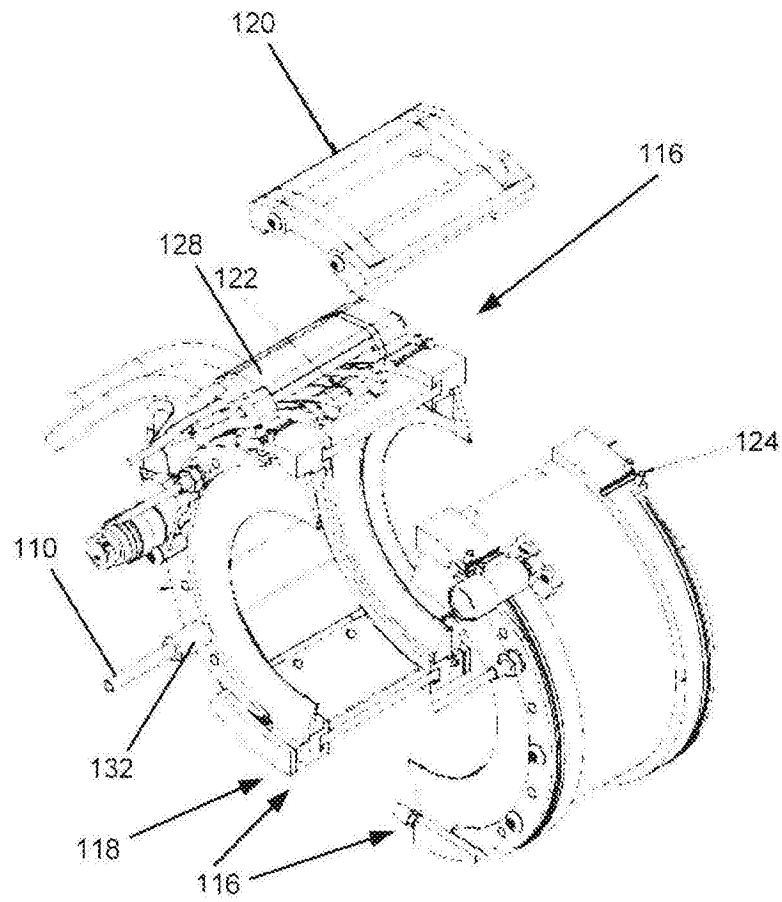


图6

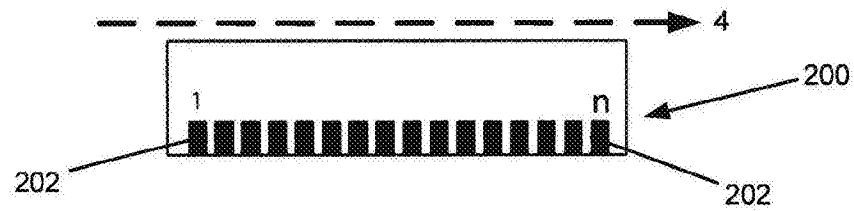


图7

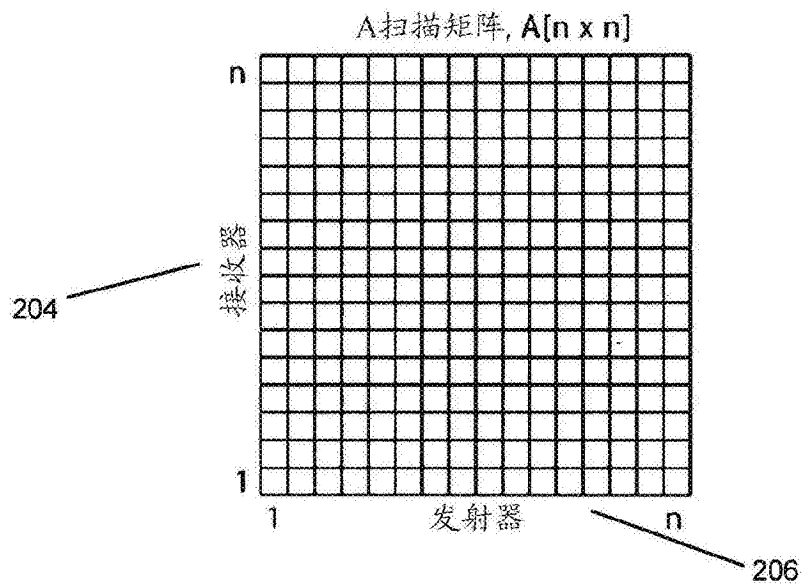


图8

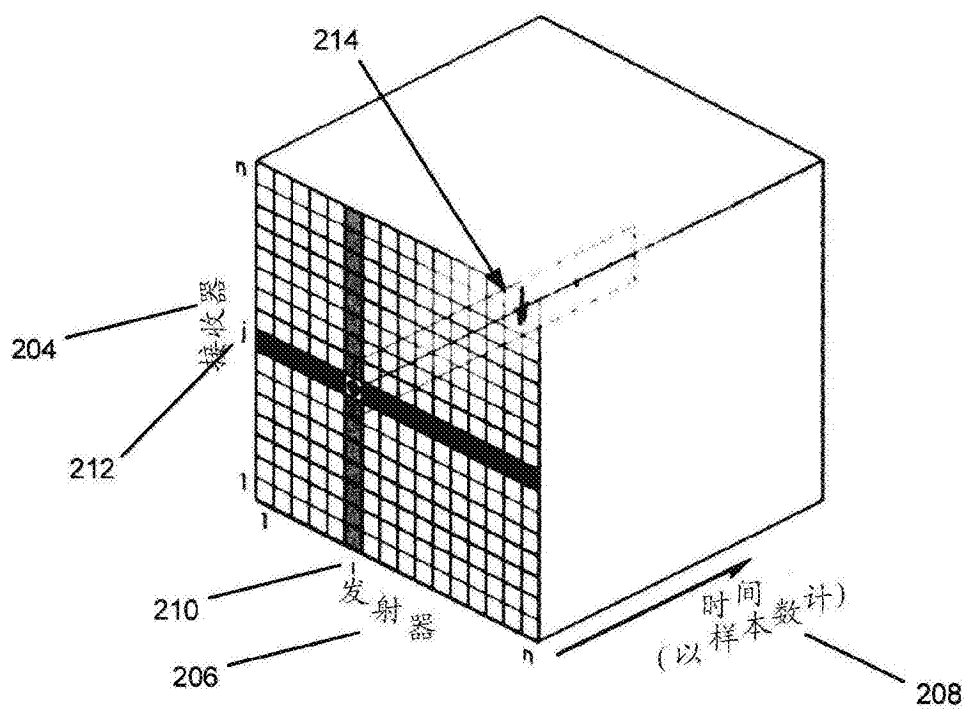


图9

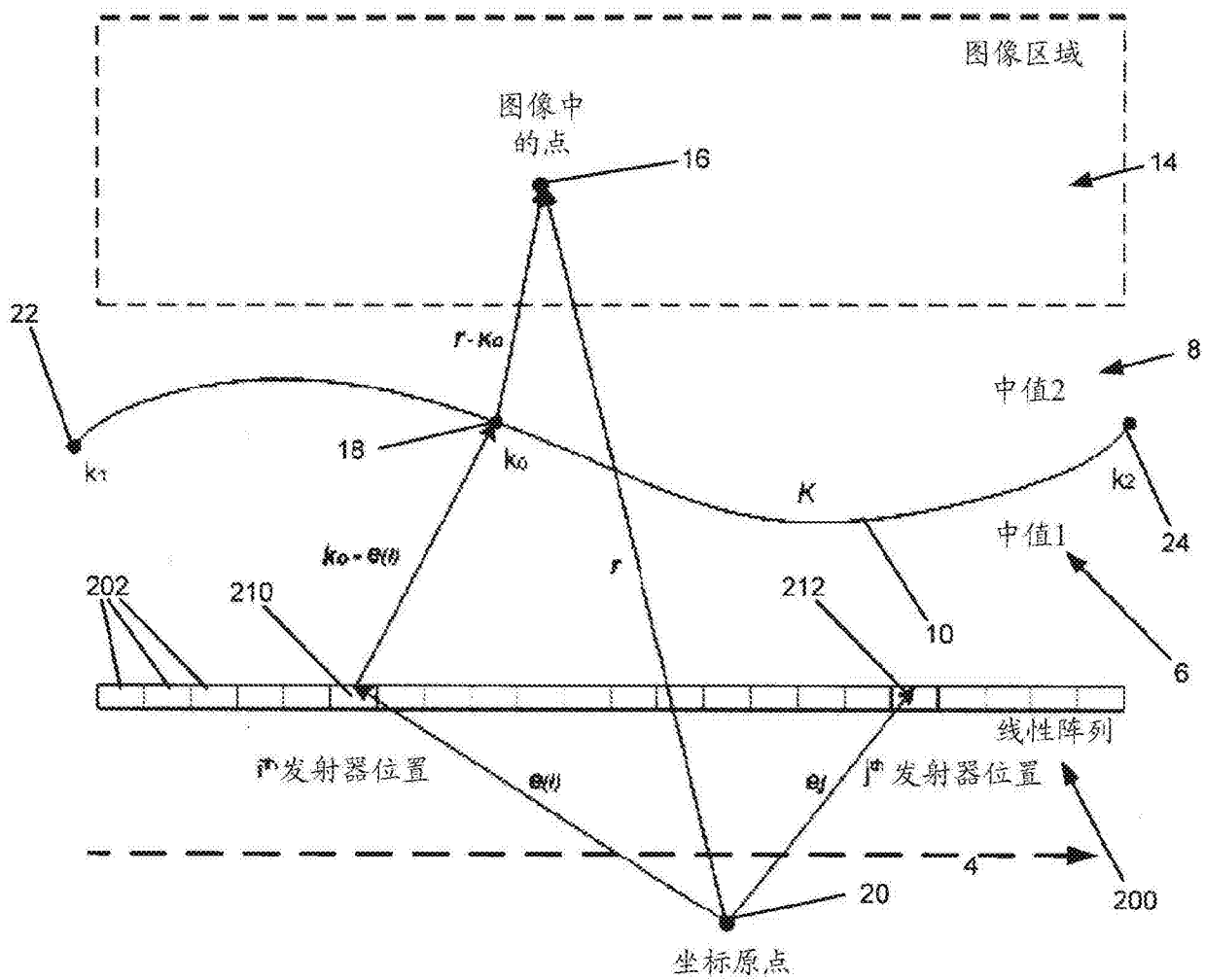


图10

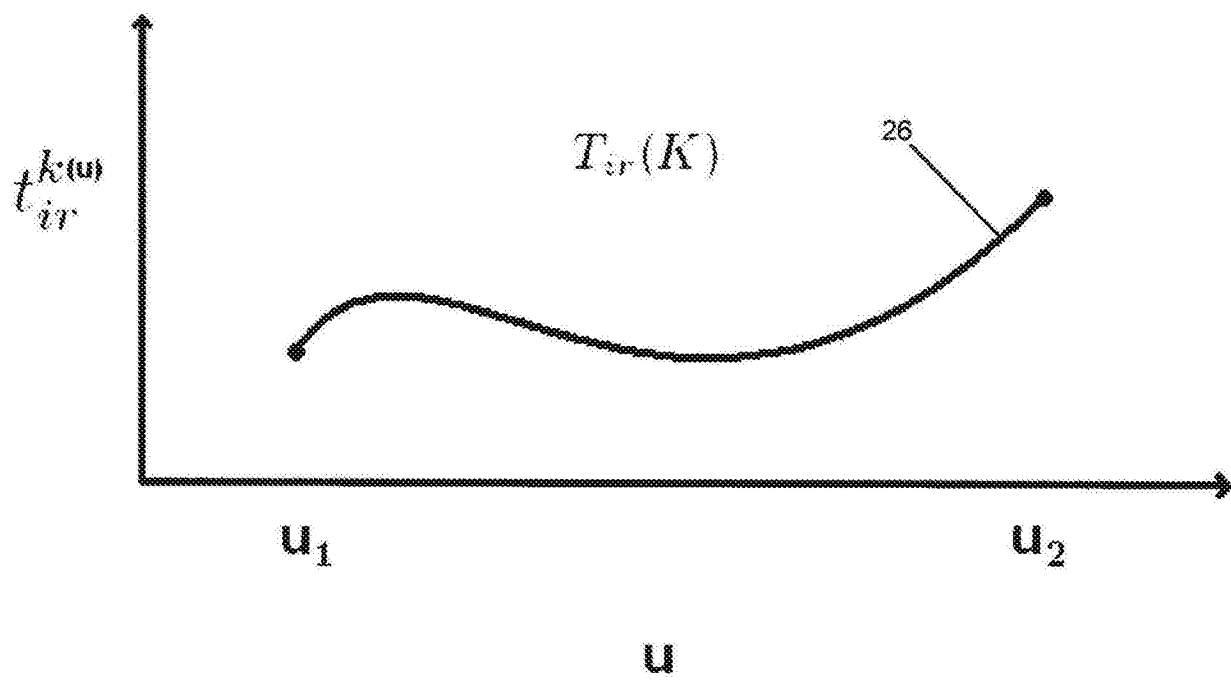


图11

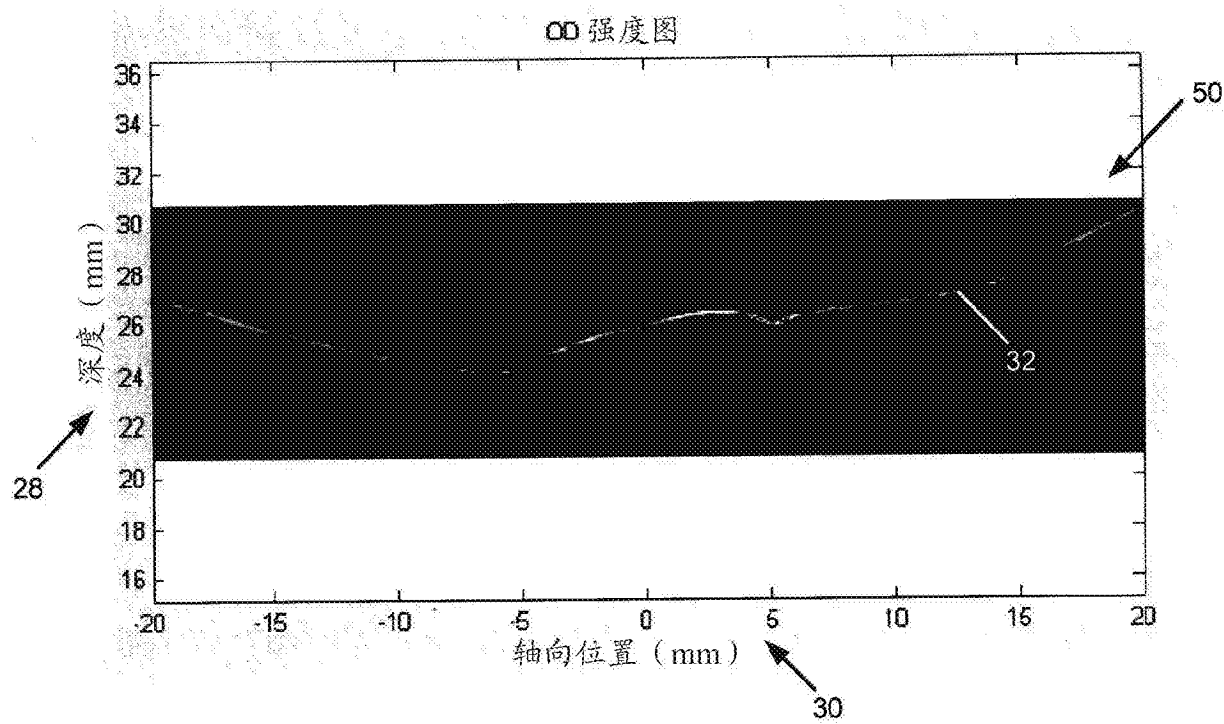


图12

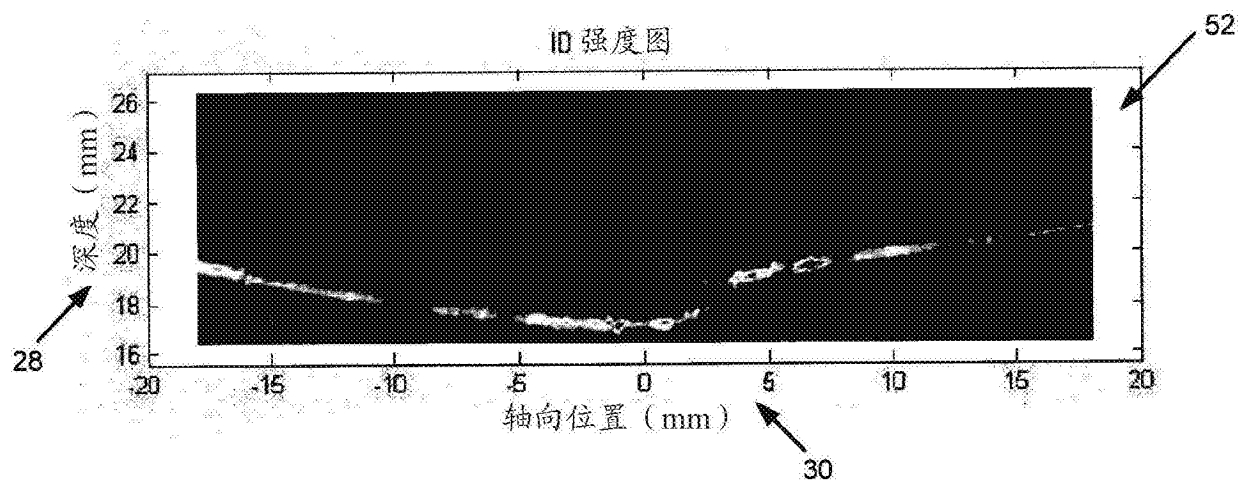


图13

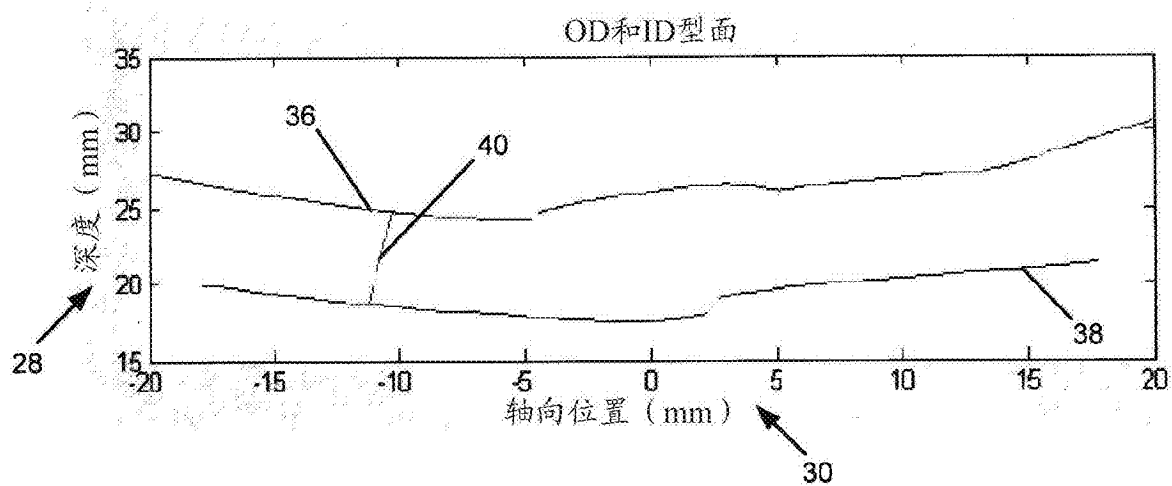


图14

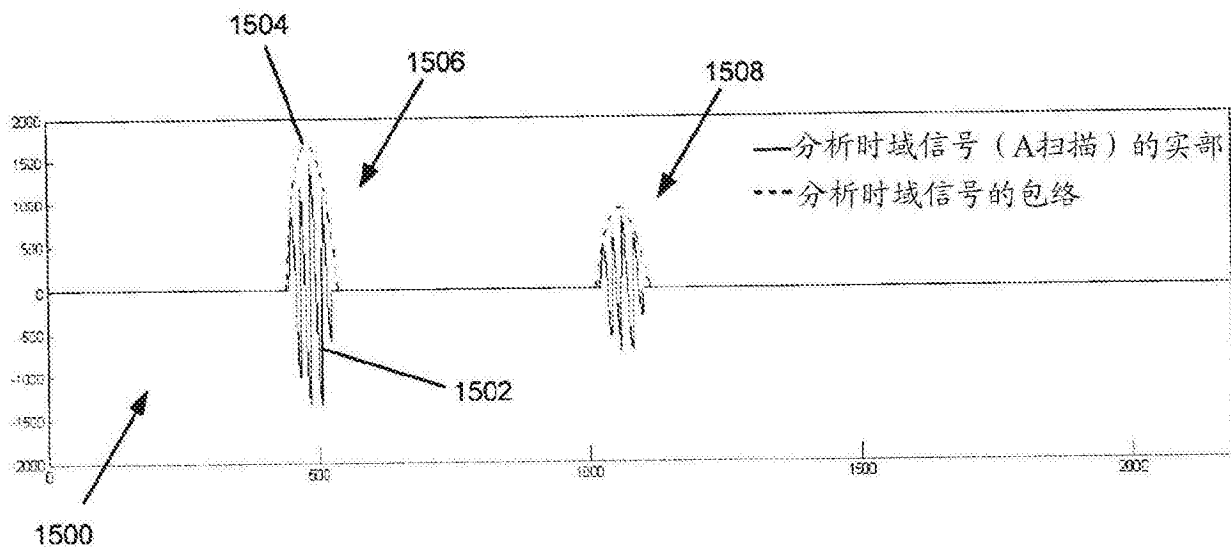


图15

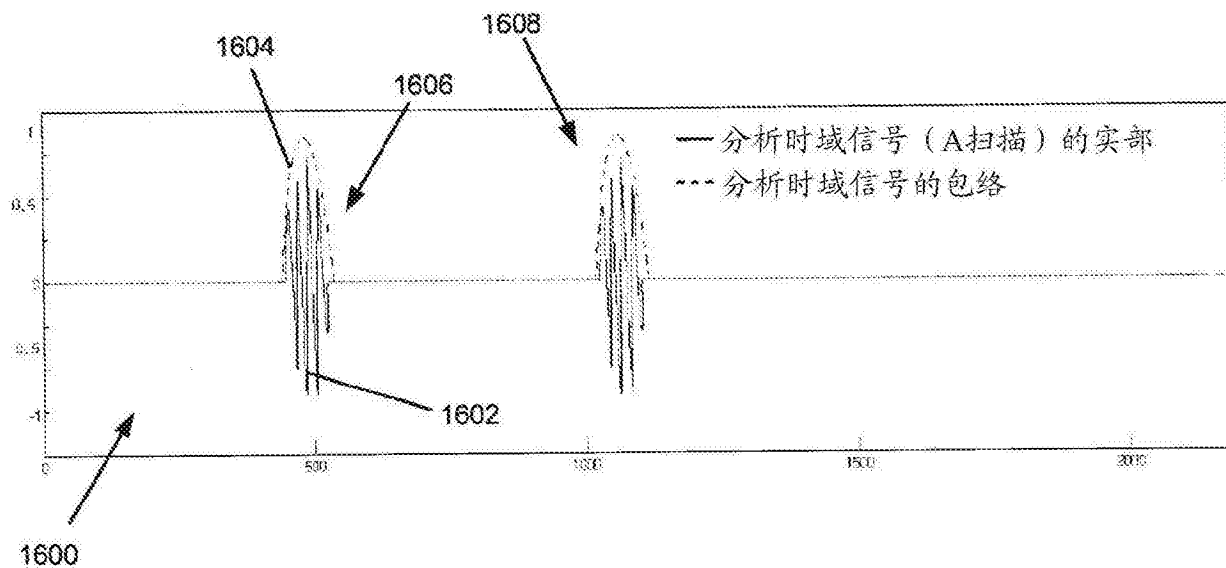


图16

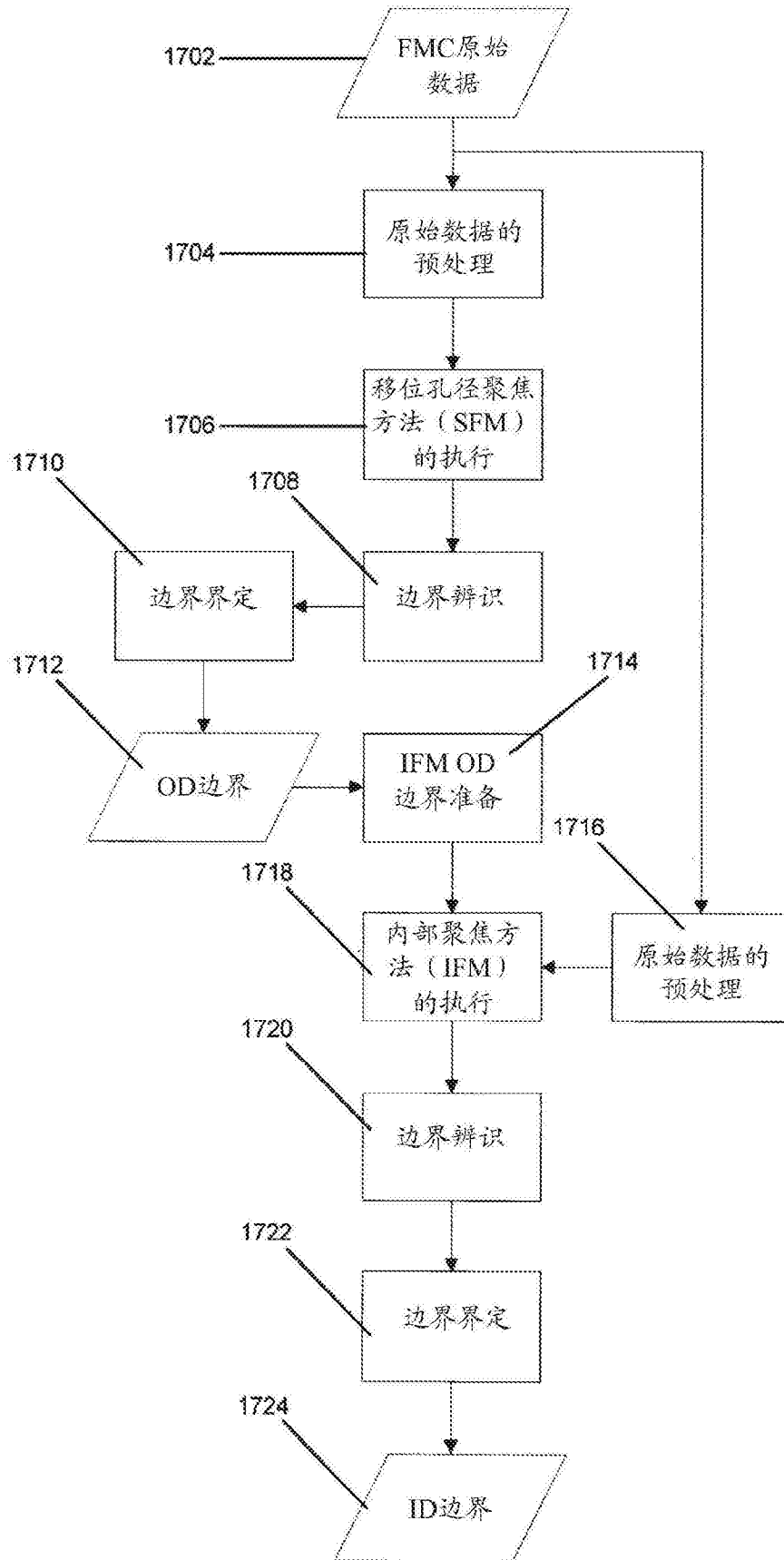


图17

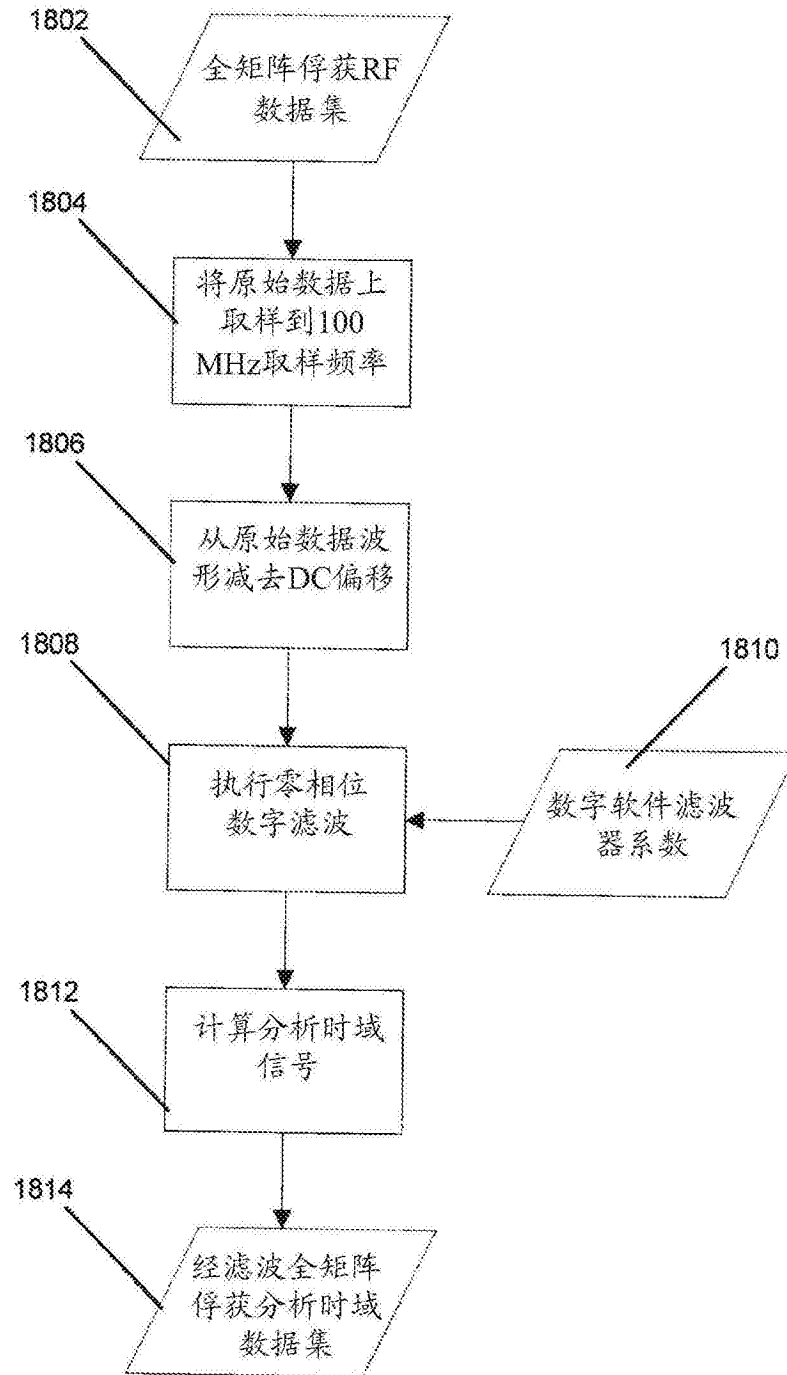


图18

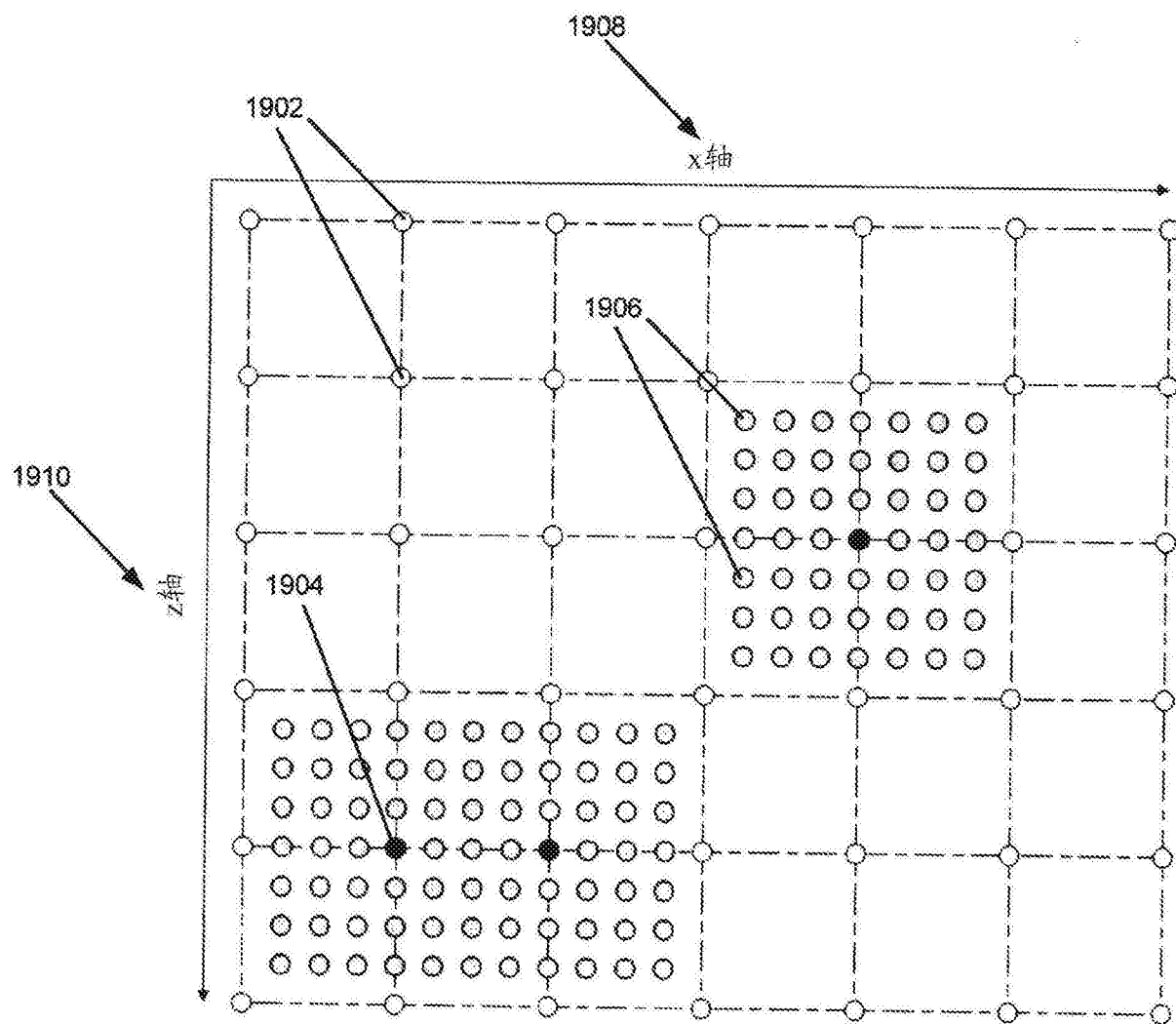


图19

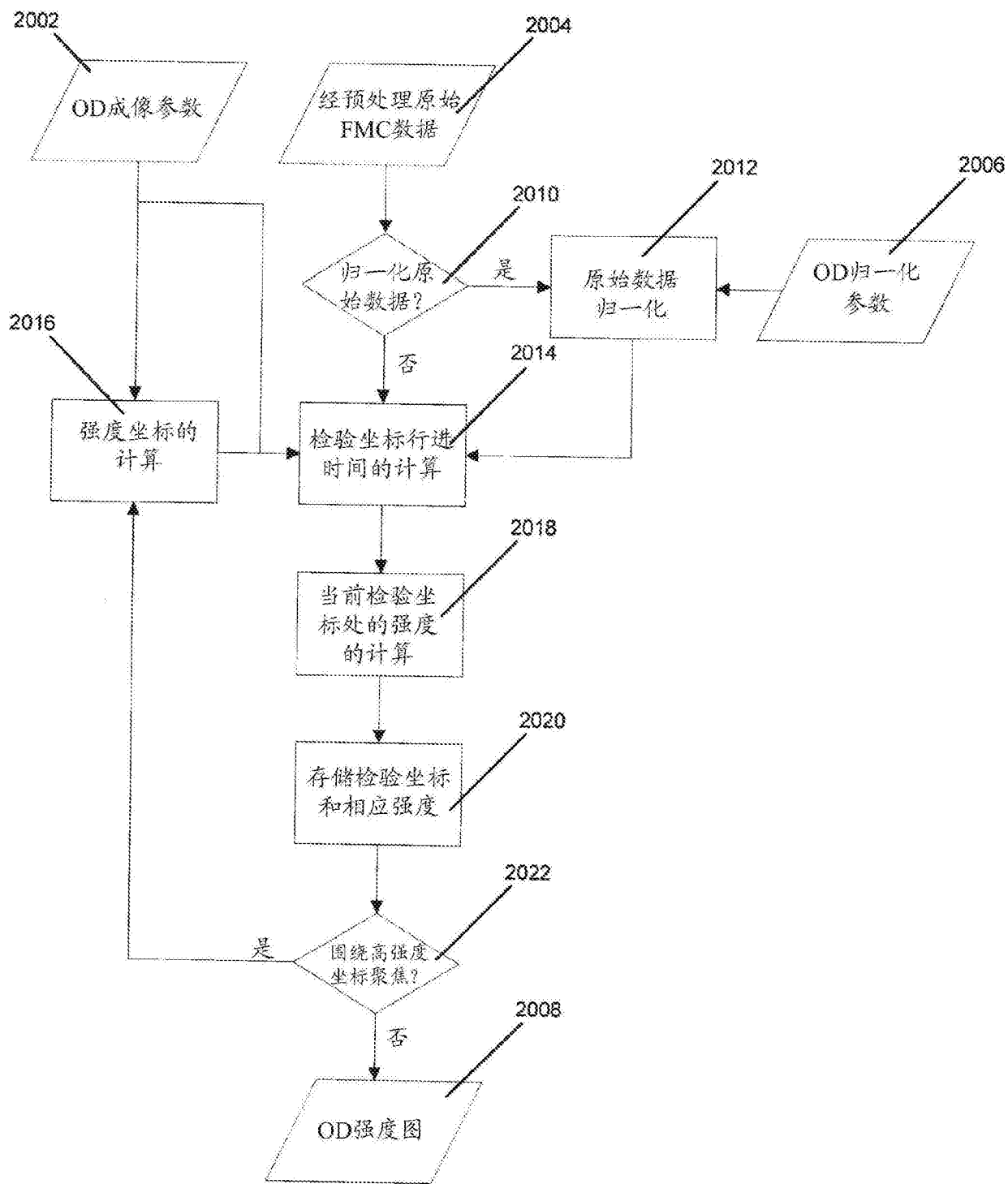


图20

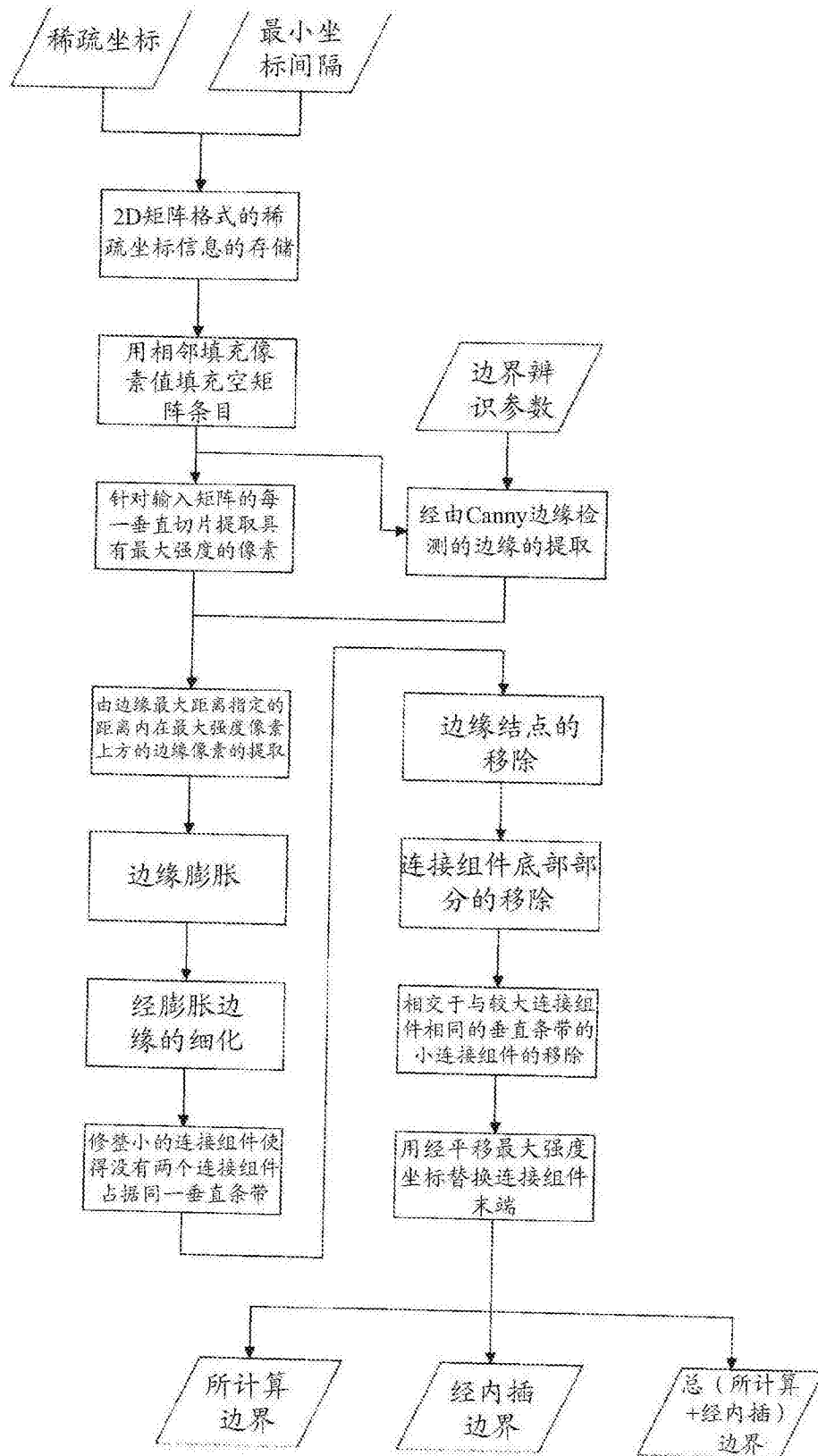


图21

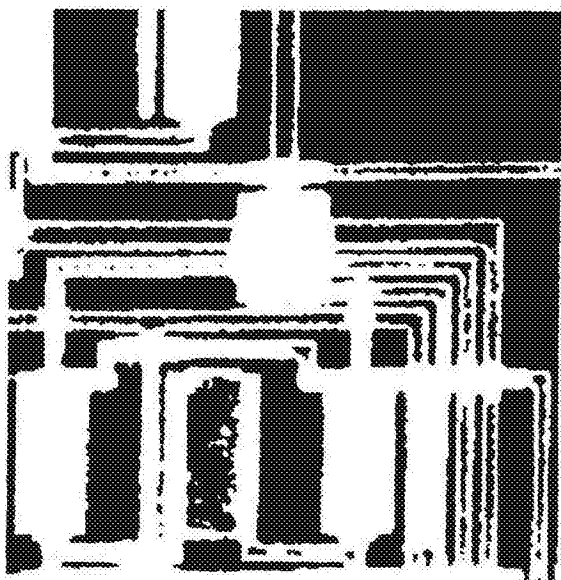


图22

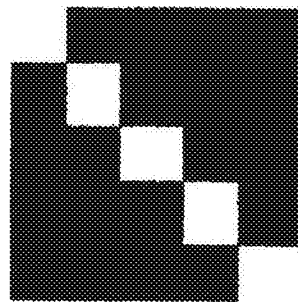


图23

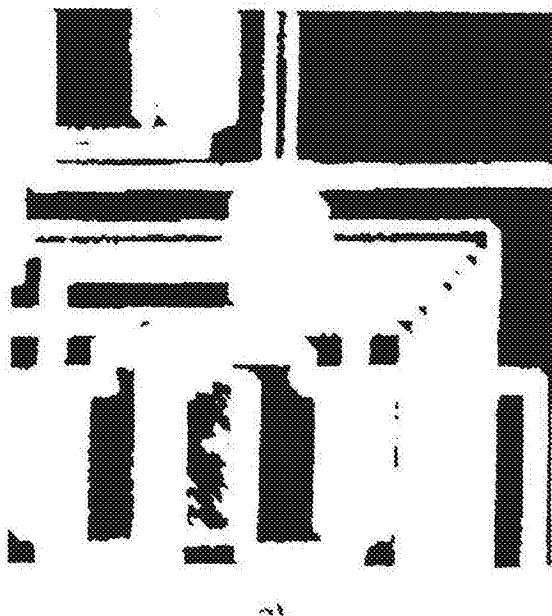


图24



图25

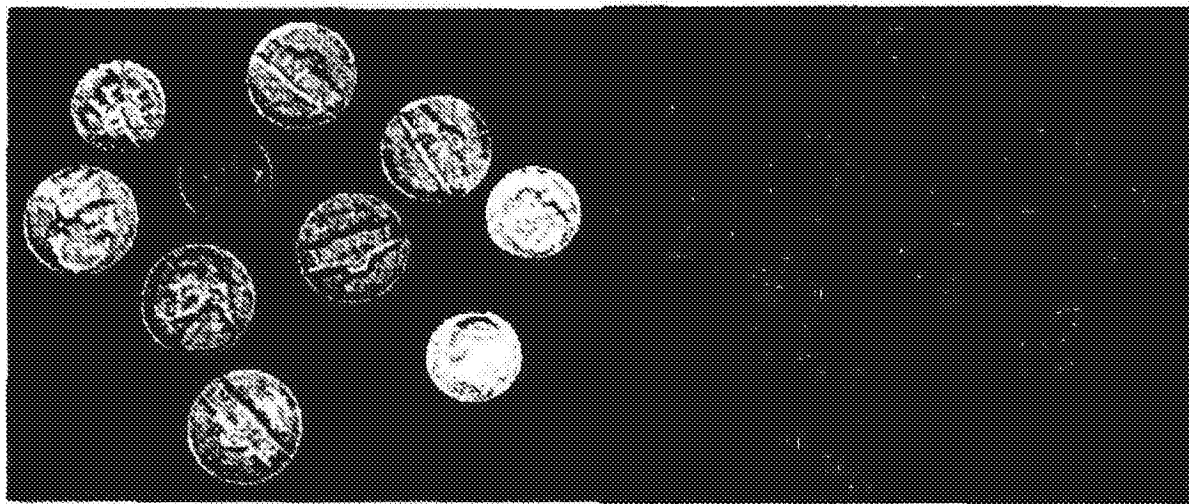


图 26(a)

图 26(b)

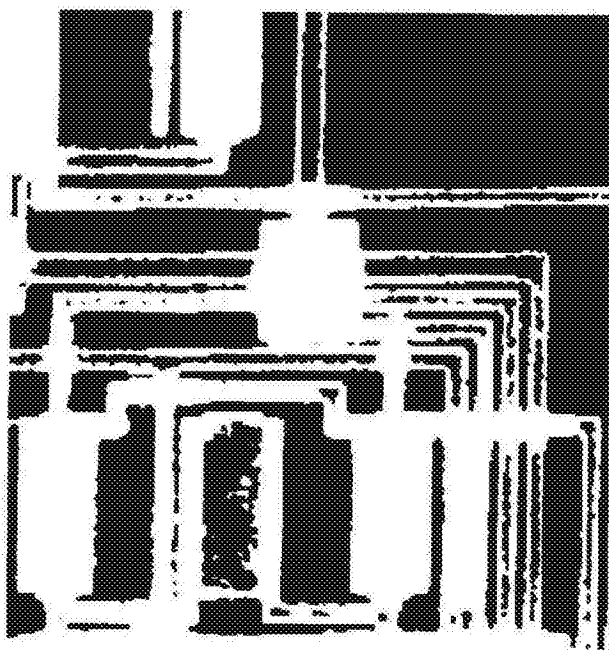


图27(a)

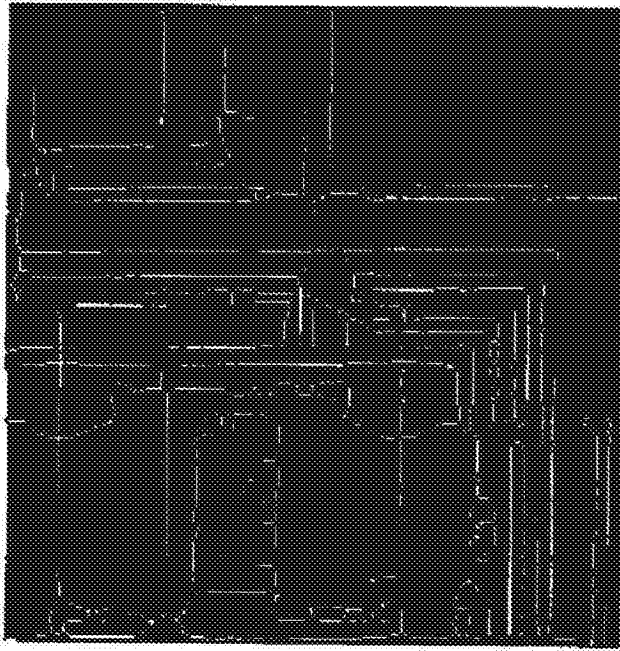


图27 (b)

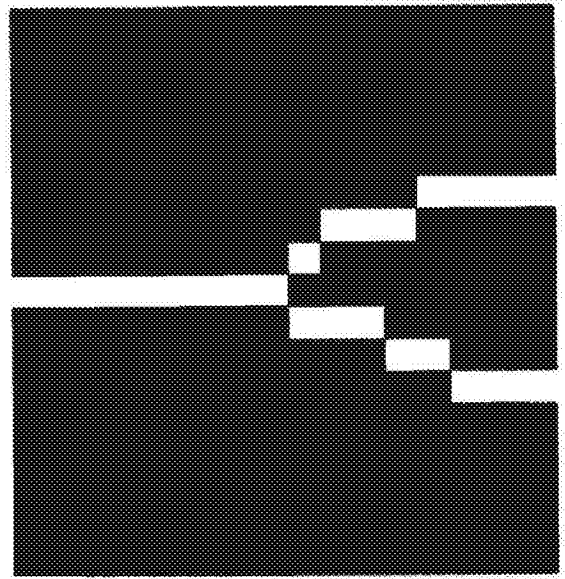


图28 (a)

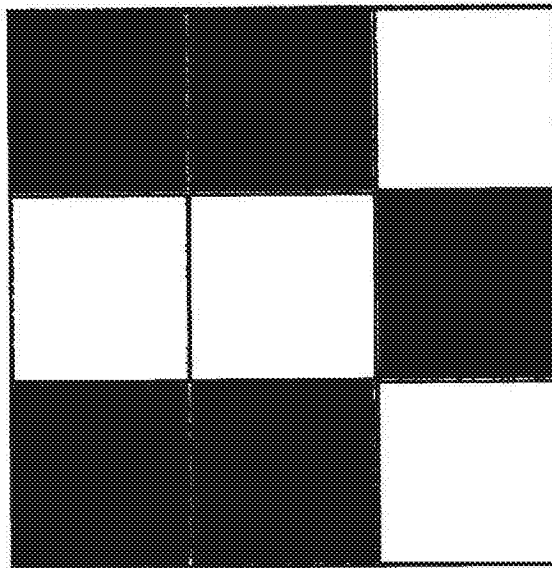


图28 (b)

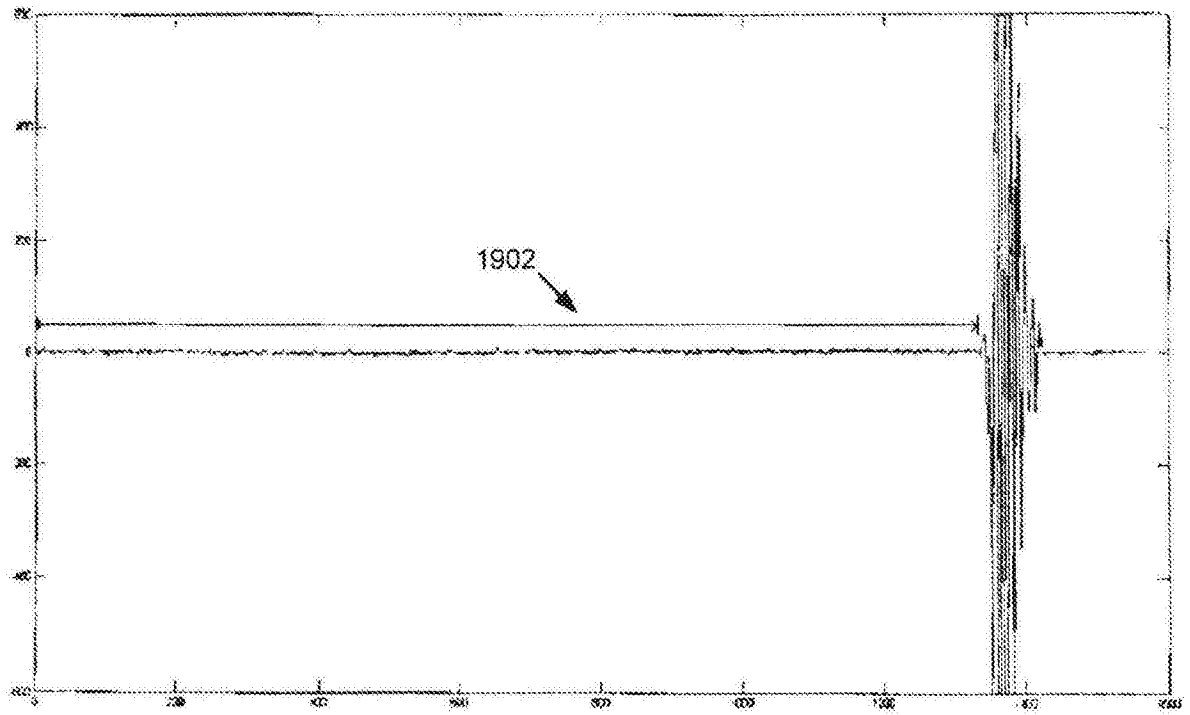


图29

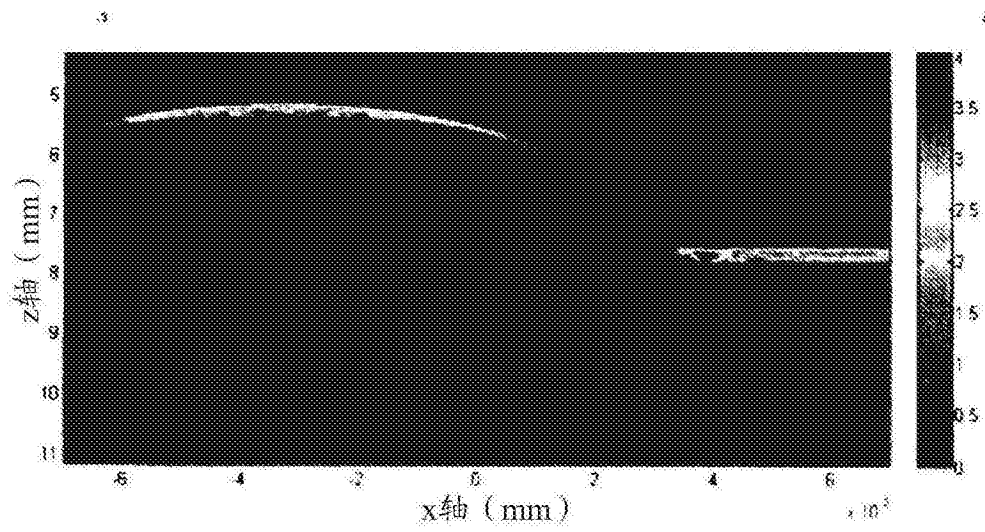


图30

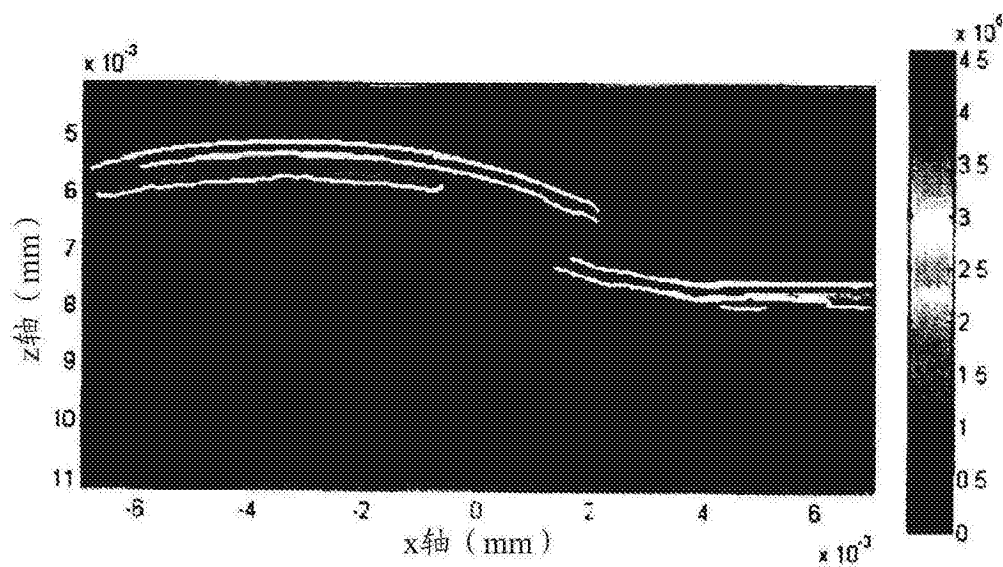


图31

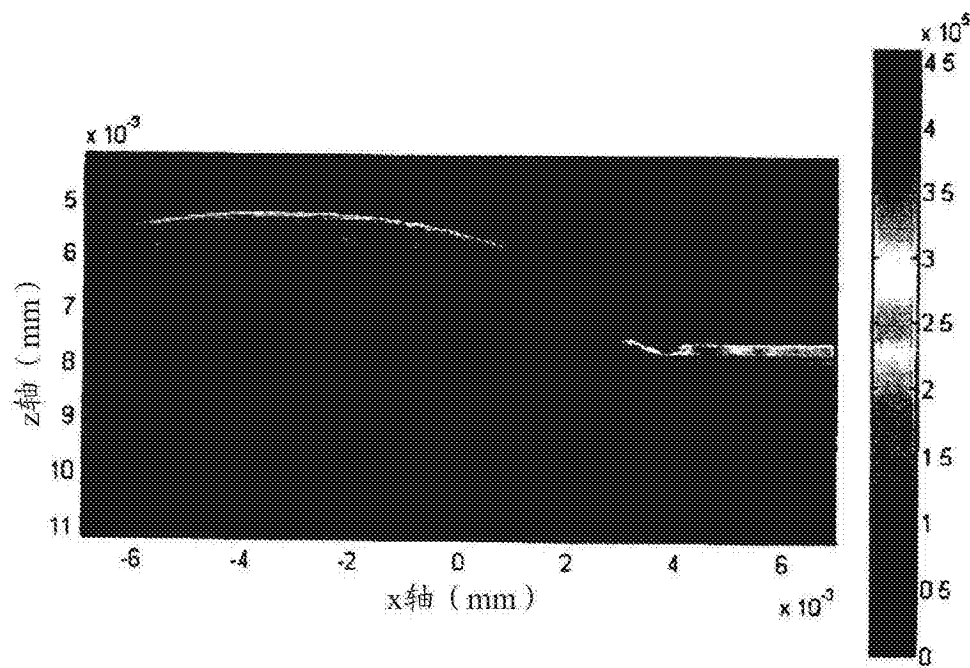


图32

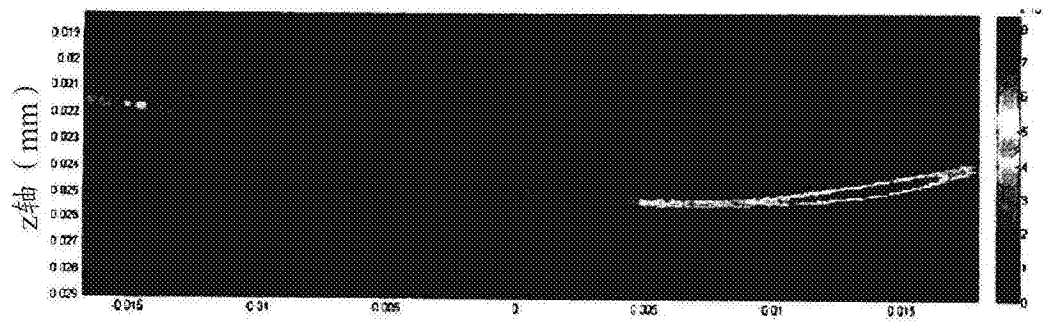


图33

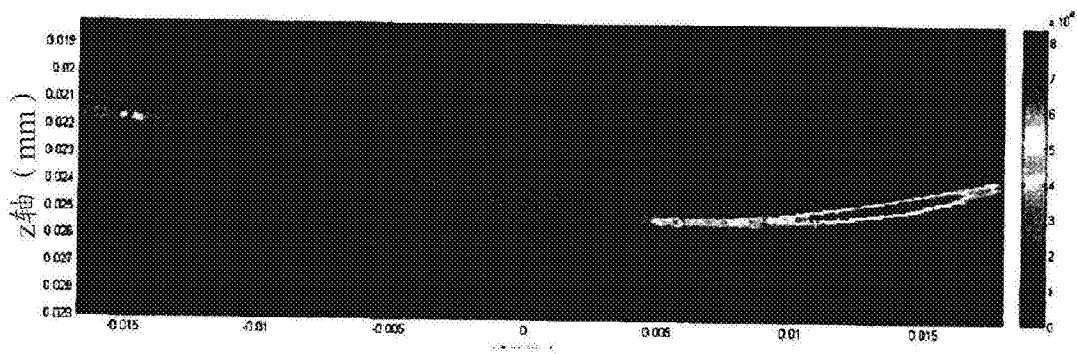


图34

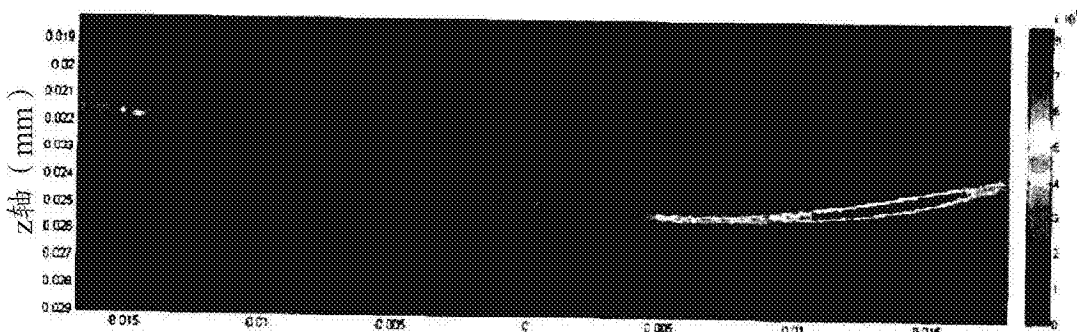


图35

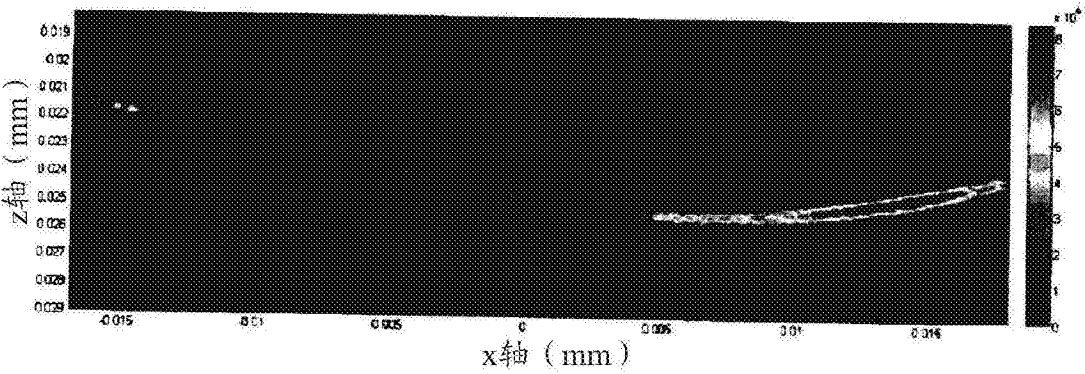


图36

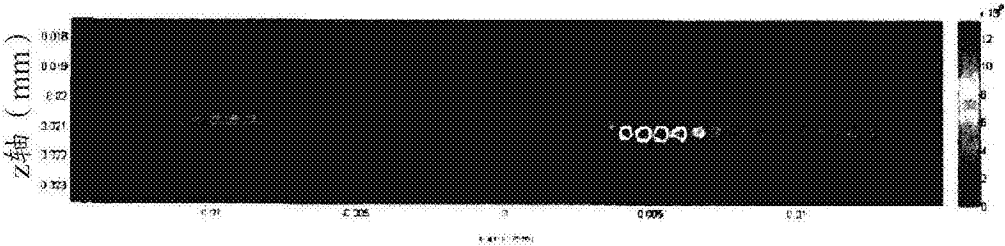


图37

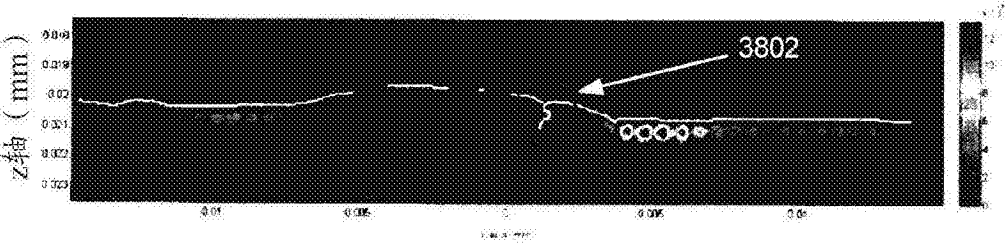


图38

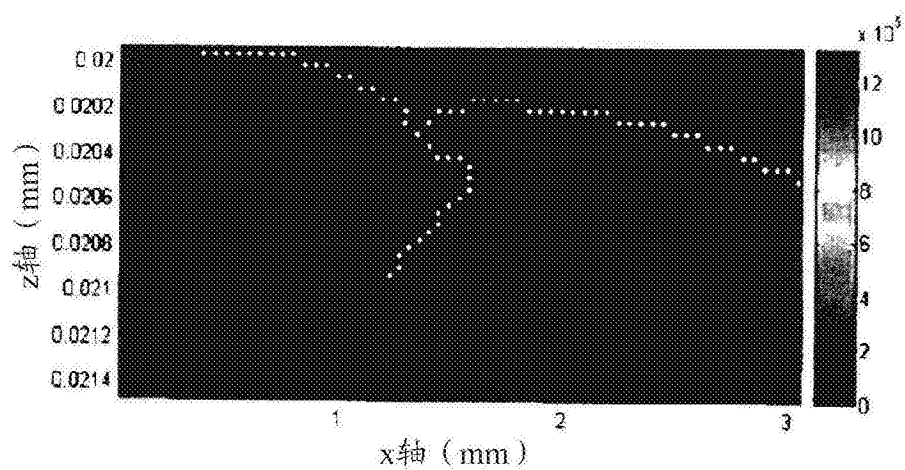


图39

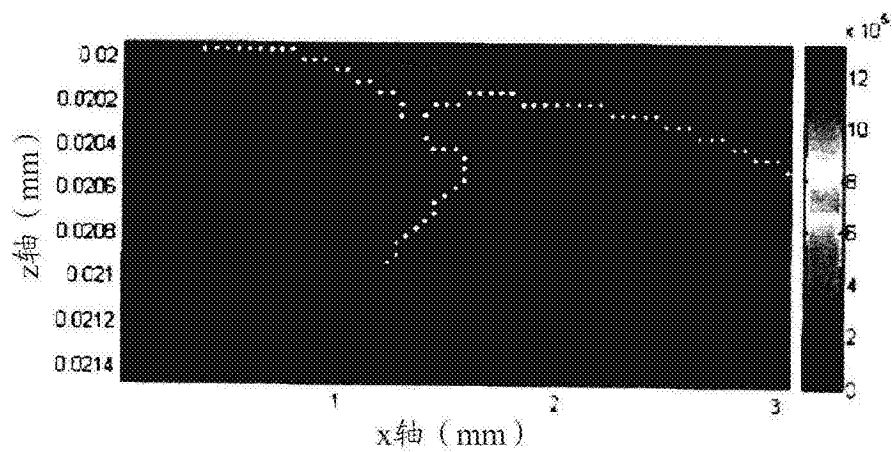


图40

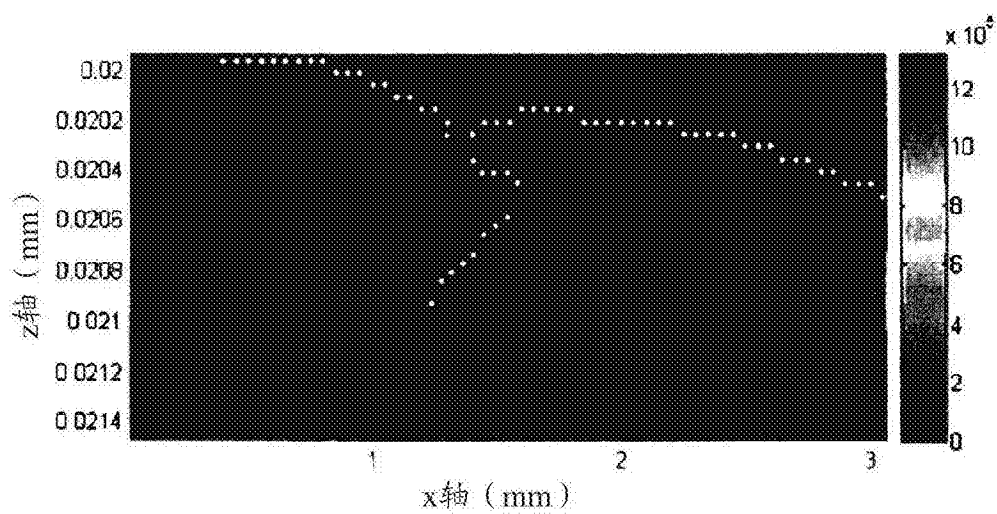


图41

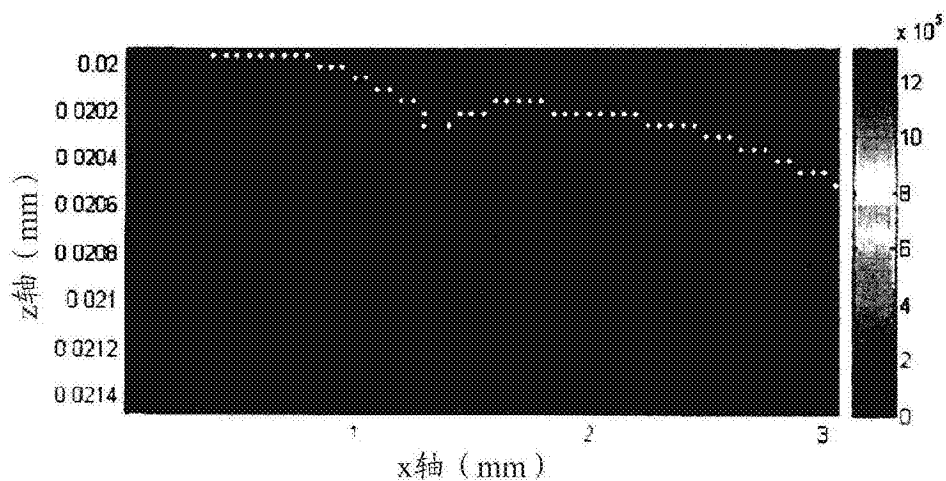


图42

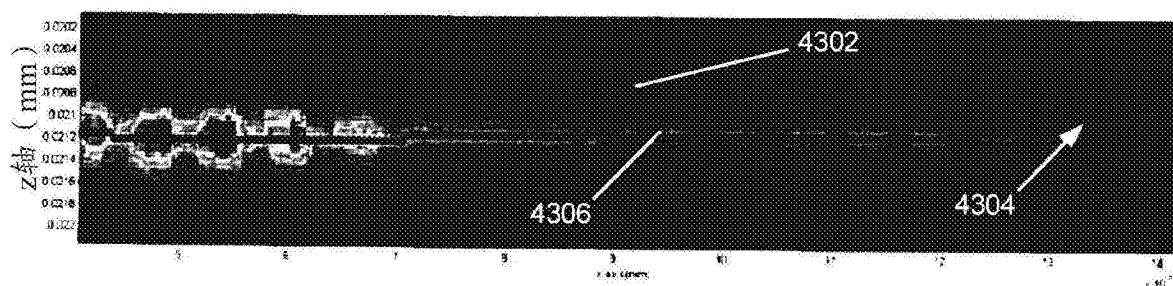


图43

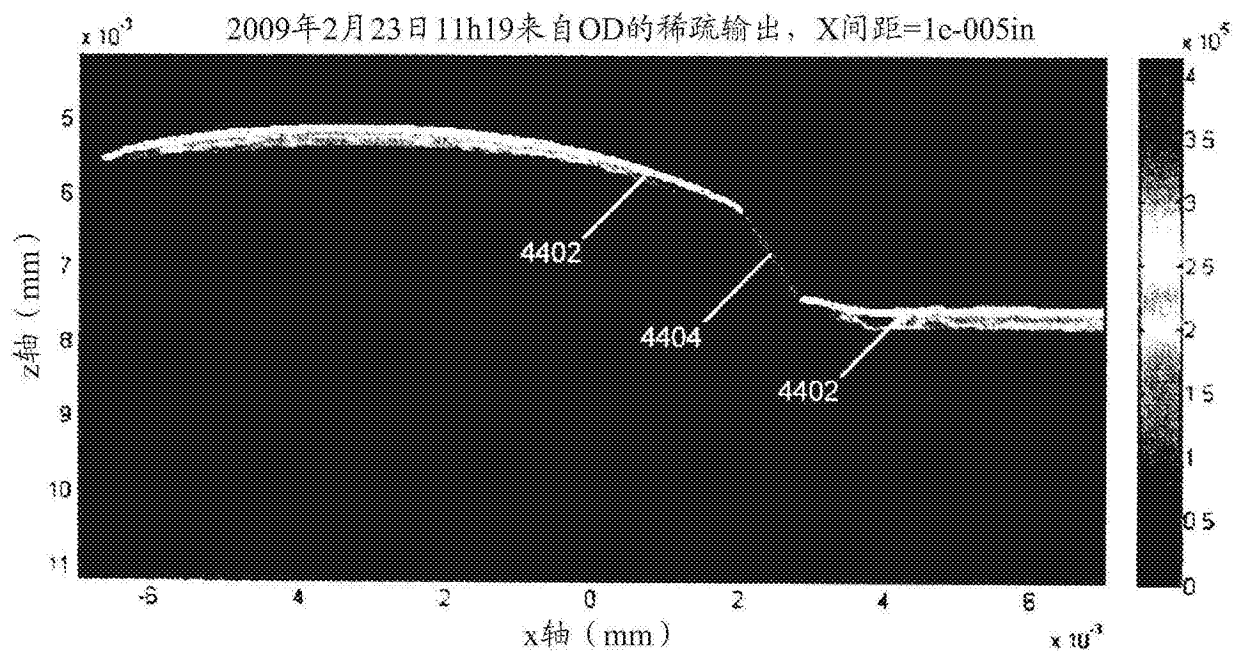


图44

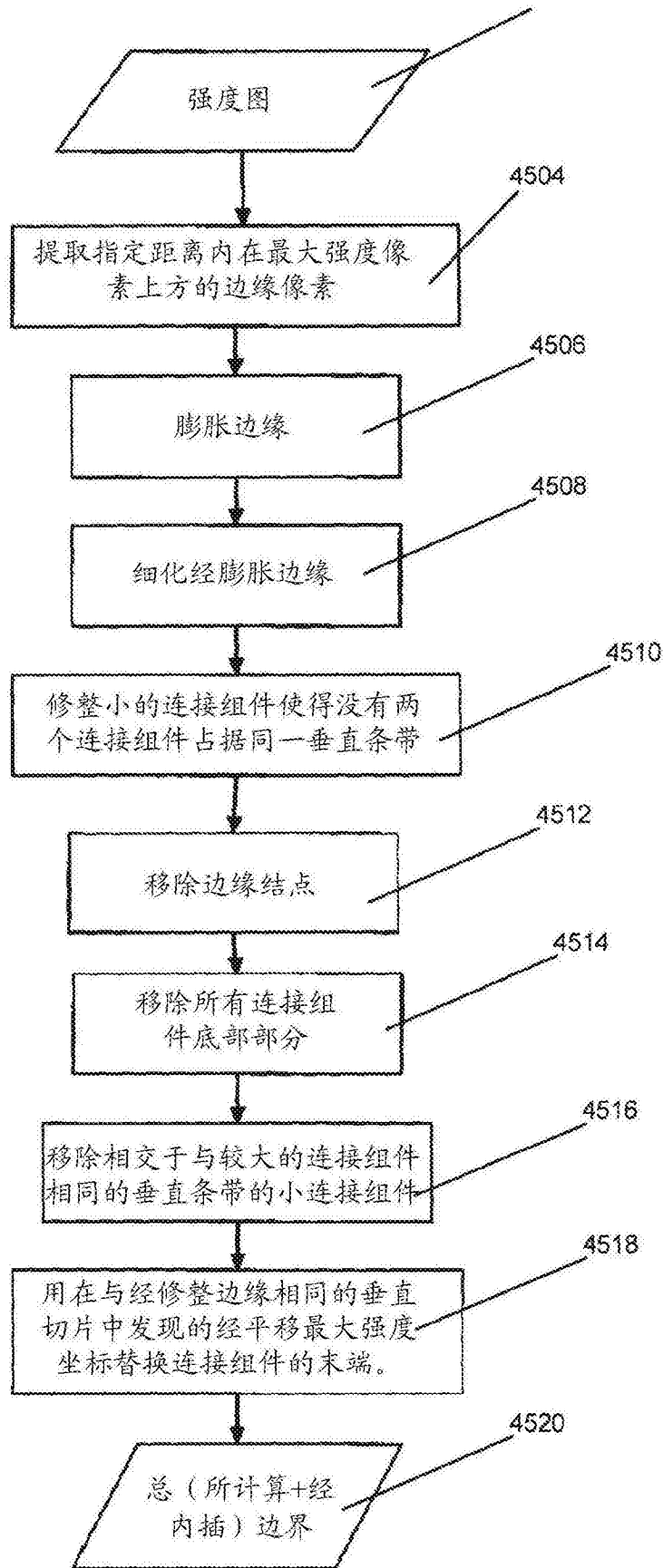


图45

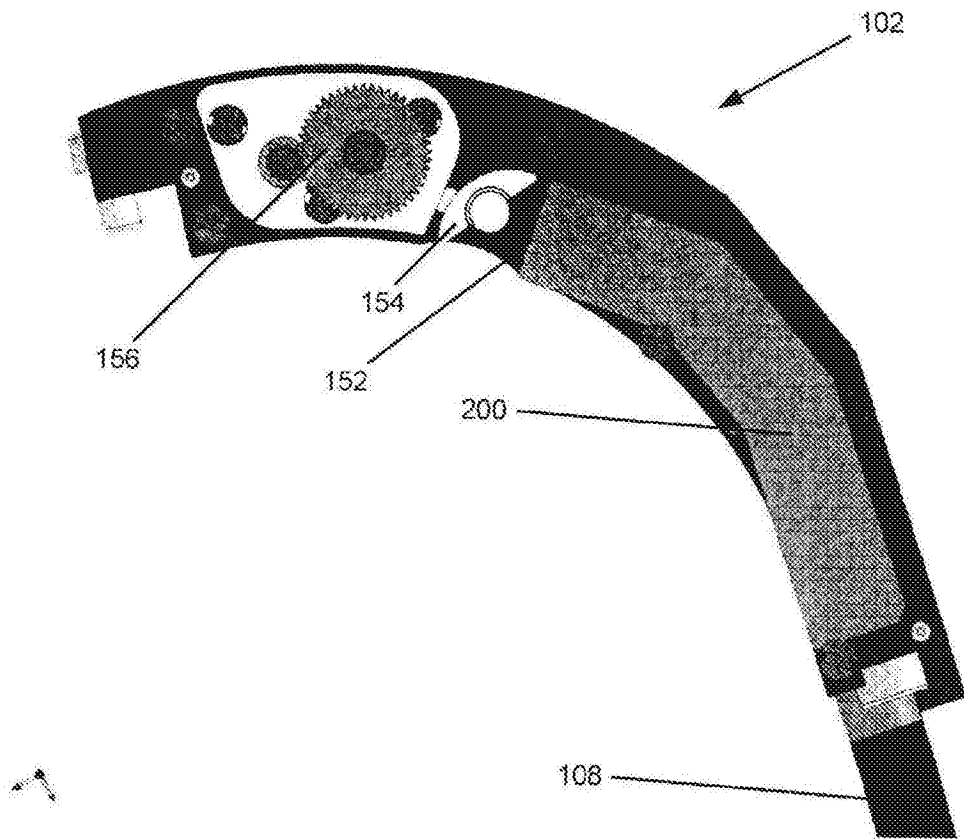


图46

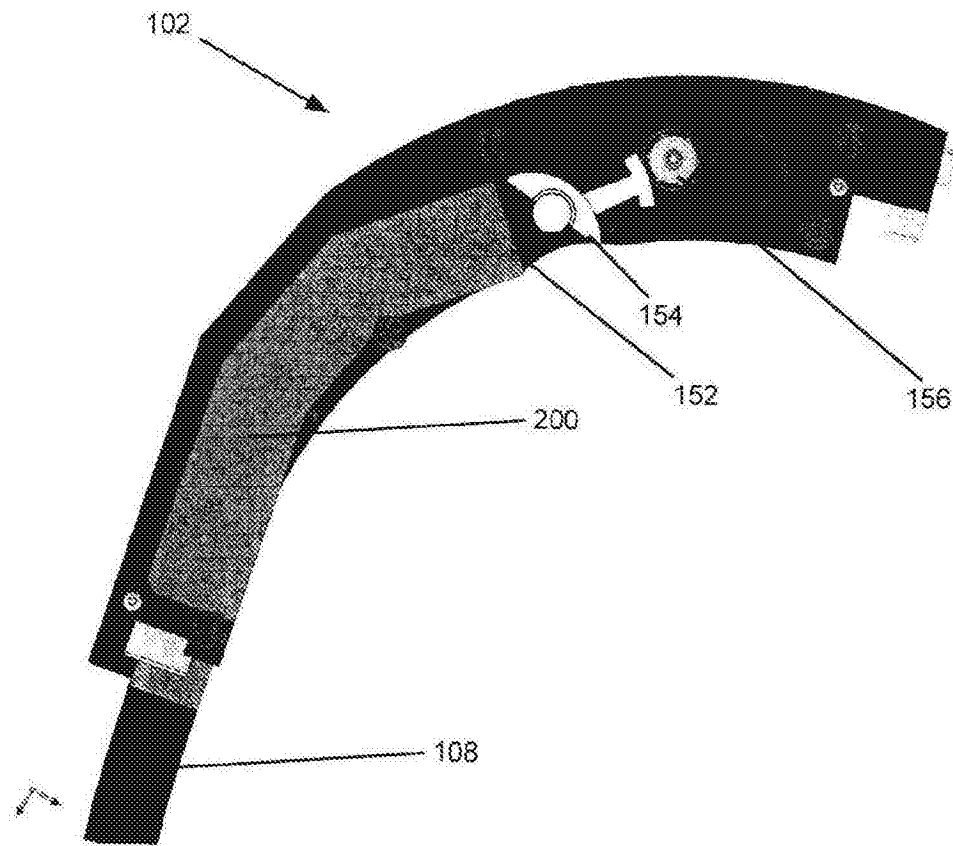


图47

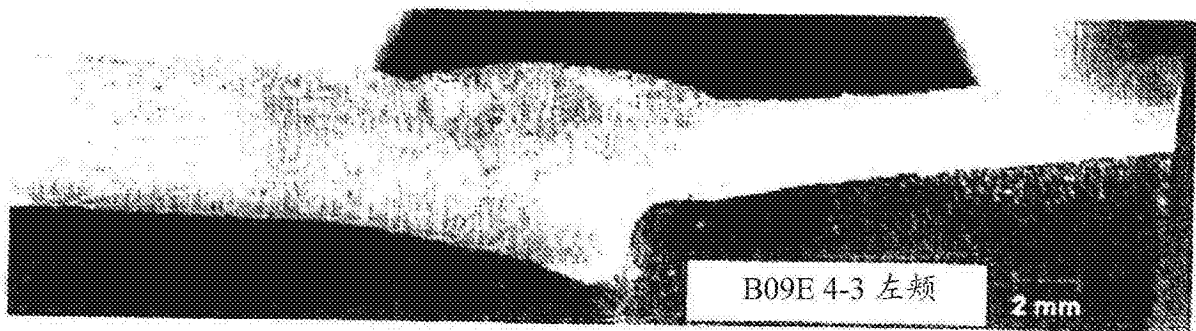


图48

配件到配件焊接检验区域

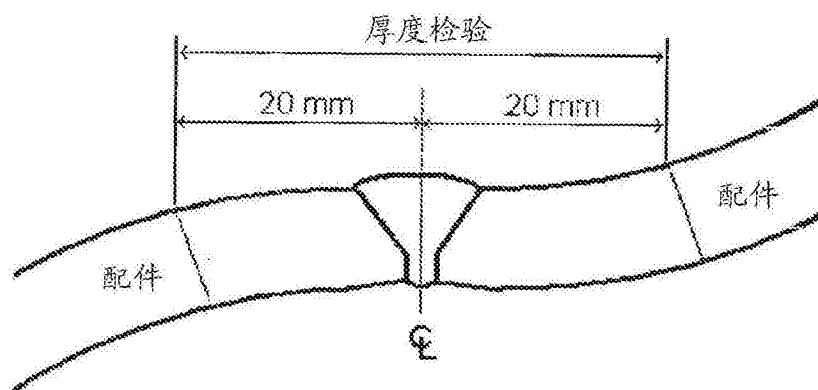
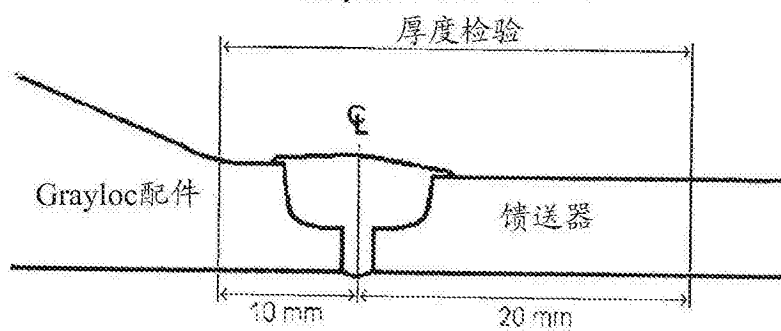


图49

Grayloc焊接检验区域



焊接根部0-3.2 mm宽

焊帽7-16 mm宽

图50

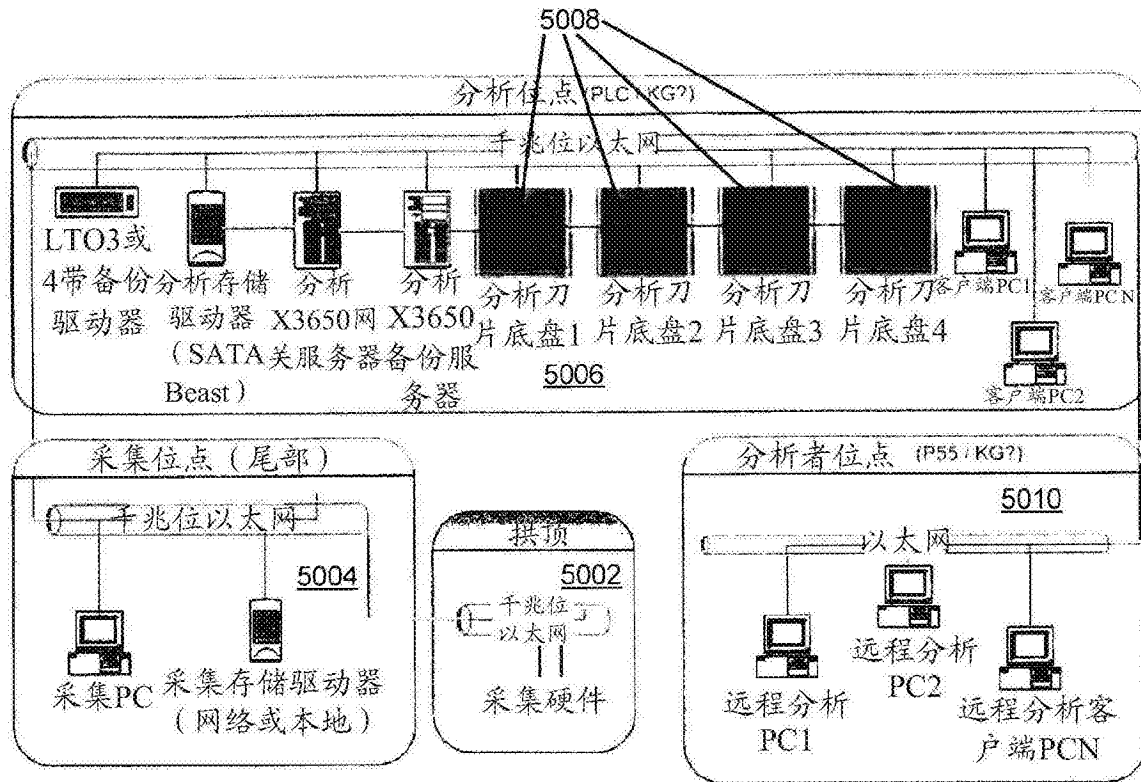


图51

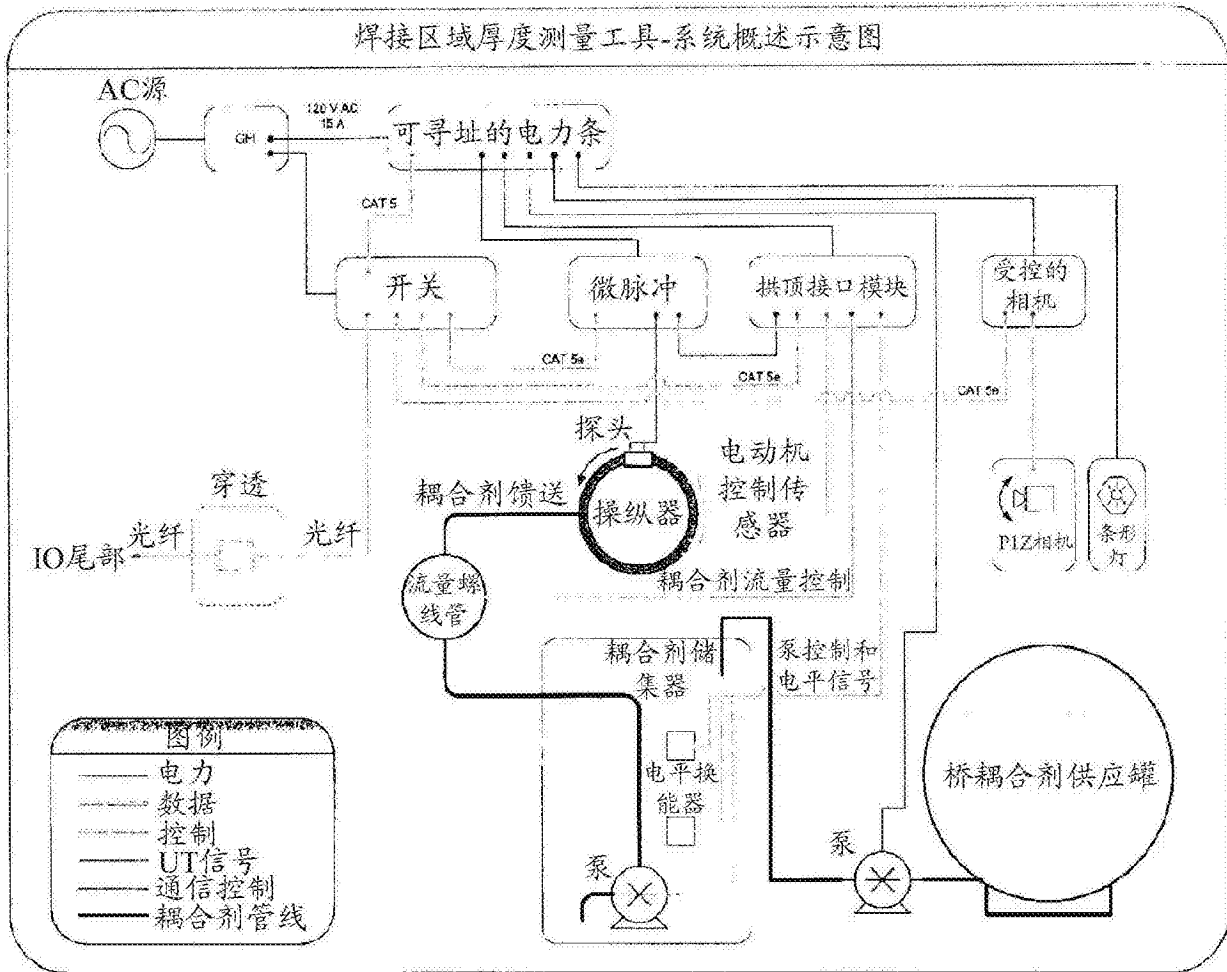


图52

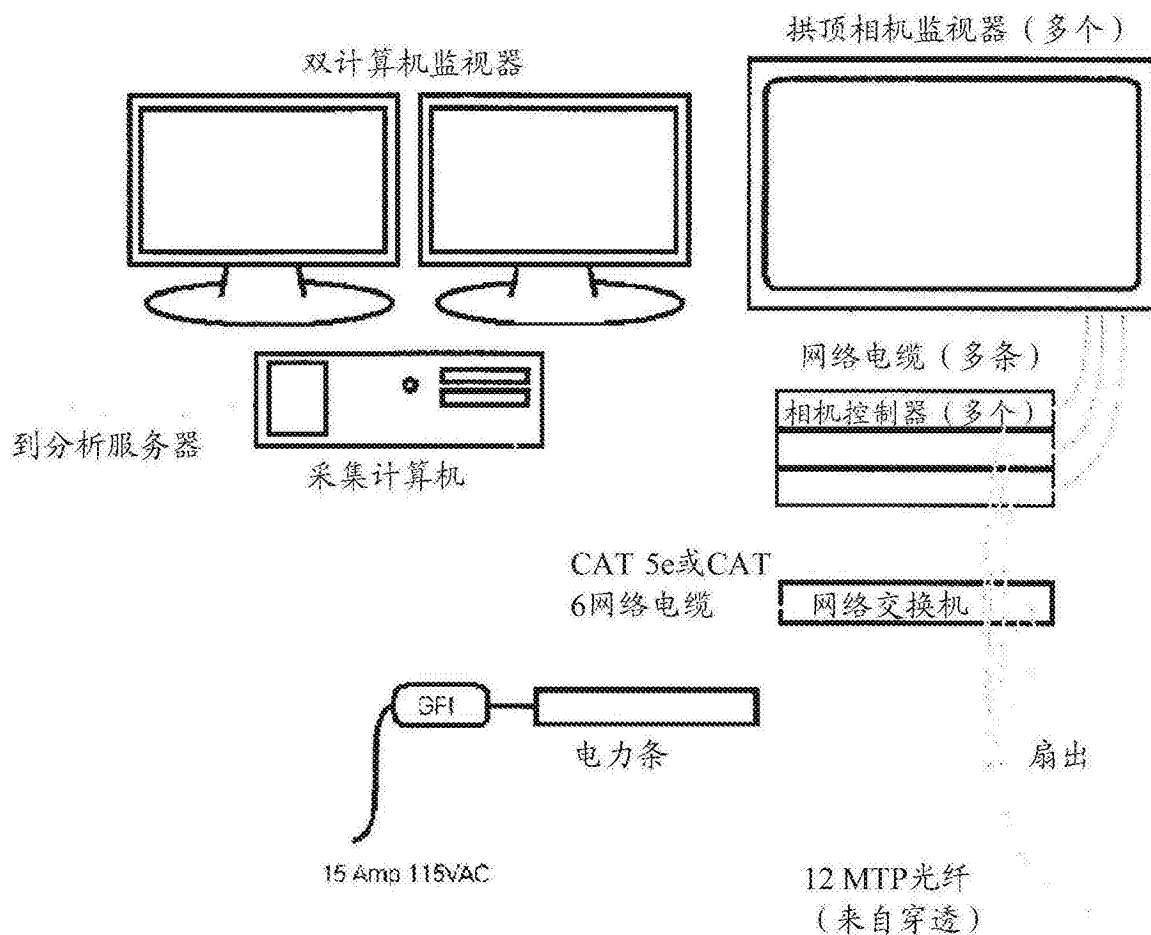


图53

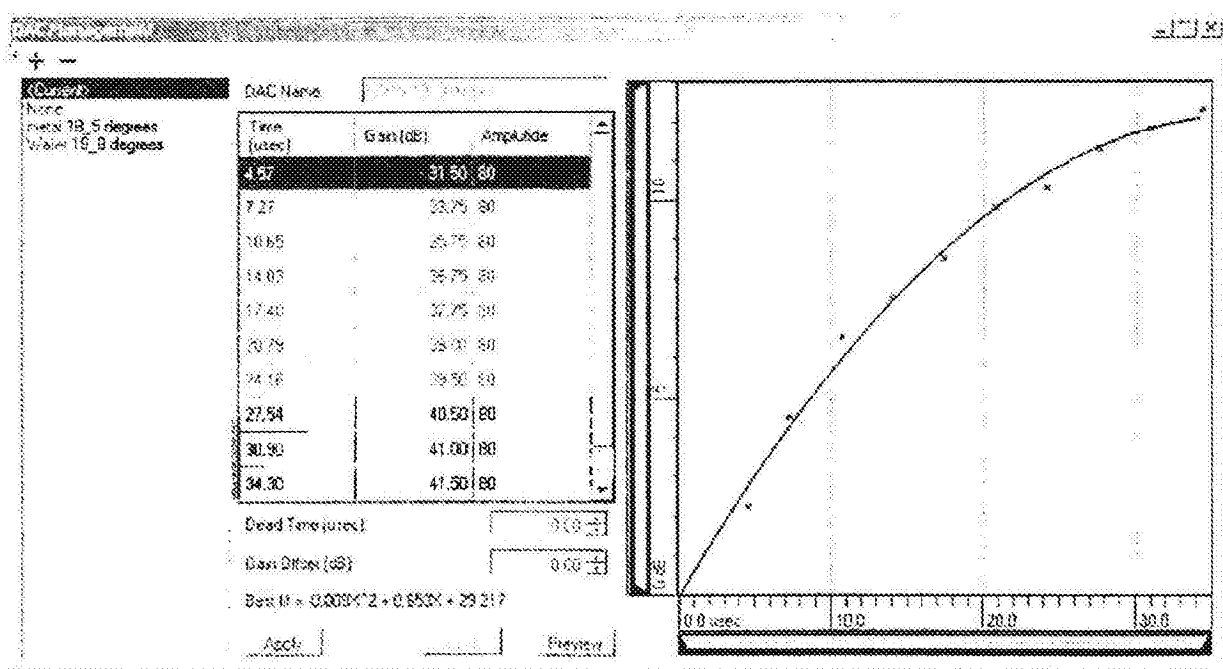


图54

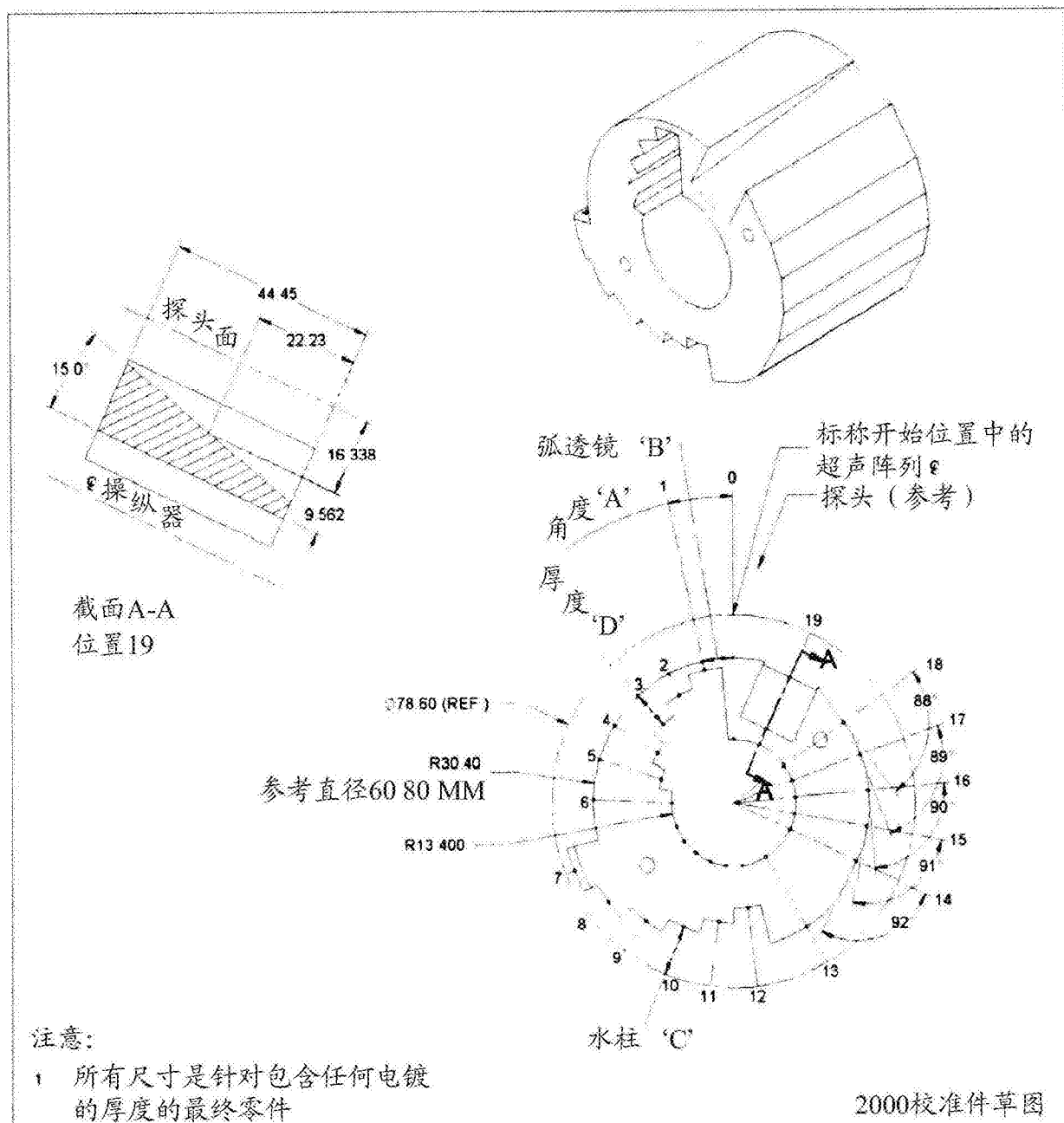


图55

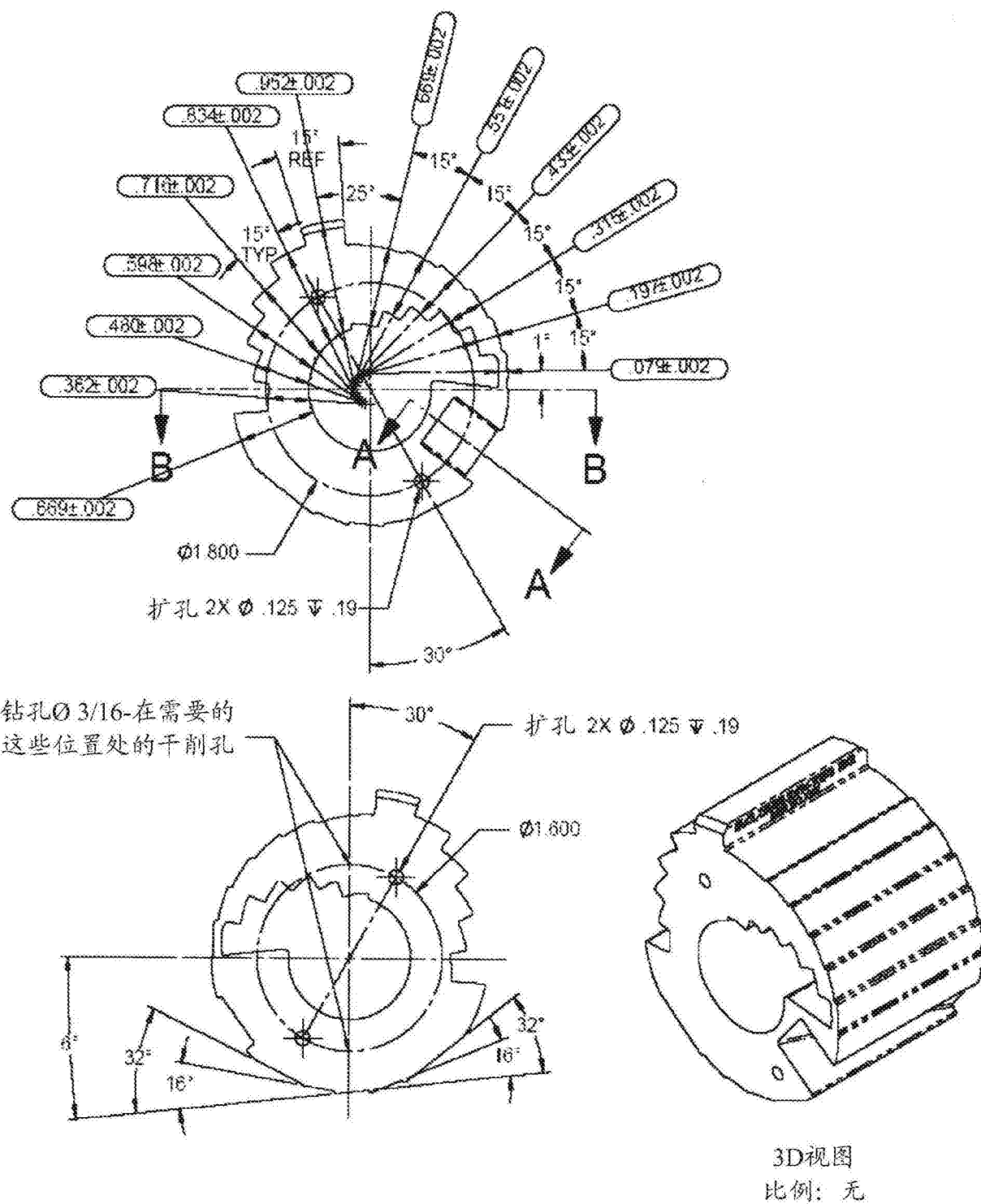


图56

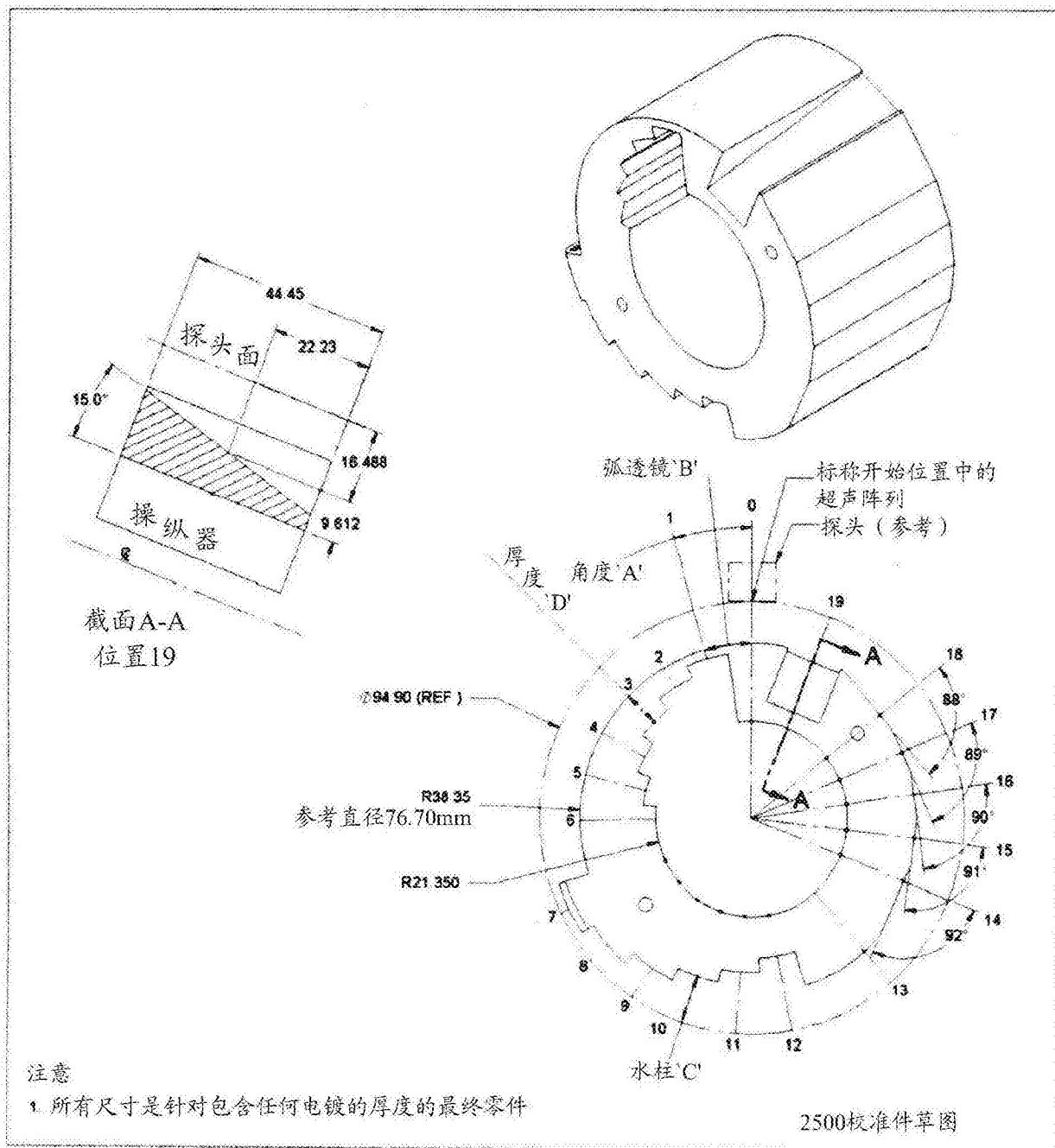


图57

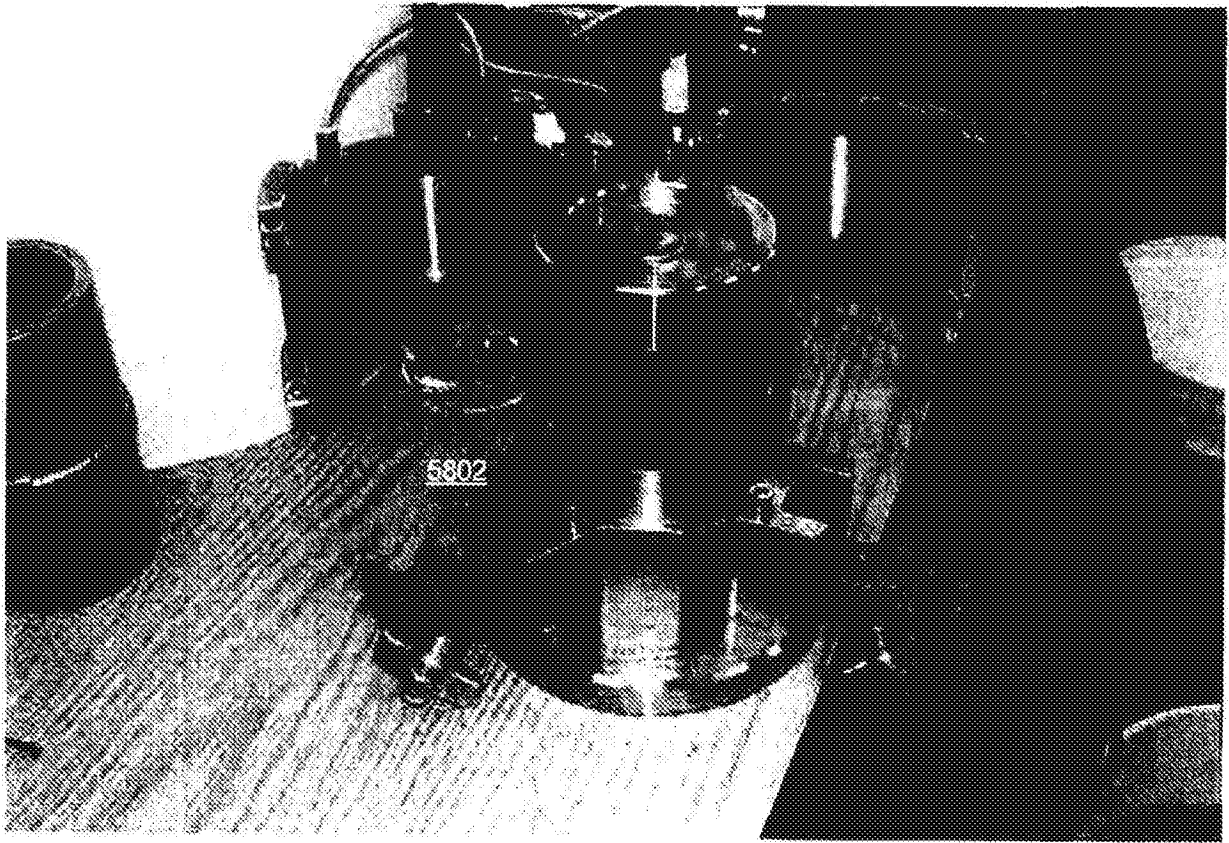


图58

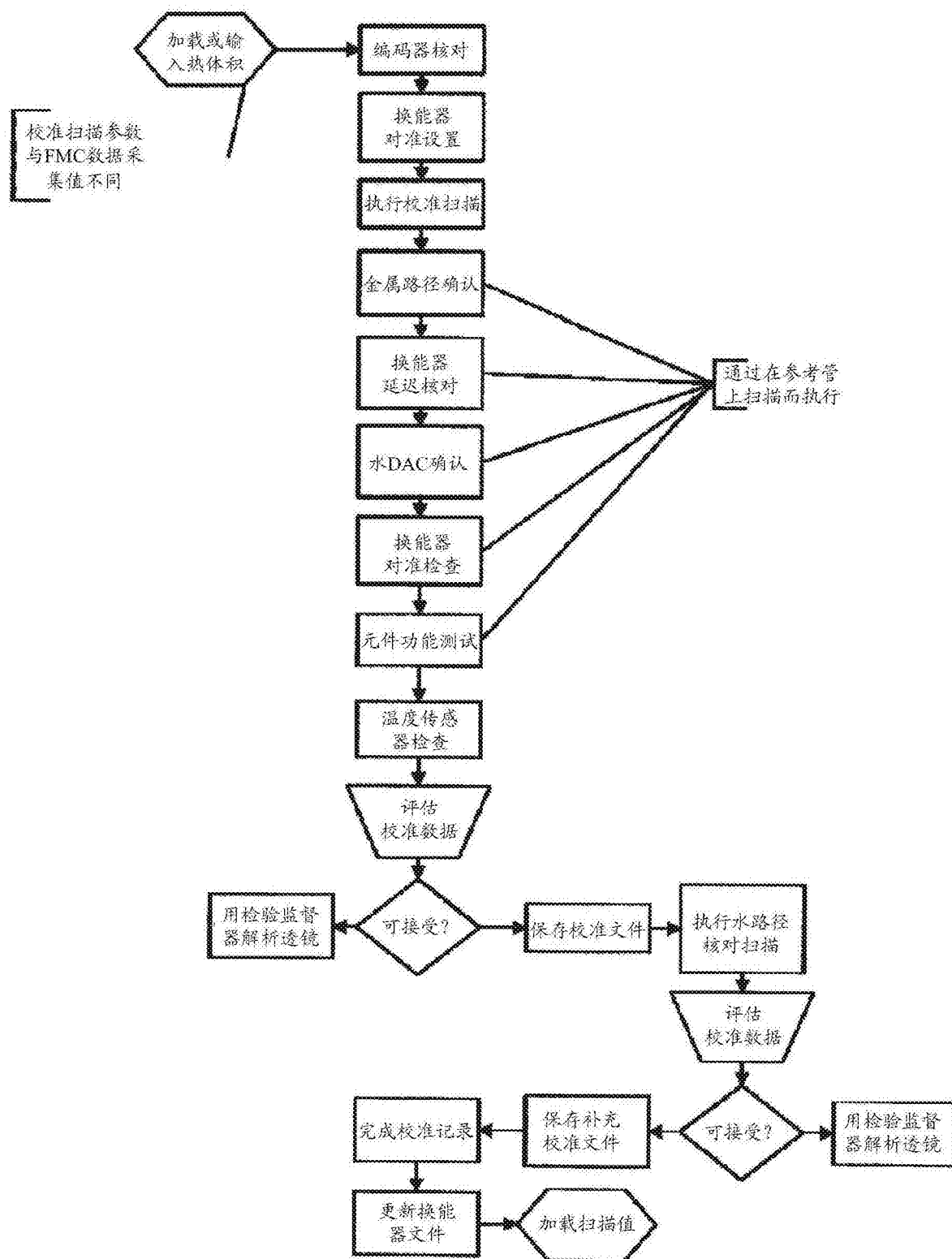


图59

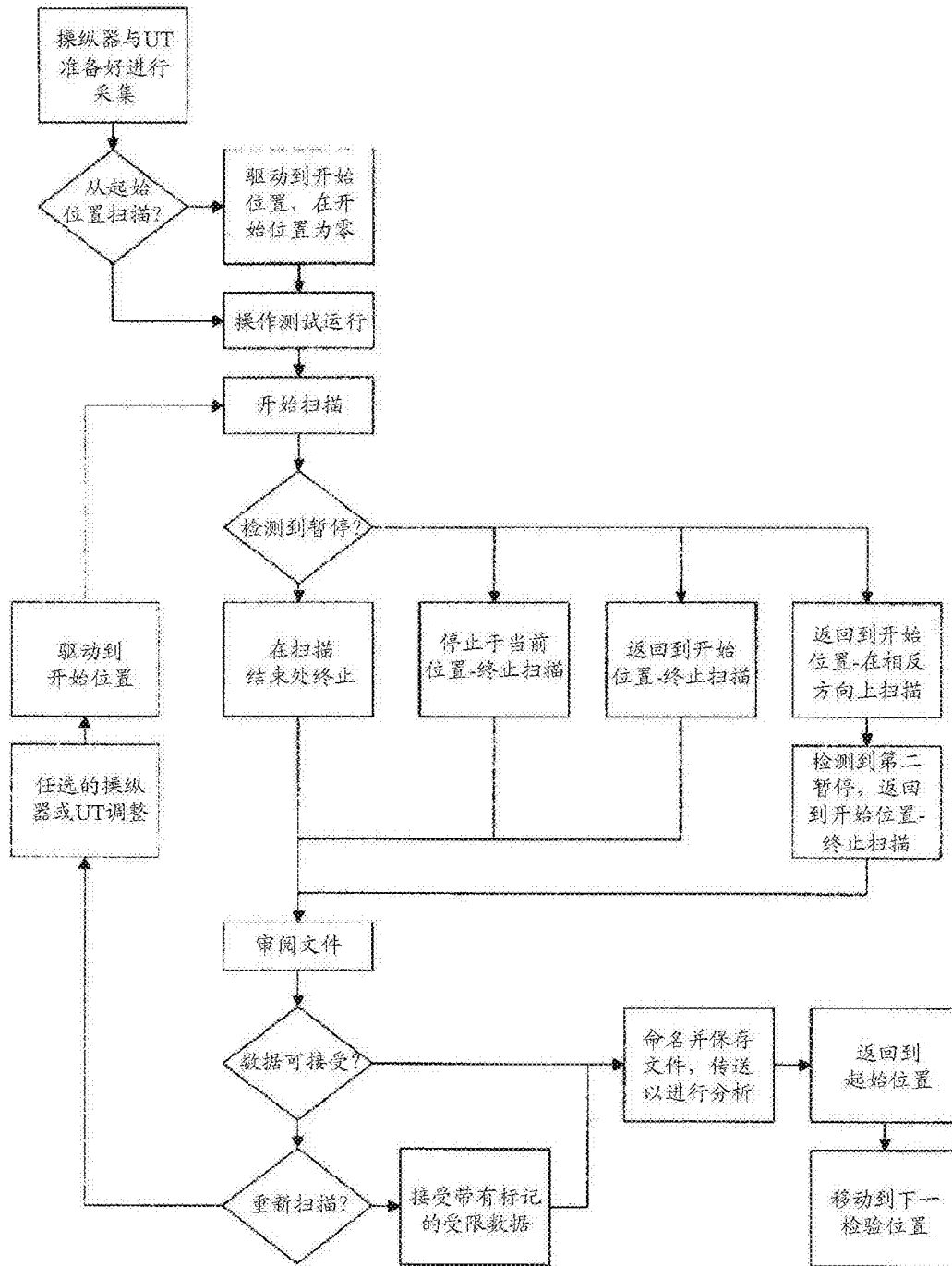


图60

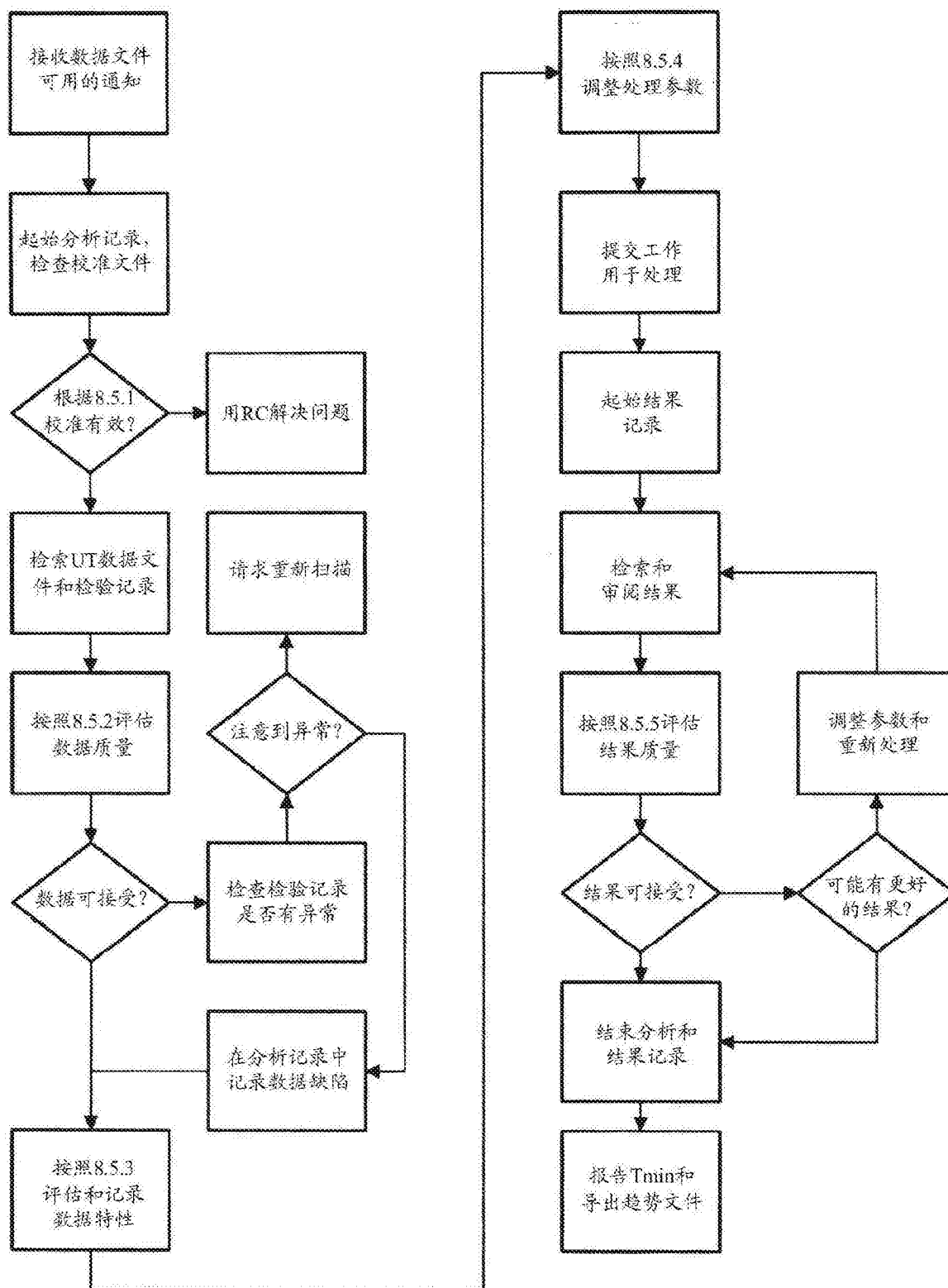


图61

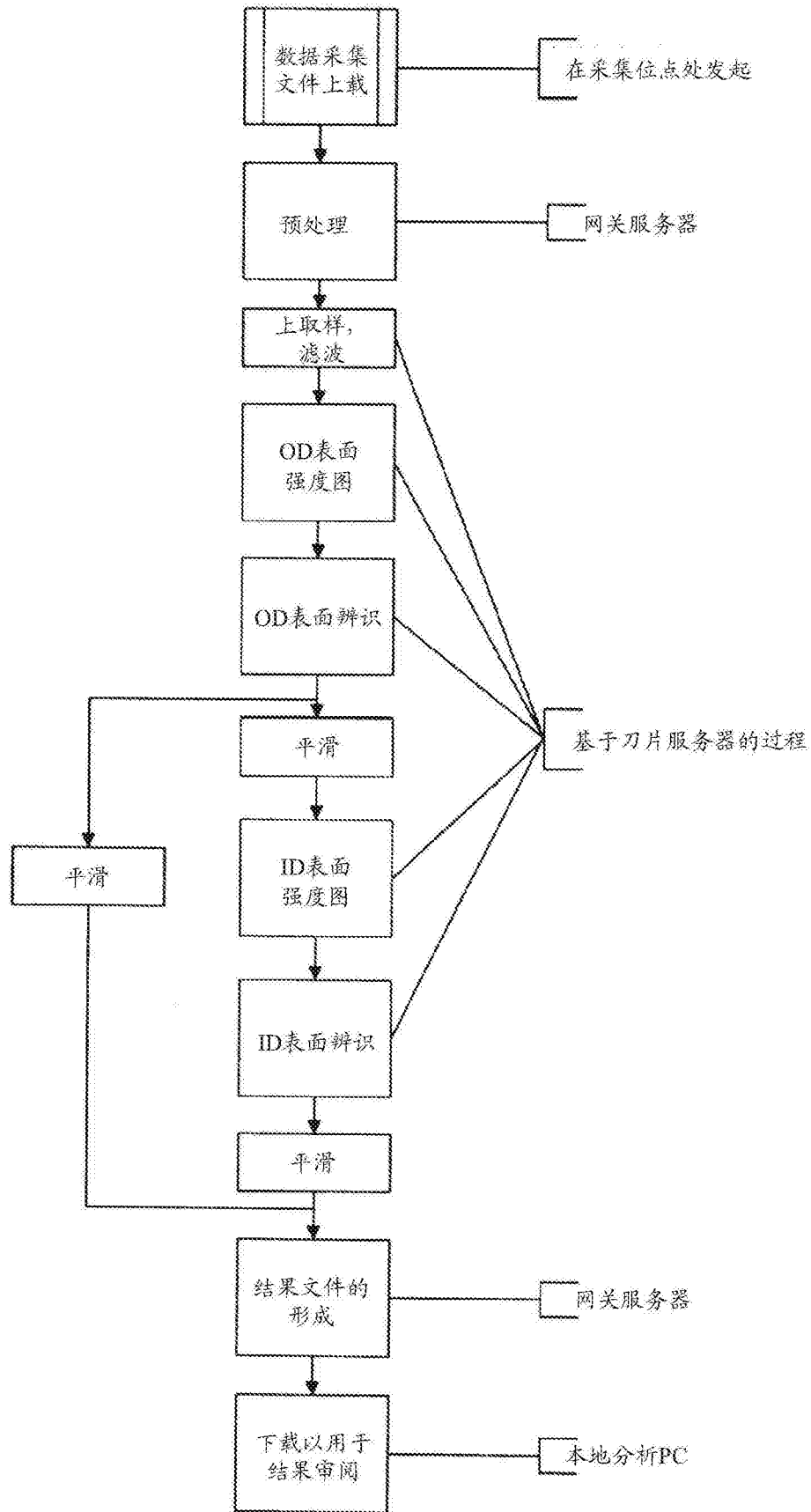


图62

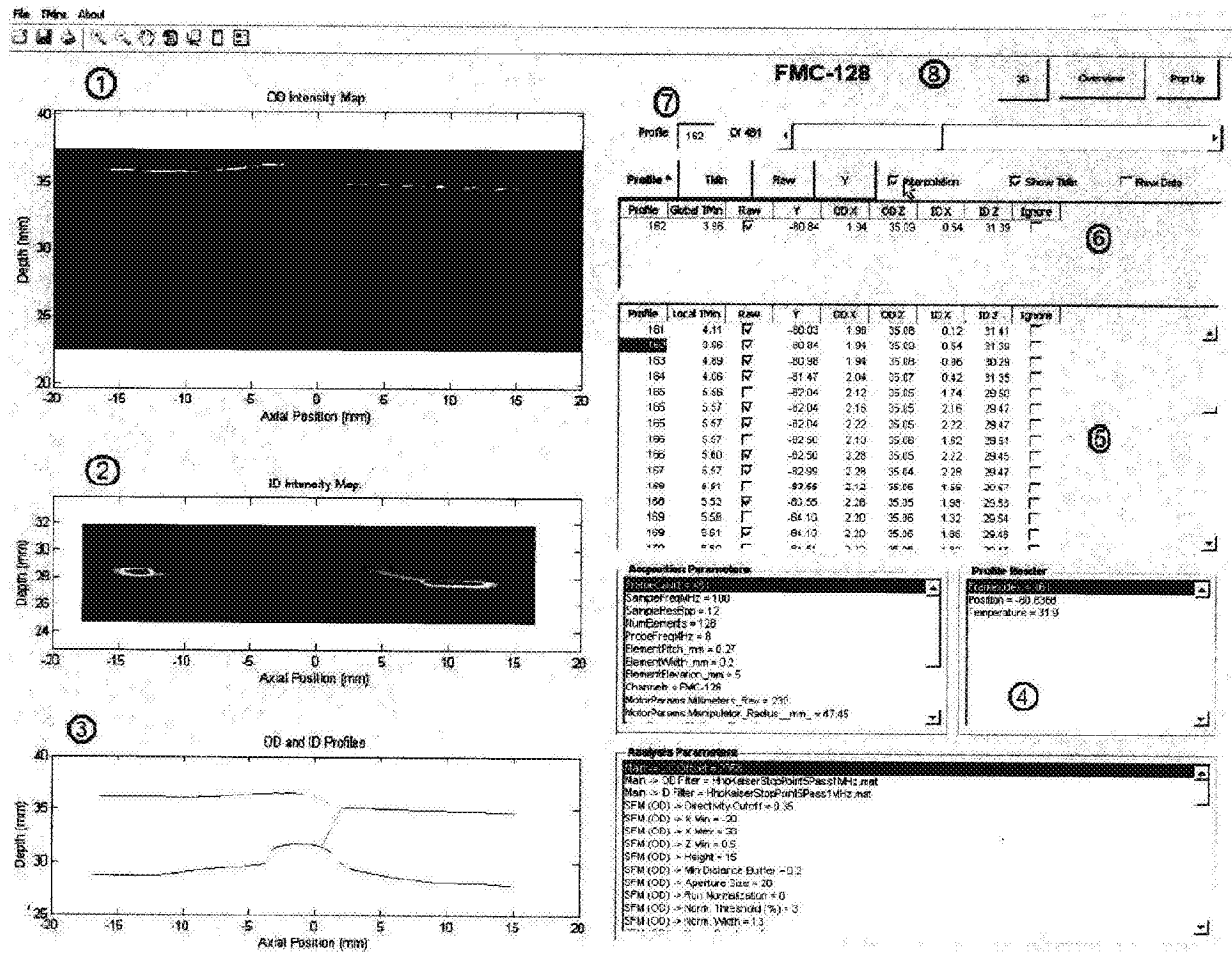


图63

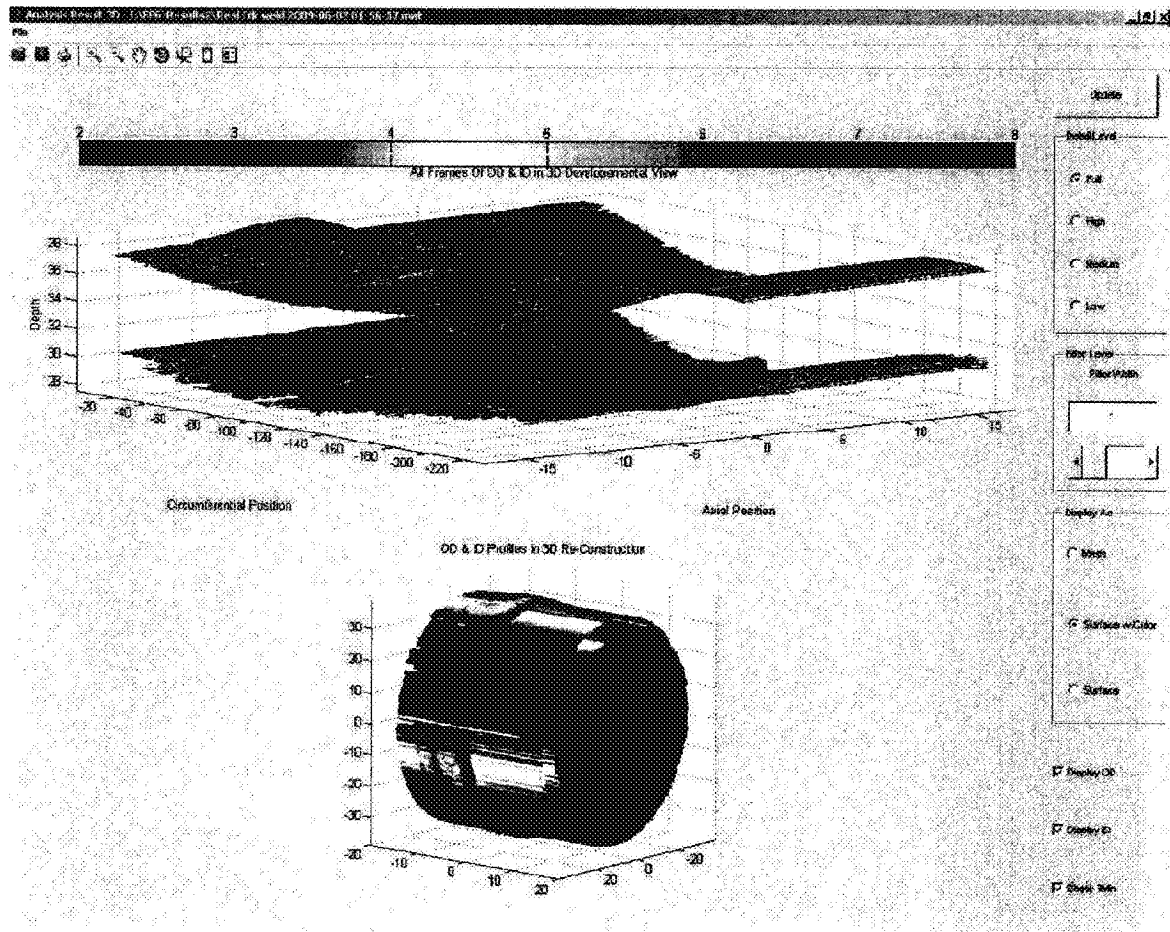


图64

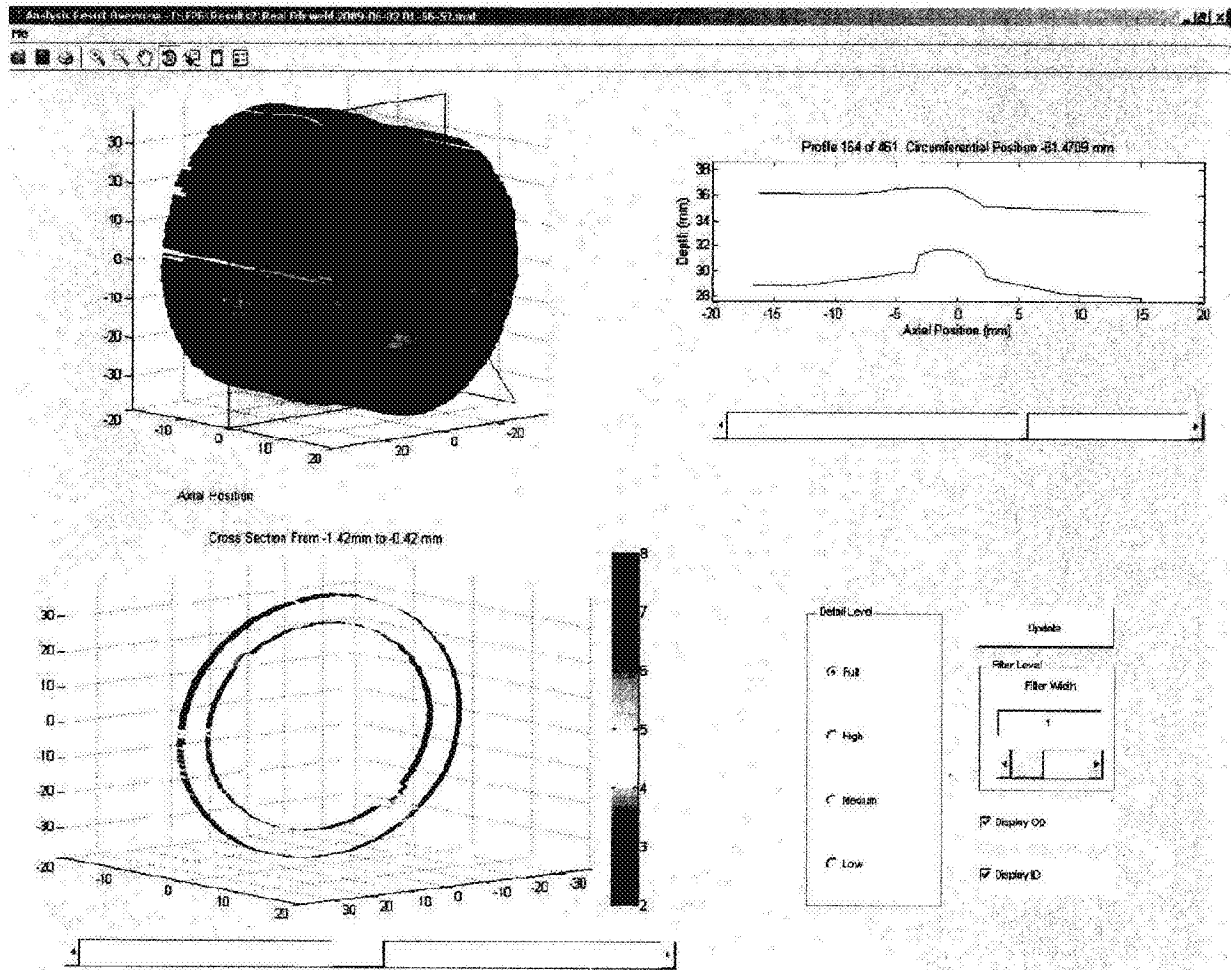


图65

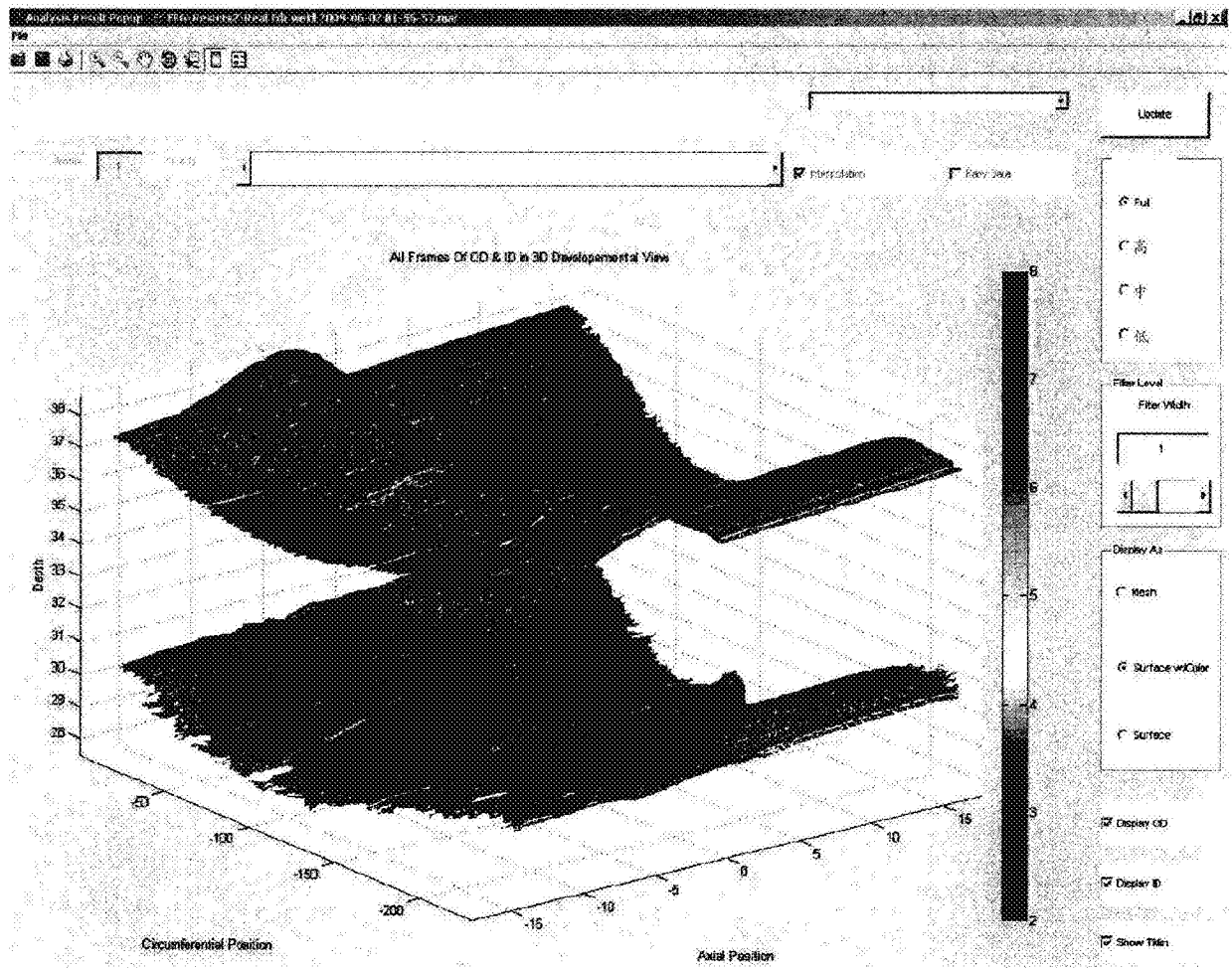


图66

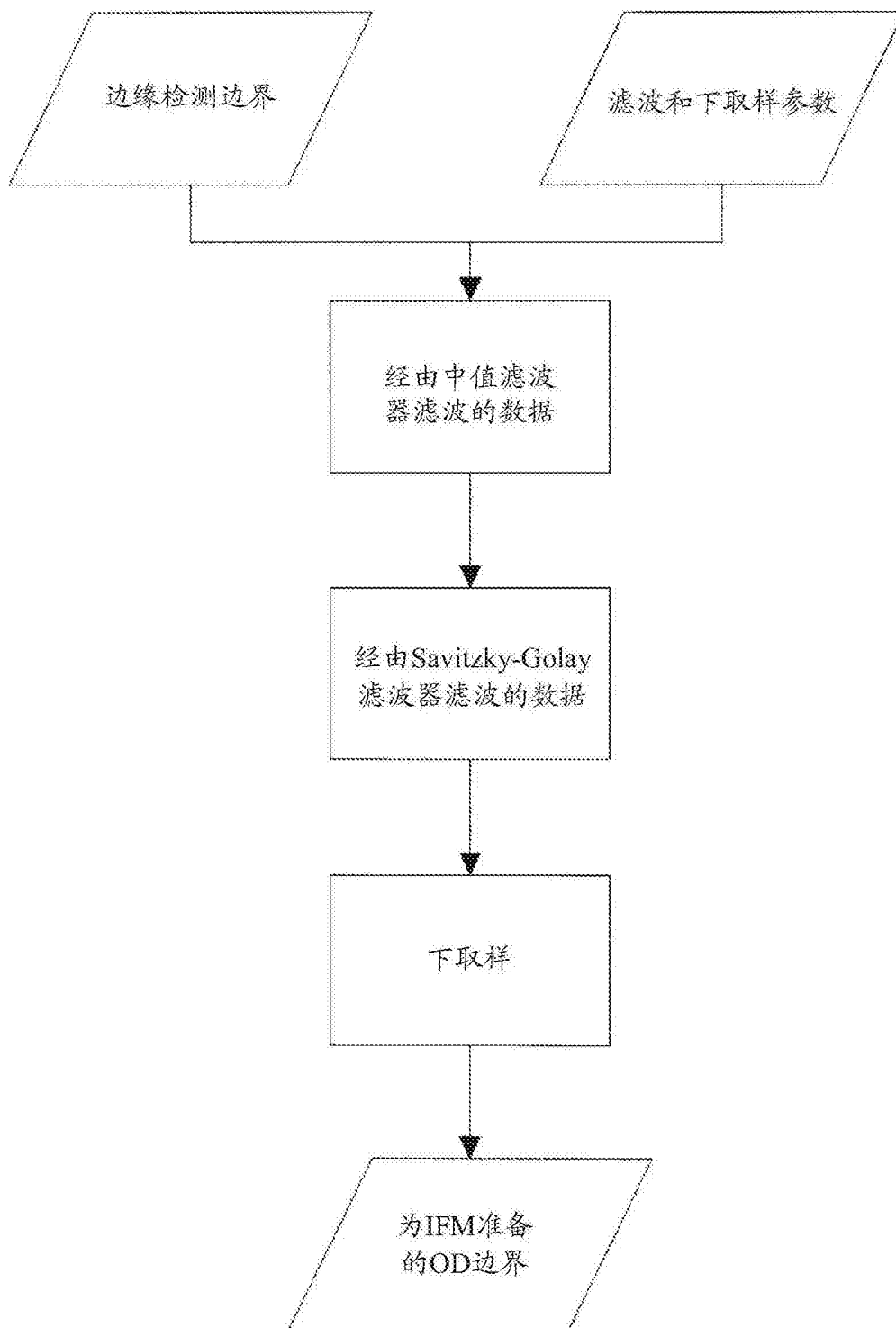


图67

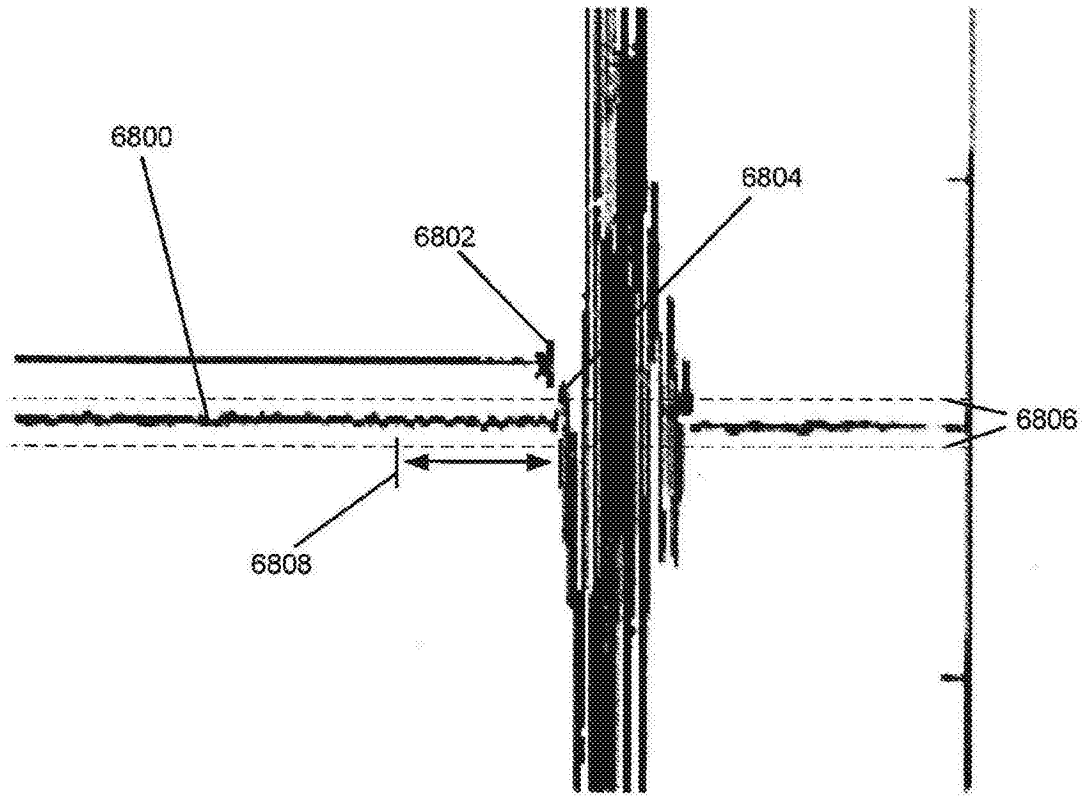


图68

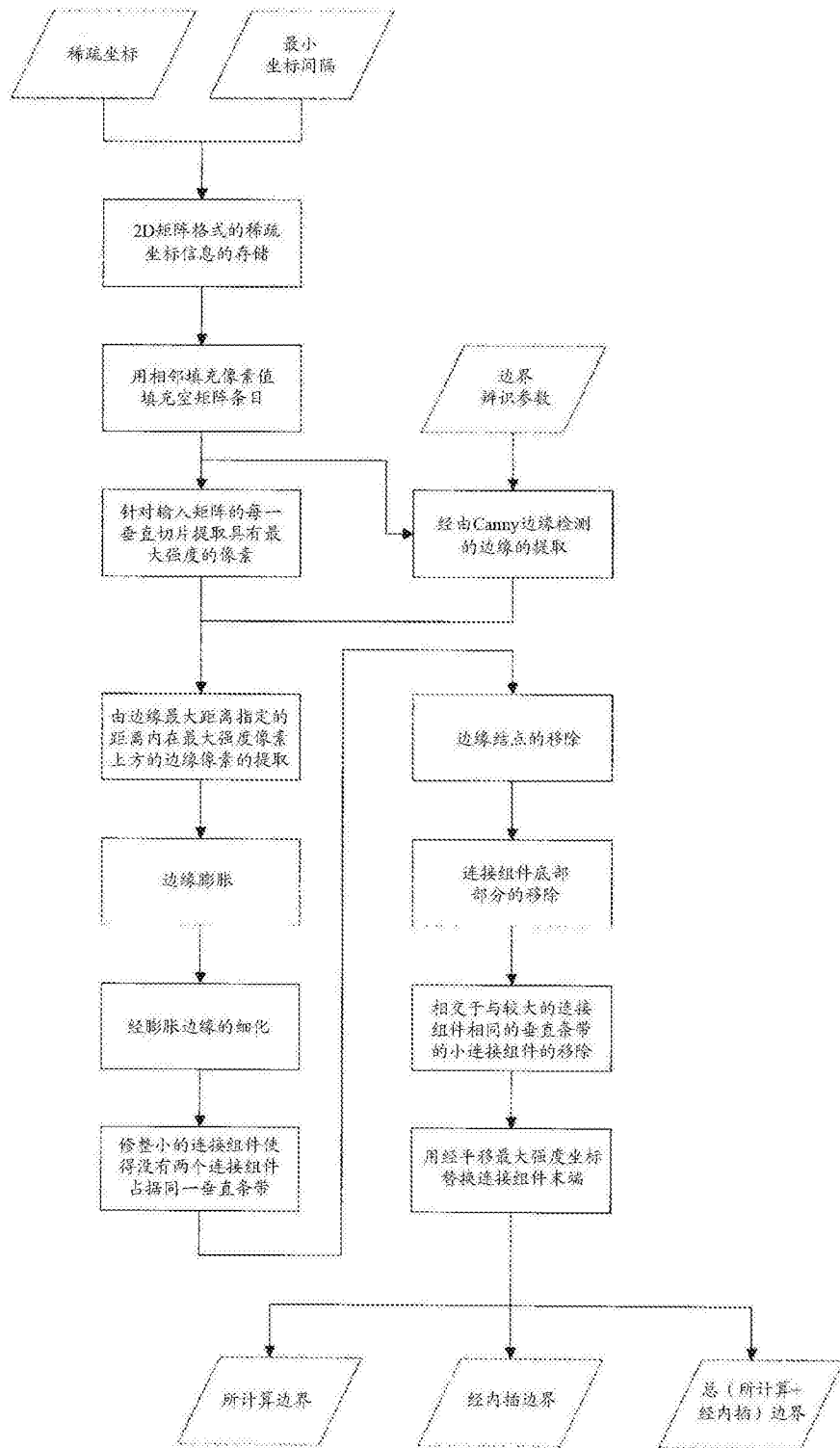


图69

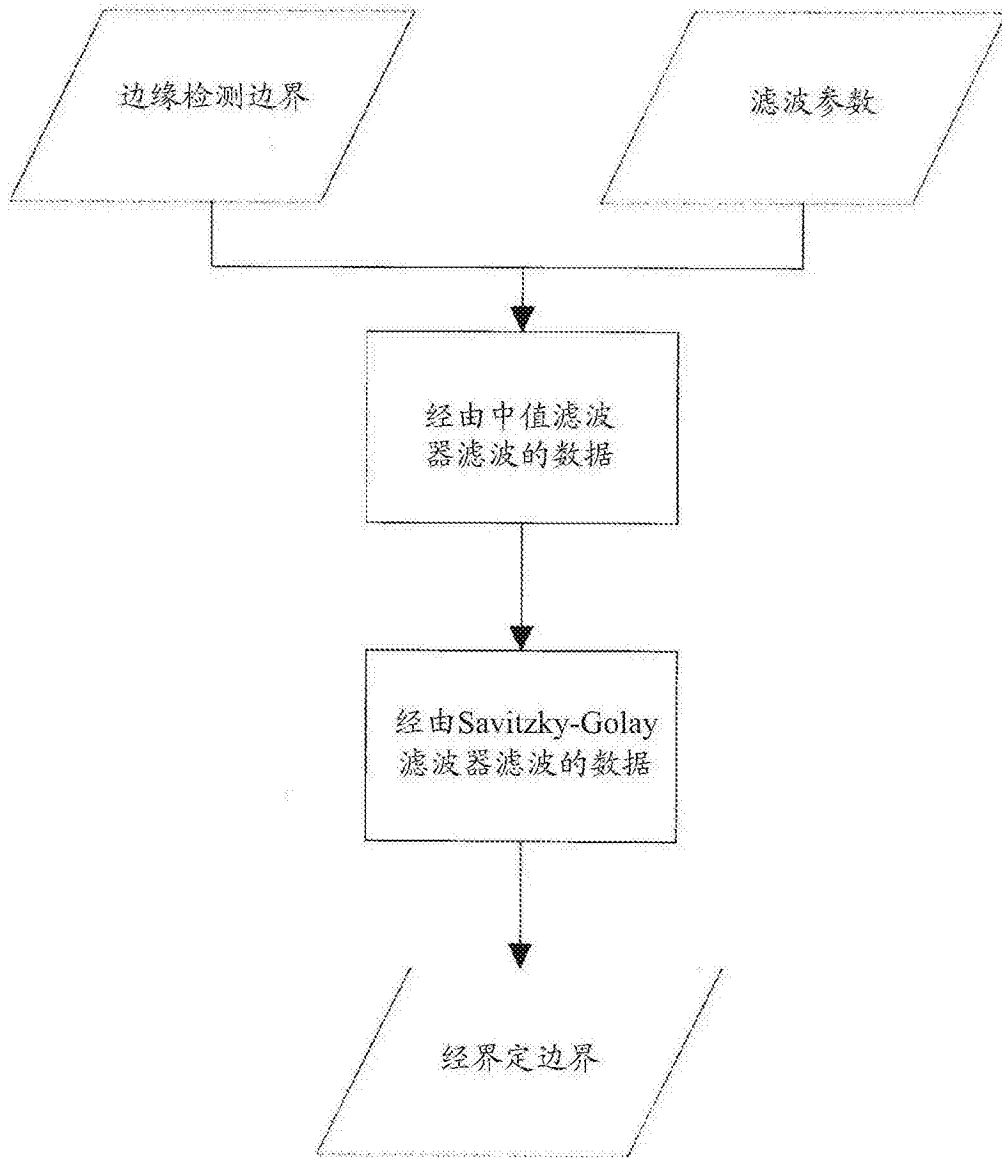


图70

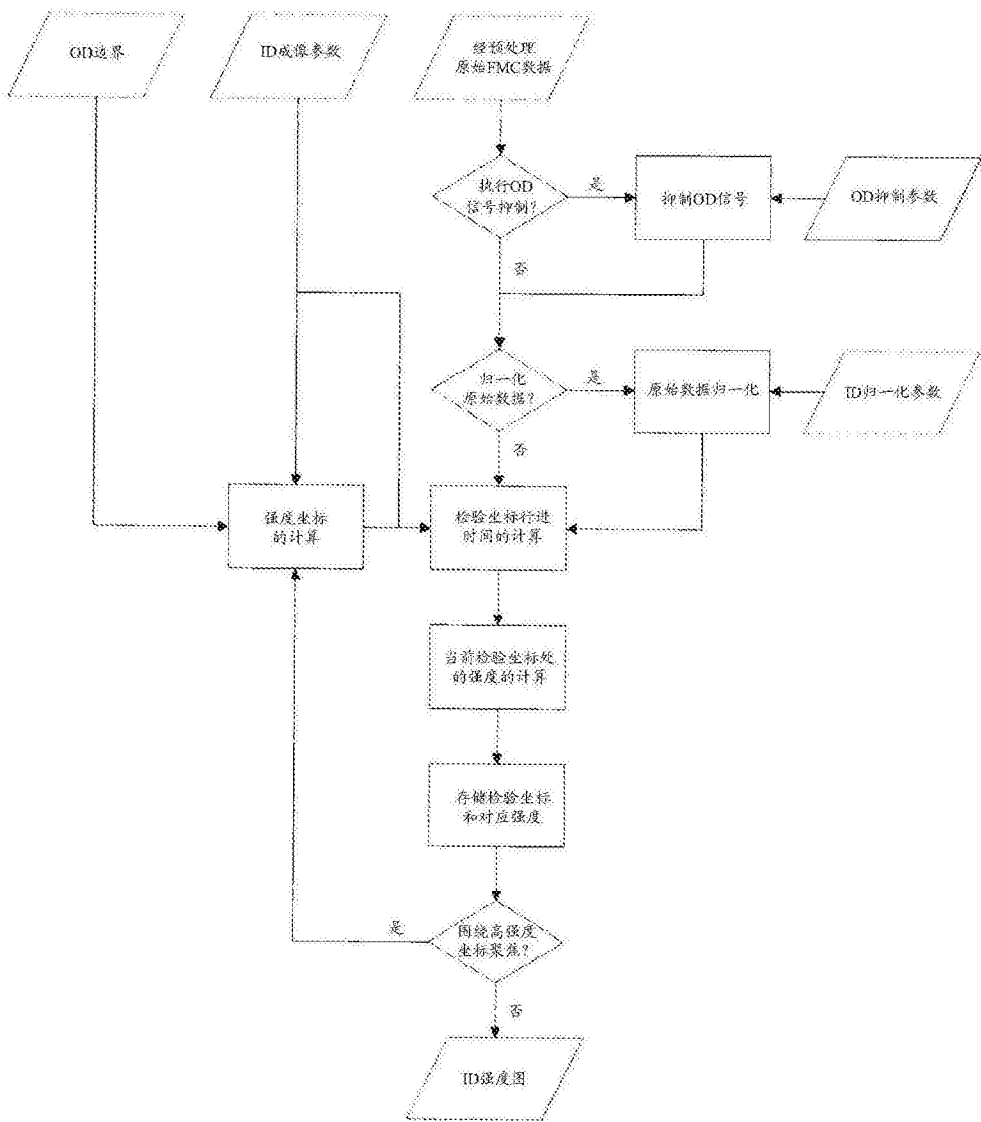


图71

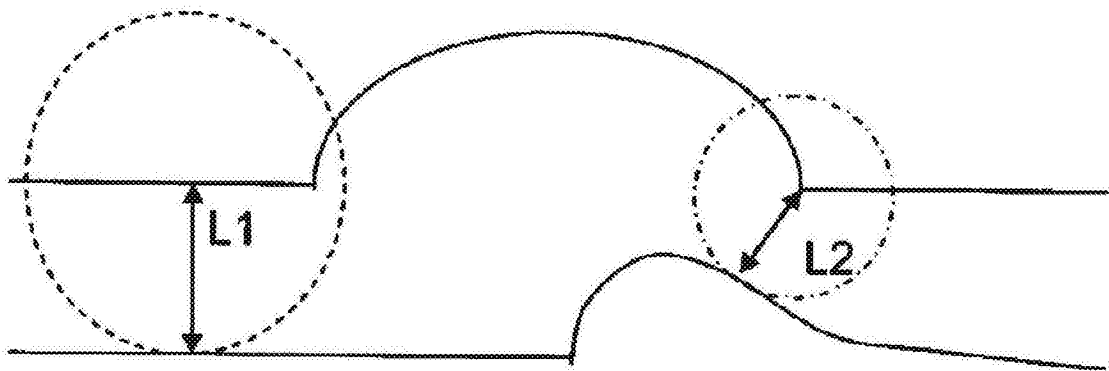


图72

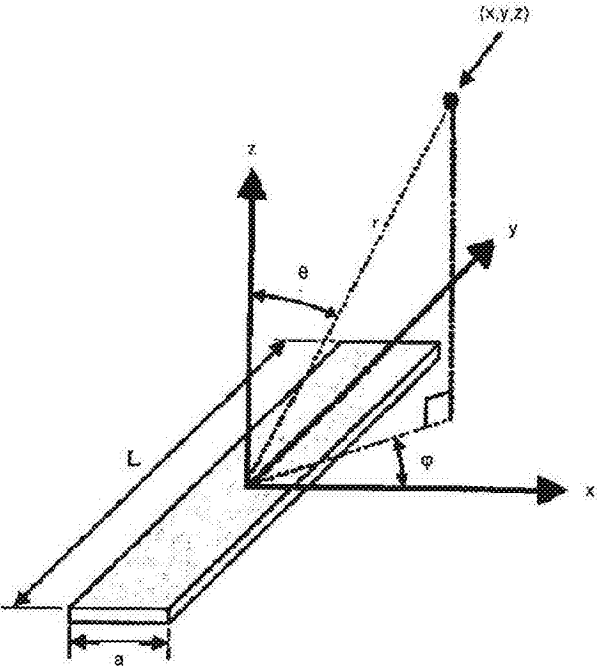


图73

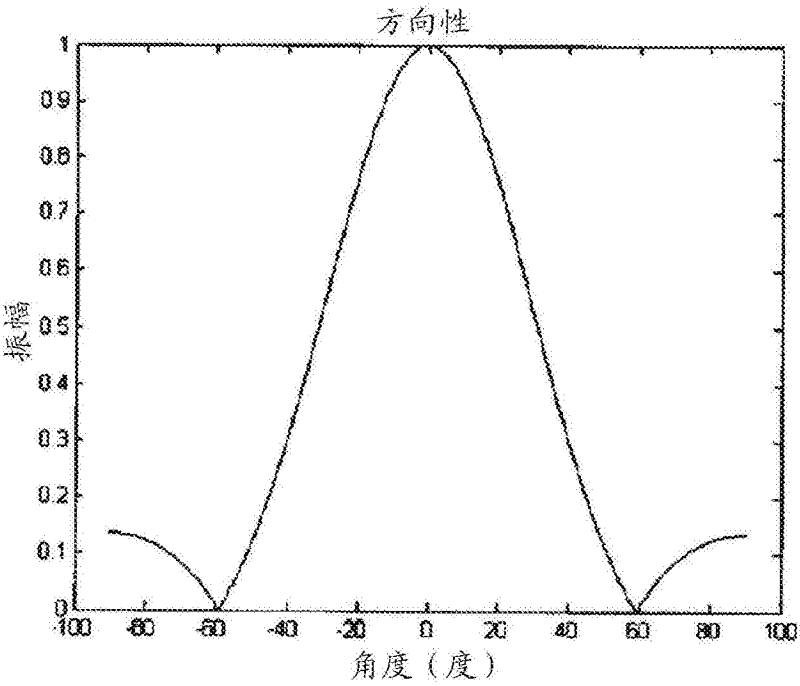


图74

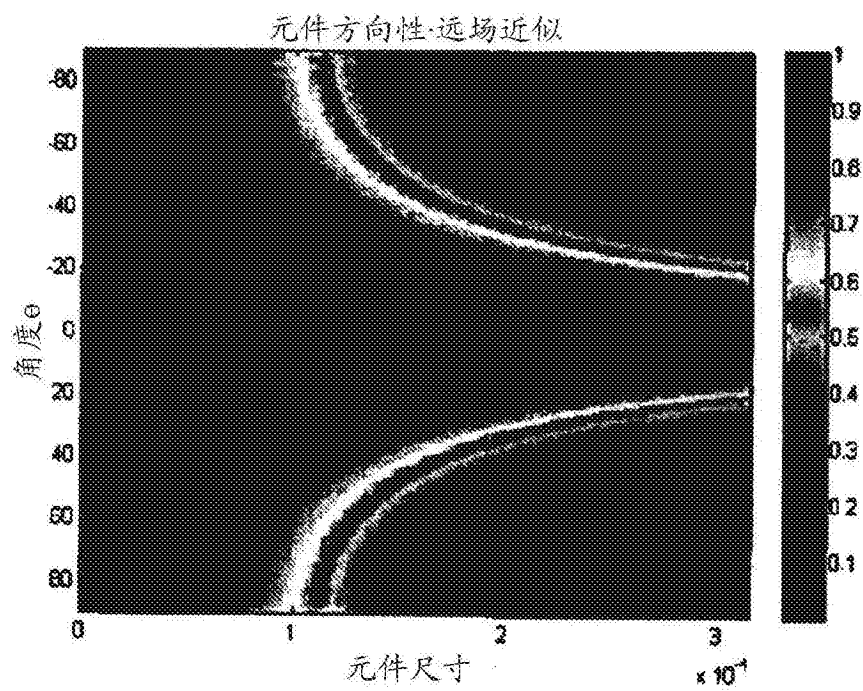


图75

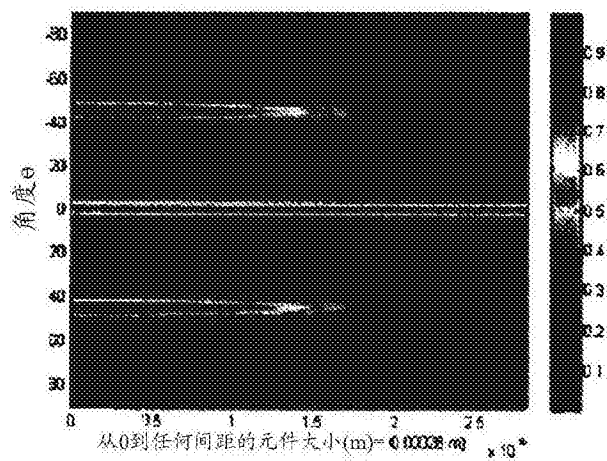


图76 (a)

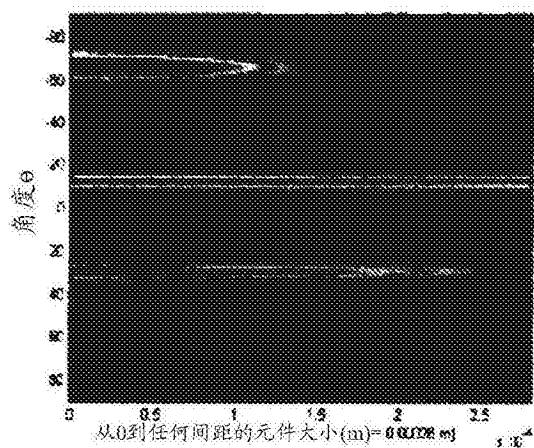


图76 (b)

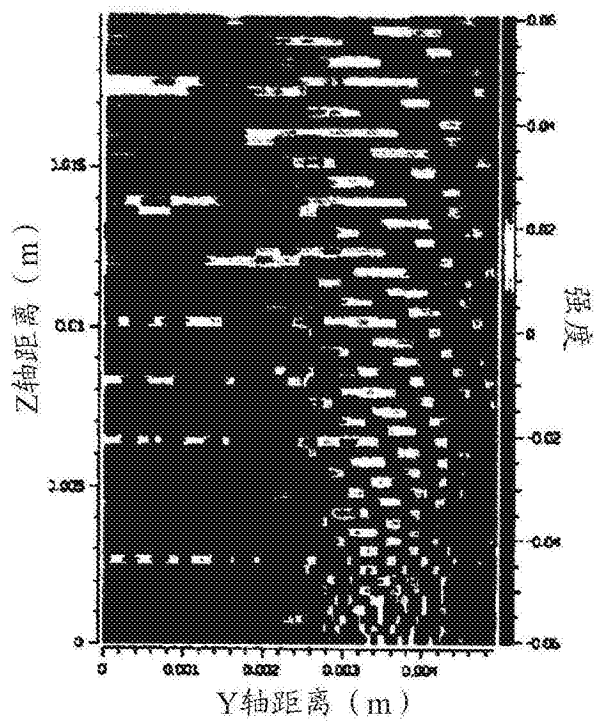


图77 (a)

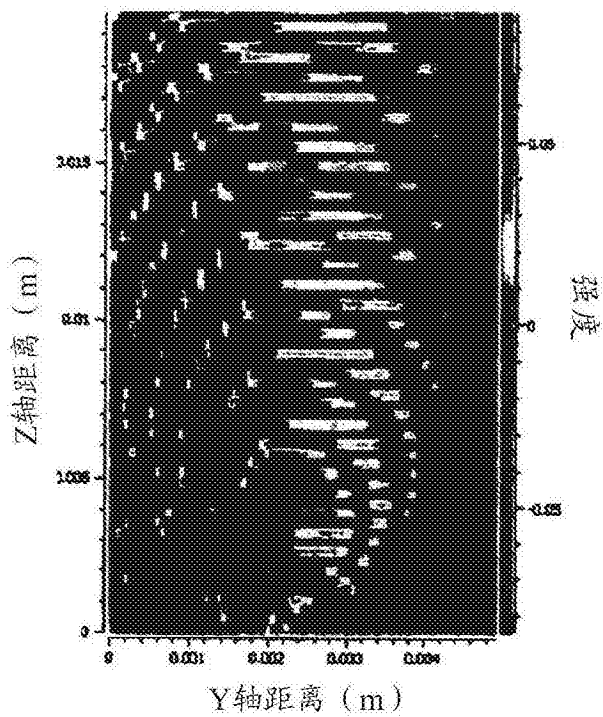


图77 (b)

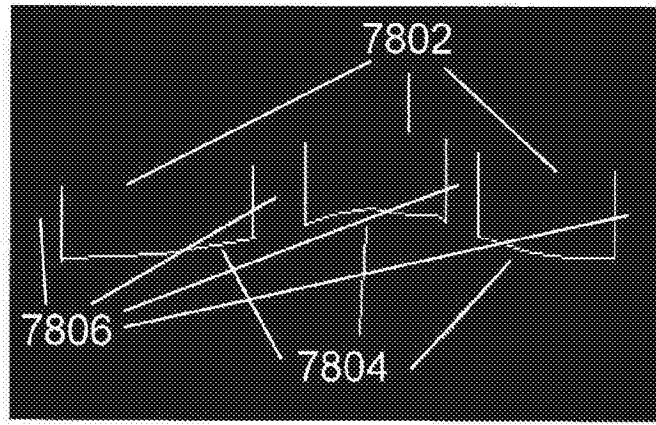


图78

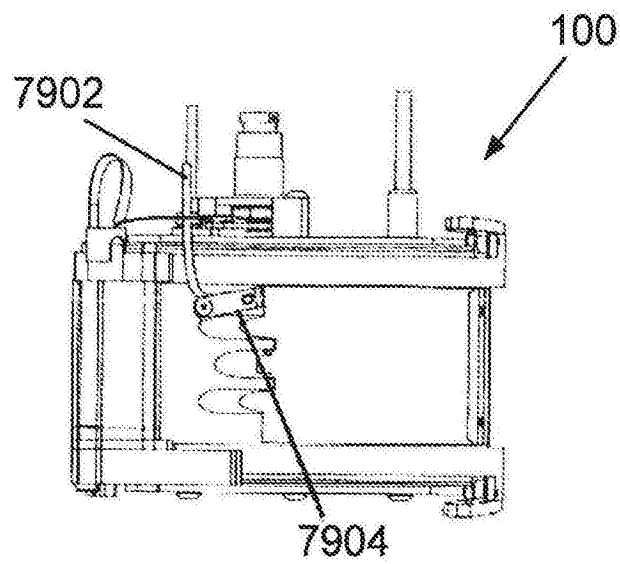


图79

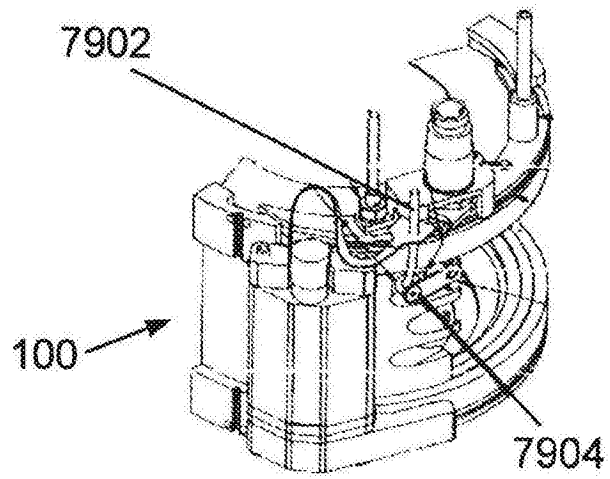


图80