

一种用于焊缝检测的超声成像方法

授权公告号 CN 105699492 B

授权公告日 2018.11.13

技术领域

[0001] 本发明涉及焊缝的超声无损检测技术领域，尤其涉及一种用于焊缝检测的超声成像方法。

背景技术

[0002] 近年来，超声在无损检测 (NDT) 领域的应用越来越广泛，对于焊缝，一般分为基于单晶片换能器的传统检测方法和基于阵列的超声成像方法。前者又包括衍射时差法和脉冲反射法等。

[0003] 超声波衍射时差法是一种依靠从焊缝内部结构的“端角”和“端点”处得到的衍射能量来检测缺陷的方法，用于缺陷的检测、定量和定位。采用衍射时差技术对焊缝中部缺陷定量，其定量精度远远高于脉冲反射法超声波检测。而基于阵列的超声无损检测相对于传统的采用单晶片换能器的超声无损检测的主要优势在于：可以通过电子系统控制声束的偏转和聚焦，进而可以控制声束沿特定区域进行扫描，从而提高了检测速度和成像质量，最终使缺陷的定量和定位更加直观、快速和准确。

[0004] 传统的阵列超声成像在相控阵探头与被测对象交界面之间的耦合方式，一般包括采用耦合剂直接耦合或者通过放置楔块进行耦合。前者主要是采用纵波进行检测；而当采用楔块为斜楔块进行耦合时，可以用以改变声束的传播方向和转换波型，这样可以采用横波检测那些不能在表面或正上方直接放置相控阵探头的焊缝，通过延时叠加波束形成方法对缺陷区域进行成像。在成像过程中，目前主要采用定焦点发射和接收逐点聚焦的方法，以改进成像效果。但是定焦点发射往往致使成像分辨率下降。对于焊缝的超声相控阵检测，由于成像区域特别近，定焦点发射带来的声波衍射问题进一步加剧了成像分辨率的下降，从而减弱了小型缺陷检测的灵敏度。

[0005] 由上述内容可知，对于焊缝的相控阵超声检测，需要进一步改进成像质量，以保证超声相控阵焊缝无损检测的可靠性，减少因为焊缝焊接质量不合格带来的事故。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于，为了解决上述现有的焊缝超声检测方法存在的定量和定位不准确、检测速度不高，或对缺陷区域的成像分辨率低的技术问题，本发明提供一种用于焊缝检测的超声成像方法，不同于上述传统的超声成像方法，本发明针对焊缝检测的特殊性，采用直达波及多次反射波联合检测，采用以单阵元依次发射，全孔径采集数据，对每一成像点都实现收发聚焦。并针对使用斜楔块产生横波的情形，精确地计算各个阵元经过斜楔块传播至检测点的延时，并进行逐点成像，结合焊缝的物理尺寸及位置，进行自动识别及标注，以提高对焊缝中的小型缺陷检测的灵敏度及效率。

[0007] 为了实现上述目的，本发明提供了一种用于焊缝检测的超声成像方法，

包括以下步骤：

[0008] 步骤 1) 根据待测工件的形状、尺寸和焊缝在工件上的位置，结合超声相控阵探头的几何尺寸，确定超声相控阵探头的位置、超声波的波型、检测的回波次数及目标检测区域的成像范围；

[0009] 步骤 2) 将步骤 1) 中确定的成像范围通过网格划分成若干像素，以每个像素的中心坐标作为聚焦点的位置坐标；

[0010] 步骤 3) 根据步骤 1) 中确定的超声相控阵探头的位置放置探头，激发超声相控阵中每一个阵元依次单独发射超声波，并利用全部阵元同时接收该超声波的回波信号；

[0011] 步骤 4) 根据每个阵元和像素的相对位置，将步骤 3) 中获得的回波信号进行逐点聚焦成像处理，得到各像素所对应的回波强度；

[0012] 步骤 5) 根据步骤 4) 中获得的各像素对应的回波强度，进行归一化、对数压缩、动态范围限制处理后得到超声检测图像；

[0013] 步骤 6) 根据步骤 1) 中确定的超声相控阵探头的位置、超声波的波型和目标检测区域的成像范围，通过几何位置标记位于步骤 5) 中得到的超声检测图像中的焊缝区域，以确定焊缝区域中的缺陷图像并显示。

[0014] 作为上述技术方案的进一步改进，所述步骤 4) 中的逐点聚焦成像处理过程具体包括以下步骤：

[0015] 步骤 401) 将所述的回波信号进行滤波；

[0016] 步骤 402) 记录每一个阵元依次单独发射的超声波的发射路径，及由各阵元单独接收该超声波的回波信号的接收路径；

[0017] 步骤 403) 根据步骤 402) 中得到每一个阵元依次单独发射的超声波的发射路径，及其对应的回波信号的接收路径计算传输延时；

[0018] 步骤 404) 根据步骤 403) 中计算得到的传输延时，将与该传输延时对应的经步骤 401) 滤波后的回波信号进行相干叠加，并取包络后得到各像素对应的回波强度。

[0019] 作为上述技术方案的进一步改进，所述超声波的波型为横波或纵波。

[0020] 作为上述技术方案的进一步改进，所述的超声相控阵探头贴附于靠近焊缝的工件表面，或贴附于设有的供超声波传输的斜楔块的一侧，该斜楔块的另一侧与工件表面接触，所述的斜楔块用于改变超声波的传播方向和通过界面折射实现波型转换。

[0021] 本发明的一种用于焊缝检测的超声成像方法在于：

[0022] 本发明针对焊缝超声相控阵检测情形，利用全阵列采集每一个阵元依次单独发射超声波的回波数据，并进行像素逐点聚焦成像处理，从而得到各像素所对应的回波强度，提高了焊缝检测的成像质量和对焊缝中的小型缺陷检测的灵敏度，进一步保证焊缝的超声无损检测的性能和可靠性，避免因为焊缝焊接质量不合格而带来的事故。

附图说明

[0023] 图 1 为本发明实施例中的用于焊缝检测的超声成像方法流程图。

[0024] 图 2 为利用斜楔块进行板板对接 V 形坡口焊缝检测的几何示意图。

[0025] 图 3 为图 2 中的板板对接 V 形坡口焊缝的结构示意图。

[0026] 图 4 为利用斜楔块进行焊缝检测的成像几何示意图。

[0027] 图 5 为全阵列采集每一个阵元依次单独发射超声波的回波信号的对应

关系图。

[0028] 图 6 为利用本发明实施例中的用于焊缝检测的超声成像方法进行缺陷检测的成像结果。

具体实施方式

[0029] 下面结合附图和实施例对本发明所述的一种用于焊缝检测的超声成像方法进行详细说明。

[0030] 本发明的一种用于焊缝检测的超声成像方法，该超声成像方法包括：

[0031] 步骤 1) 根据待测工件的形状、尺寸和焊缝在工件上的位置，结合超声相控阵探头的几何尺寸，确定超声相控阵探头的位置、超声波的波型、检测的回波次数及目标检测区域的成像范围；在利用超声相控阵对工件焊缝进行检测时，由于受到工件形状和尺寸、声束宽度、近场干扰、检测环境等多种因素的影响，需要根据实际情况选择超声探测的探头、确定探测使用的波型、探测位置、扫描方式及采用的几何反射波的反射次数。而根据工件形状和尺寸、探头探测位置与焊缝的相对位置又可以进一步确定采用直达波或采用若干次反射波进行超声成像。

[0032] 步骤 2) 将步骤 1) 中确定的成像范围通过网格划分成若干像素，以每个像素的中心坐标作为聚焦点的位置坐标；

[0033] 步骤 3) 根据步骤 1) 中确定的超声相控阵探头的位置放置探头，激发超声相控阵中每一个阵元依次单独发射超声波，并利用全部阵元同时接收该超声波的回波信号。

[0034] 步骤 4) 根据每个阵元和像素的相对位置，将步骤 3) 中获得的回波信号进行逐点聚焦成像处理，得到各像素所对应的回波强度。

[0035] 步骤 5) 根据步骤 4) 中获得的各像素对应的回波强度，进行归一化、对数压缩及动态范围限制处理后得到超声检测图像。

[0036] 步骤 6) 根据步骤 1) 中确定的超声相控阵探头的位置、超声波的波型和目标检测区域的成像范围，通过几何位置标记位于步骤 5) 中得到的超声检测图像中的焊缝区域，以确定焊缝区域中的缺陷图像并显示。

[0037] 基于上述超声成像方法，如图 1 所示，为本发明实施例中的一种针对焊缝检测的超声阵列成像方法流程，该超声成像方法包括以下步骤：

[0038] 步骤 1)，根据待测工件的形状、尺寸和焊缝在工件上的位置，结合超声相控阵探头的几何尺寸，确定超声相控探头的放置位置、用于检测的超声波的特性及目标检测区域的成像范围。所述的超声波的特性包含波型（横波或纵波）、超声波的反射次数。

[0039] 由于可探测位置的限制，有时可以直接利用相控阵探头采用纵波方式进行检测，此时超声相控阵探头往往放置在焊缝表面附近或正上方、又或放置于焊缝对侧的工件表面等位置；有时可以采用横波方式进行检测，此时需要在超声相控阵探头和被测对象之间放置斜楔块，以改变声束的传播方向和通过界面折射实现波型转换，这样可以采用横波检测那些无法直接在工件上放置超声相控阵探头进行检测的焊缝。

[0040] 当焊缝的上下表面都不平整或者直接在工件上放置超声相控阵探头无法对焊缝进行检测时，可选用斜楔块及使用超声波横波进行焊缝检测。根据工件的形状、几何尺寸和焊缝与超声相控探头的相对位置明确采用直达波还是多次反射波，并明确目标检测区域的成像范围。如图 2 所示，由于焊缝的上下表面都不平坦，不能直接放置探头；且在焊缝一侧的工件表面上直接放置探头时，由于声束扫描角度的限制，可能无法对整个焊缝截面进行扫查，因此这里选择在超声相控阵探头和被测工件之间放置斜楔块，以改变声束的传播方向和将探头发射的纵波转换为横波。由于直达波仍不能完全扫查到整个板板对接 V 形坡口焊缝截面，因此选择联合使用直达波和一次反射波对焊缝进行扫查。其中，板板对接 V 形坡口焊缝的结构如图 3 所示。

[0041] 步骤 2) ，将步骤 1) 中确定的目标检测区域的成像范围通过网格划分成若干像素，如图 4 所示。每个像素的中心坐标将作为聚焦点的位置坐标。

[0042] 步骤 3) ，根据步骤 1) 中确定的超声相控探头的位置放置斜楔块和探头，记录任一发射——接收阵元组合对所对应的回波信号为 $g_{i,j}(t)$ ，具体操作过程如图 5 所示。即激发超声相控阵中每一个阵元依次单独发射超声波，而接收时以全部阵元同时接收该超声波的回波信号，得到所有发射——接收阵元组合对所对应的回波信号。

[0043] 步骤 4) ，在目标检测区域的成像范围内，根据阵元和像素的位置，对所述的发射——接收阵元组合对所对应的回波信号进行逐点聚焦成像处理，得到各像素所对应的回波强度。

[0044] 所述步骤 4) 中的逐点聚焦成像处理过程具体包括以下步骤：

[0045] 步骤 401) 对所述的任一发射——接收阵元组合对所对应的回波信号 $g_{i,j}(t)$ 进行滤波处理，得到滤波后的回波信号 $h_{i,j}(t)$ ；

[0046] 步骤 402) 确定超声波由如图 4 所示的阵元 i 发射，在斜楔块和被测对象交界面发生折射，再经散射源 $P(x_{pn}, z_{pn})$ 散射，最后由阵元 j 接收的发射路径和接收路径；

[0047] 步骤 403) 根据步骤 402) 中得到的由阵元 i 至 j 的发射路径和接收路径计算传输延时 t_{ij} ；

[0048] 步骤 404) 如图 4 所示, 根据对待检测焊缝的目标区域内的任一像素点 $P(x_{pn}, z_{pn})$ 所计算得出的传输延时, 将与该传输延时对应的经步骤 401) 滤波后的回波信号相干叠加, 并取包络后得到该像素所对应的回波强度。

[0049] 在上述步骤 403 中, 确定由阵元 i 至 j 的发射路径和接收路径的关键是确定超声波在如图 4 中斜楔块与被测对象交界面上的入射点 $Q_{ti}(x_{bi}, z_{bi})$ 和 $Q_{rj}(x_{bj}, z_{bj})$ 的位置参数。入射点的位置可以结合建立的坐标系, 从几何声学角度出发, 根据斯涅耳定律建立方程进行求解。对于入射点 $Q_{ti}(x_{bi}, z_{bi})$, 求解过程如下所示:

[0050] 建立方程式:

$$[0051] \quad \frac{(x_{bi} - x_i)^2}{c_1^2[(x_{bi} - x_i)^2 + (z_{bi} - z_i)^2]} = \frac{(x_{pn} - x_{bi})^2}{c_2^2[(x_{pn} - x_{bi})^2 + (z_{pn} - z_{bi})^2]} \quad (1)$$

[0052] 其中, c_1 和 c_2 分别表示超声波在斜楔块和被测对象中传播的声速, x_i 和 z_i 表示阵元 i 的位置坐标, x_{pn} 和 z_{pn} 表示任一像素点 P 的位置坐标。由于楔块与被测对象的交界面为已知的曲面, 设曲面方程为: $z=f(x, y)$, 由于每个阵元对应的等效入射点位于 xoz 平面上, 因此可以根据实际的楔块与被测对象的曲面方程得到:

$$[0053] \quad z_{bi} = f(x_{bi}, 0) \quad (2)$$

[0054] 将(2)式代入(1)式, (1)式中仅 x_{bi} 为未知参数, 其他均为已知参数。

[0055] 当楔块与被测对象的交界面为平面, 且建立坐标系时交界面恰好位于 xoz 平面上时, $z_{bi}=0$, 即如图 4 中所示的情形。上述方程式(1)可以利用解析法、数值法或迭代法进行求解, 求解后将 x_{bi} 代入(2)式即确定了点 $Q_{ti}(x_{bi}, z_{bi})$ 的具体位置坐标。同理可以计算得到入射点 $Q_{rj}(x_{bj}, z_{bj})$ 的位置坐标。

[0056] 利用上述方程式(1)得到的入射点 $Q_{ti}(x_{bi}, z_{bi})$ 和 $Q_{rj}(x_{bj}, z_{bj})$ 的位置坐标, 进一步计算传输延时 t_{ij} , 具体如下:

$$[0057] \quad t_{ij} = t_i + t_j \quad (3)$$

$$[0058] \quad t_i = \frac{\sqrt{(x_{bi} - x_i)^2 + (z_{bi} - z_i)^2}}{c_1} + \frac{\sqrt{(x_{pn} - x_{bi})^2 + (z_{pn} - z_{bi})^2}}{c_2} \quad (4)$$

$$[0059] \quad t_j = \frac{\sqrt{(x_{bj} - x_{pn})^2 + (z_{bj} - z_{pn})^2}}{c_2} + \frac{\sqrt{(x_j - x_{bj})^2 + (z_j - z_{bj})^2}}{c_1} \quad (5)$$

[0060] 利用上述计算得到的任一像素点 $P(x_{pn}, z_{pn})$ 所对应的传输延时 t_{ij} , 将与该传输延时对应的经步骤 401) 滤波后的回波信号的解析信号相干叠加, 并取包络, 可通过下述公式(6)计算得出该像素点所对应的回波强度结果:

$$[0061] \quad I = \left| \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N h_{i,j}(t_{ij}) \right| \quad (6)$$

[0062] 步骤 5) ，对各像素点的回波强度 I 进行后处理并显示，即根据步骤 4) 中获得的各像素对应的回波强度，进行归一化、对数压缩及动态范围限制处理后得到超声检测图像。

[0063] 步骤 6) ，根据步骤 1) 确定的超声相控探头的放置位置、超声波的波型和目标检测区域的成像范围，通过几何位置标记位于步骤 5) 中得到的超声检测图像中的焊缝相关区域，从而对检测区域中的缺陷图像进行识别，以辨识缺陷图像对应的图像区域。如图 6 所示，图中标出了焊缝的范围及一次镜像图(可标记多次镜像图) ，对检测区域内及其附近的图像进行识别和处理，可以得到该检测区域内部缺陷的直射波和一次反射波成像、由焊缝表面不光滑所导致的一次反射波成像、以及由焊角所导致的“山形回波”成像结果，从而有效地区分出了各种焊缝的伪缺陷成像及焊缝内部的缺陷成像。

[0064] 针对焊缝超声相控阵检测情形，利用全阵列采集每一个阵元依次单独发射超声波的回波信号，并透过斜楔块进行像素逐点聚焦成像处理，从而得到各像素所对应的回波强度，利用本发明的成像方法对焊缝的焊接缺陷进行检测，相对于传统的采用定焦点发射和接收逐点聚焦的方法的检测而言，改善了成像质量，提高了检测的分辨率和对小型缺陷检测的灵敏度。

[0065] 最后所应说明的是，以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制。尽管参照实施例对本发明进行了详细说明，本领域的普通技术人员应当理解，对本发明的技术方案进行修改或者等同替换，都不脱离本发明技术方案的精神和范围，其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

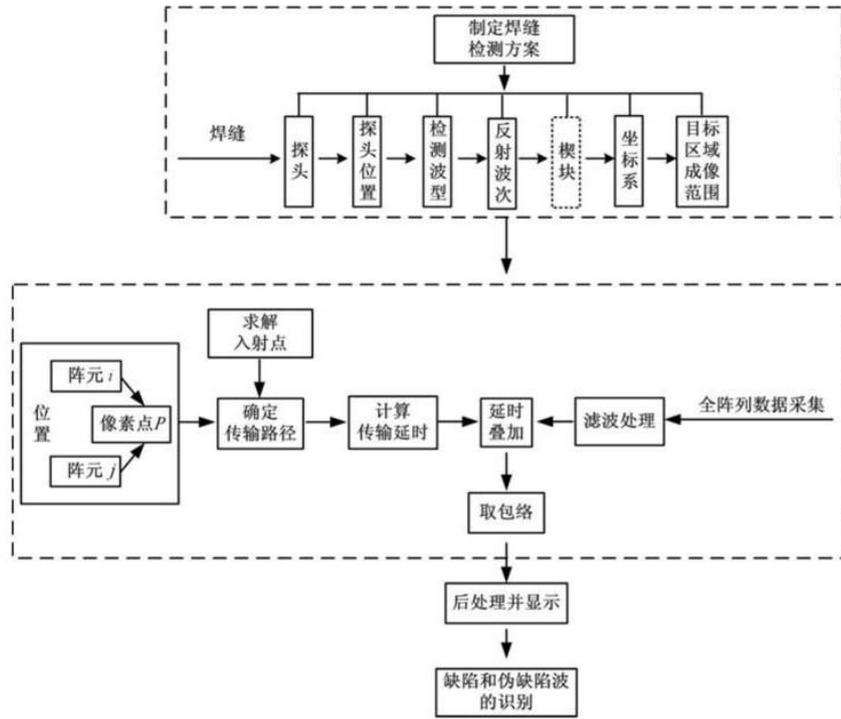


图 1

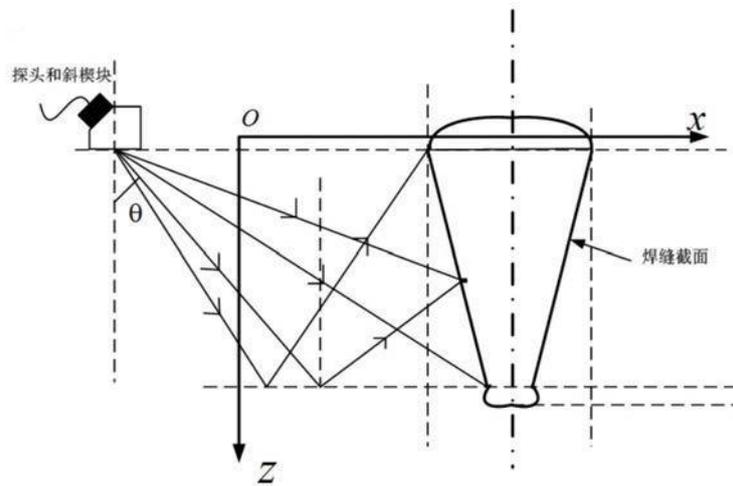


图 2

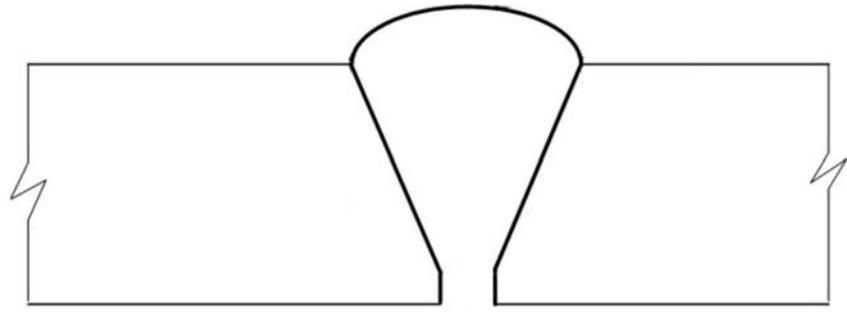


图 3

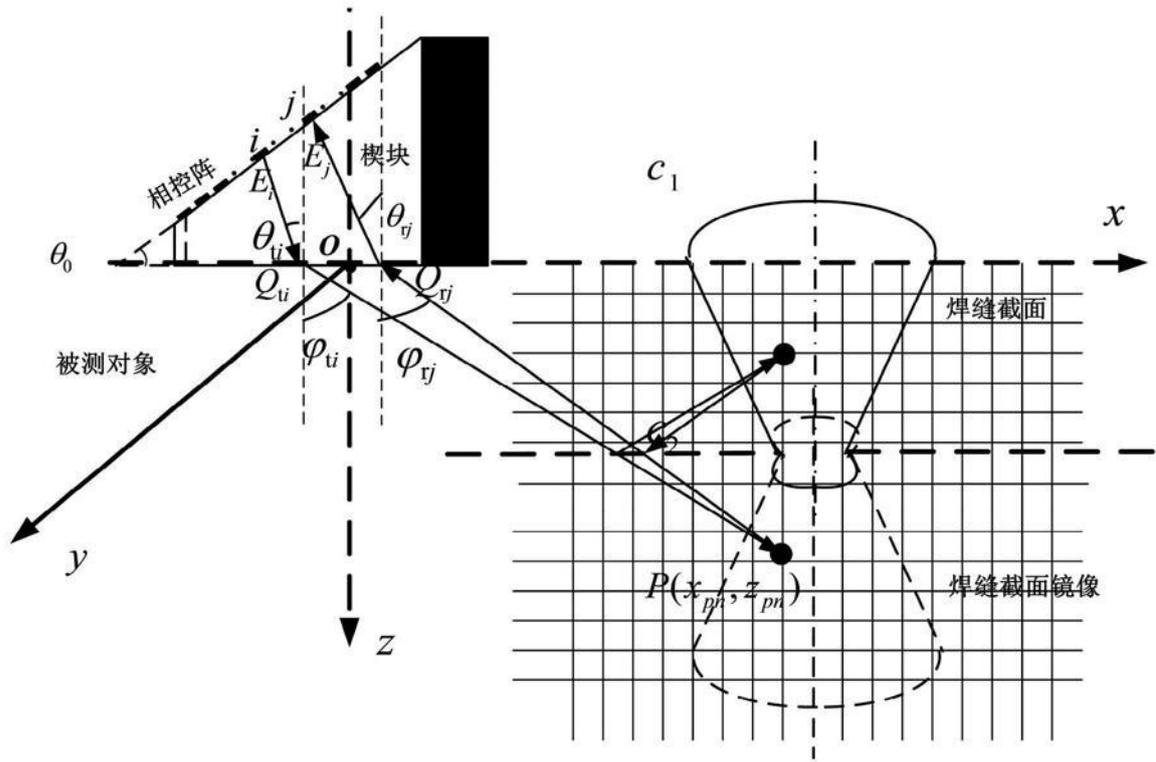


图 4

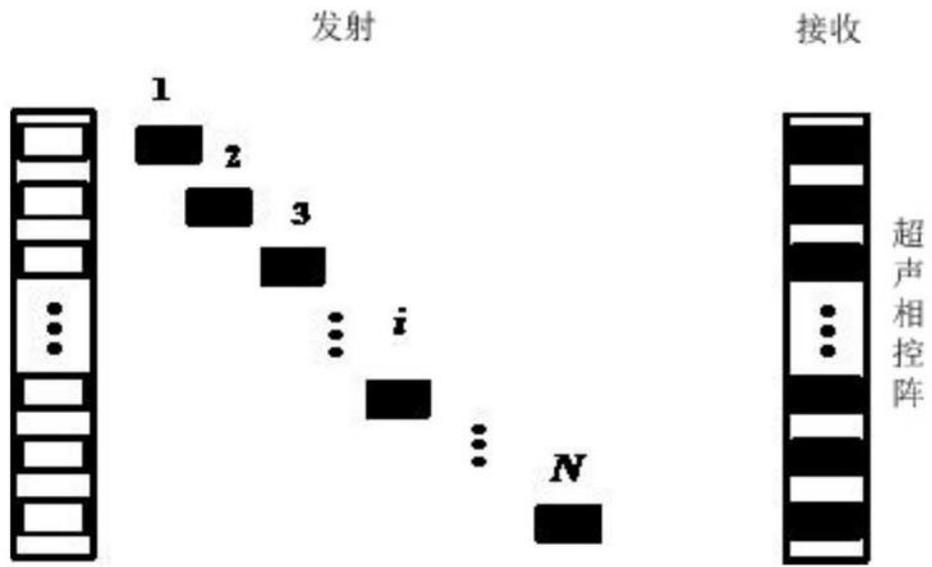


图 5

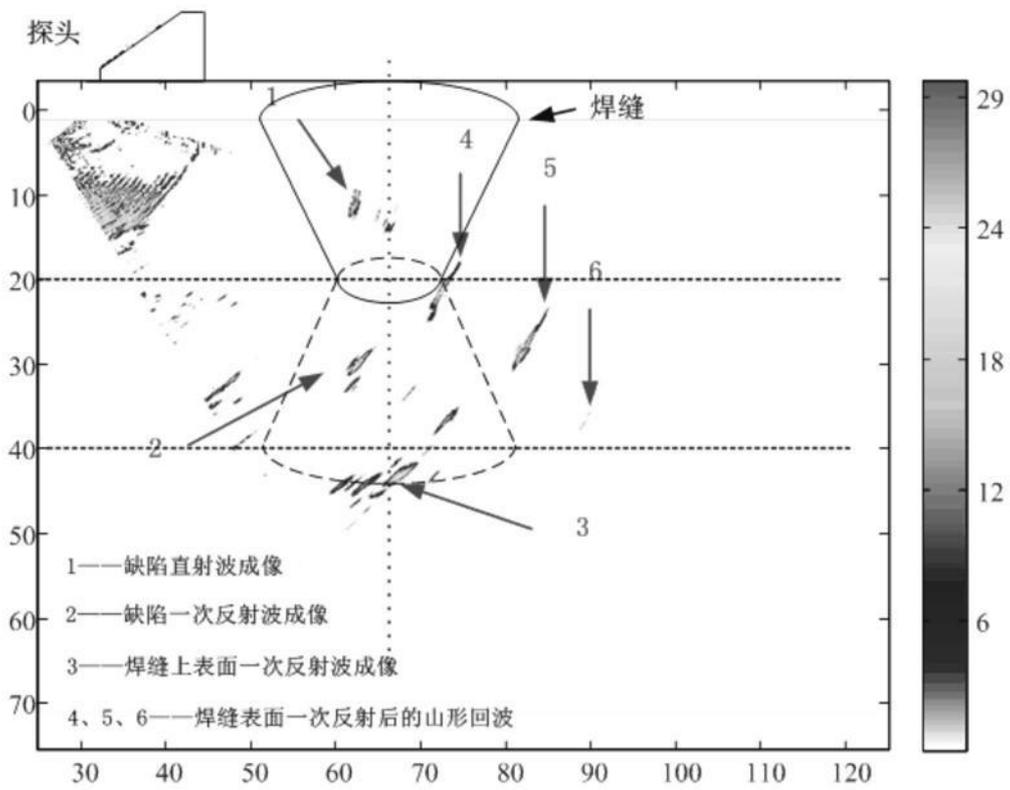


图 6