

1. 25D、1. 5D 和 1. 75D 超声相控阵列聚焦声场分析*

邓方青 张碧星 汪承灏

(中国科学院声学研究所 北京 100080)

Analysis of 1.25D, 1.5D and 1.75D ultrasonic phased array focused acoustic field

Deng Fang-Qing, Zhang Bi-Xing and Wang Cheng-Hao

(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences Beijing 100080)

1、引言

超声相控阵技术是近年发展起来的一项新技术,目前在超声检测领域以及医学超声领域得到了广泛的应用。常用的超声相控阵探头主要为线阵、面阵以及环阵,然而在医学超声领域中 1.25D、1.5D 和 1.75D 相控阵探头已得到了某些应用,但在超声检测领域中的应用比较少。

线性相控阵列在横向(阵列方向)上具有较好的聚焦能力,但在仰角方向(Elevation)上却不能改变孔径尺寸,也不能实现聚焦,如果使用 2D 阵列的话就会大大提高阵列数目,1.25D、1.5D 和 1.75D 相控阵列就可以改善这个问题。1.25D 阵列可以在仰角方向上改变孔径,1.5D 和 1.75D 阵列在仰角方向上不仅能改变孔径尺寸,还能在仰角方向上实现声束聚焦^[1-2],并且都不需要像 2D 阵列那样多的阵元数目,并能获得较好的图像。本文中,我们将分析这三种超声相控阵探头的结构以及其辐射声场特性,为其在超声检测中的应用提供理论基础。

2、1. 25D、1. 5D 和 1. 75D 超声相控阵探头

图 1(a)给出了 1.25D、1.5D 和 1.75D 相控阵探头结构,其几何分布可以看成在 1D 线性相控阵列的两边对称地加上多排线性阵列,用 H 表示图中 y 方向每一列中的阵元数,用 N 表示在 x 方向每一行中的阵元数目,我们分别称为阵列行数和列数。1.25D 阵列连接方式如图 1(b)所示,最中间一排阵列两边的两个阵元对称连接,但在激励时对不同的聚焦深度使用不同的阵列组合,即在较小的聚焦深度只用最中间一行阵列激发和接收,而在较大的聚焦深度则把图 1(b)中的 1 和 2 开关导通用 3 行阵列激发和接收,在更大的聚焦深度则把 1 和 2 以及 1 和 3 之间的开关都导通使用 5 行阵列进行激发和接收。1.5D 阵列的电路连接如图 1(c)所示,阵列单元对称连接,所连接在一起的两个阵元具有相同的延迟规则,在聚焦深度较小时使用较少行数的阵列单元以改变仰角方向上的孔径,由于对称连接,声束仅能在 xoz 面内聚焦。1.75D 阵列则是所有阵元通道都是独立的,但阵元数目只有少数几行,声束不仅能在 xoz 面内聚焦,而且还能实现在仰角方向上的声束偏转。

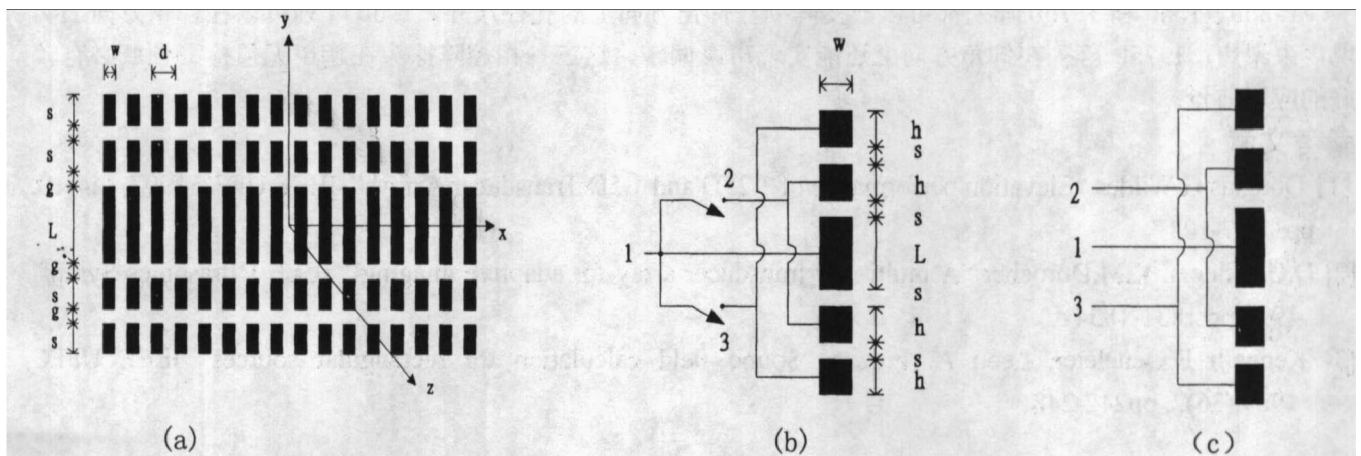


图 1 (a) 1.25D、1.5D 和 1.75D 阵列结构, (b) 1.25D 阵列电路连接方式, (c) 1.5D 阵列电路连接方式。

* 国家自然科学基金资助项目 (10374098)

3、数值模拟结果

我们对这几种相控阵阵列的聚焦声场进行了计算^[3]。考虑一个如图 1(a) 所示 $M=5$ 以及 $N=16$ 的阵列, 取阵列的中心位置为坐标原点建立直角坐标系, 所有阵元的宽度为 $w=1.0\text{mm}$, 横向相邻阵元的中心间距为 $d=1.5\text{mm}$, 中间阵元的高度 $L=16.0\text{mm}$, 仰角方向相邻阵元之间的间距 $g=1.0\text{mm}$, 中心阵元两边对称分布的阵元高度均为 $s=8.0\text{mm}$ 。相控阵列在水中激发, 密度为 1000kg/m^3 , 声速为 1500m/s , 频率为 500kHz 。

图 2 给出了 1.25D 和 1.5D 阵列在使用不同参数时在仰角方向上的声场分布。计算中用 U 表示用到的阵元行数, $U=1$ 表示只用到了最中间一行阵列即为 1D 线阵。从图中可以看出, 使用 1.25D 阵列时通过改

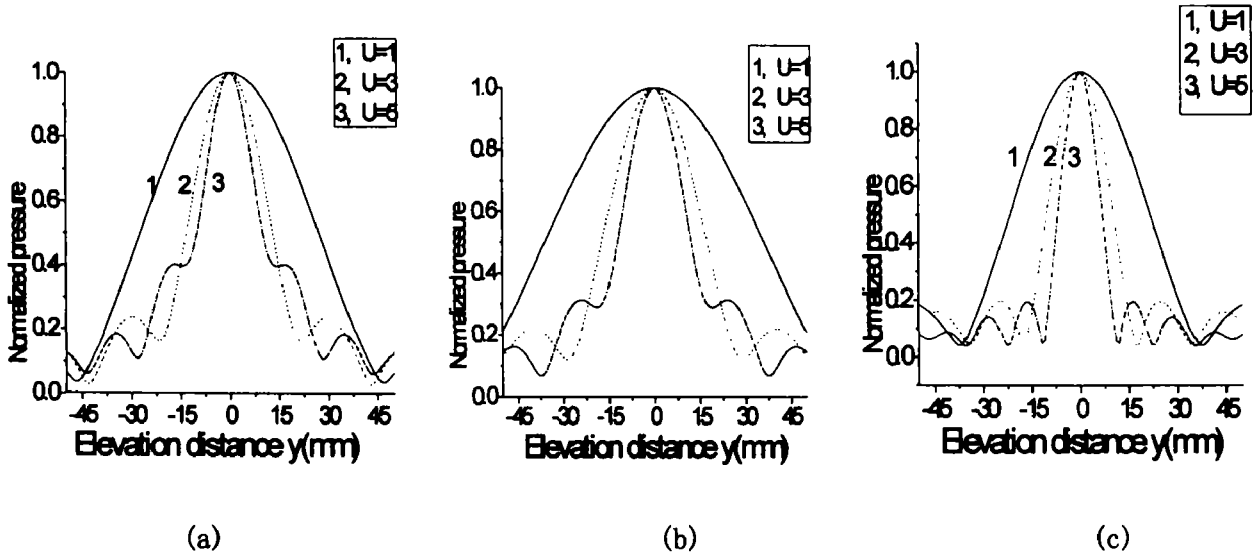


图 2(a) 1.25D 阵列在仰角方向上的声场分布, 焦点位置为 $(0, 0, 150\text{mm})$, (b) 1.25D 阵列在仰角方向上的声场分布, 焦点位置为 $(0, 0, 200\text{mm})$, (c) 1.5D 阵列在仰角方向上的声场分布, 焦点位置为 $(0, 0, 120\text{mm})$ 。

变仰角方向上的孔径尺寸, 可以在不同的聚焦深度保持相近的仰角方向上的分辨率。如在图 2(a) 和图 2(b) 中, 在 150mm 的聚焦深度用 3 行阵列激发和在 200mm 的聚焦深度用 5 行阵列激发时在仰角方向上的 -3dB 宽度比较接近, 可见采用不同的阵列行数可以控制不同的聚焦深度。而 1.5D 阵列与 1.25D 阵列相比, 在仰角方向上, 在相同条件下, 1.5D 阵列的 -3dB 宽度比 1.25D 的要小。对于 1.75D 阵列来说, 如果焦点位于 xoz 面内, 在相同条件下, 1.5D 和 1.75D 阵列能得到相同的声场分布, 然而, 1.75D 阵列可以在仰角方向上实现声束偏转, 而 1.5D 阵列是不能的。

4、结论

1.25D、1.5D 和 1.75D 阵列都可以改变阵列在仰角方向上的孔径尺寸, 1.5D 阵列可以在仰角方向上实现声束聚焦, 1.75D 阵列在仰角方向上还能实现声束偏转, 这三种相控阵探头在超声无损检测领域必有较好的应用前景。

参考文献

- [1] Douglas G.Wildes "Elevation performance of 1.25D and 1.5D Transducer Arrays", IEEE UFFC 1997, (44)10, pp.1027-1037.
- [2] D.G.Wilders, K.M.Durocher "A multi-row transducer array for adaptive imaging", IEEE Ultrasonics Symp", 1998 pp.1831-1834.
- [3] Kenneth B.Ocheleter, Leon A. Frozze "Sound field calculation for rectangular sources" IEEE UFFC 1989,(36)2, pp242-248.

作者简介: 邓方青, 2004 年毕业于石油大学(北京)地球探测与信息技术专业获硕士学位, 同年进入中国科学院声学研究所攻读博士学位, 目前主要从事超声相控阵检测与成像技术方面的研究。

电子邮件: loadfq@126.com; 电话 (010-62551079)