

超声聚焦探头的声场实验研究

朱儒良 沈志华 陆宝琴

(中国科学院声学研究所东海研究站)

一、引言

在医学超声中,大都采用聚焦形式的探头,使声能会聚到较小的区域,以便获得较高的声强,从而达到较好的治疗效果。在超声断层图象装置中的聚焦探头,探头的声能逐渐会聚到较小的区域,形成较窄的声束,以获得较高的横向分辨率,使超声诊断仪的图象更为清晰。因此自六十年代后期开始,研究性能良好的聚焦探头成为超声成像系统的重要课题。随着超声成像系统性能的提高,对超声聚焦探头不仅要求灵敏度高,脉冲响

应短,更重要的是获得窄而长的聚焦声束,于是国内外许多学者从研究聚焦探头的辐射场入手[1][2],试图获得较为理想的结果。近年来,利用大型计算机计算各种聚焦形式探头的声场声压分布,确实取得了一些进展。但实际所用的聚焦探头并不满足理想的边界条件,匹配层、阻尼背衬等的不均匀性,各种固定方式都对聚焦探头的声场分布产生影响。这些复杂的情况在理论上很难全部加以考虑,因此从实验上用各种方法来测量实际使用的聚焦探头的声场分布乃是十分重要的。本文分别对三种形式的长方形聚焦探头

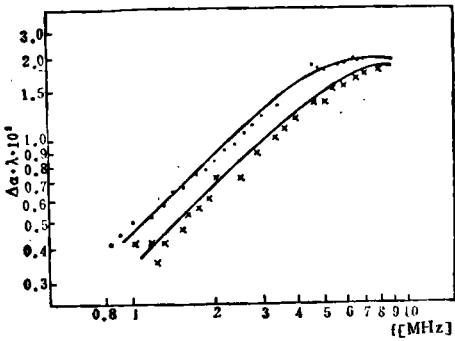


图8 0.1M MnSO₄的吸收 · 30℃ × 35℃

作者对严志华、林靖林、陈兆华和陆钟南老师的帮助特致谢意。

参 考 文 献

- [1] Eggers F., Acoustica Vol.19, 323 (1968)
- [2] Сарвазян А. П. Ж. Механика композитных материалов №3, 514 (1980)
- [3] Eggers F. et al, Rev. Sci. Instrum., 47, 361 (1976)
- [4] Pethrick R. A., J. Physics E: Sci. Instrum., 6, 139 (1973)

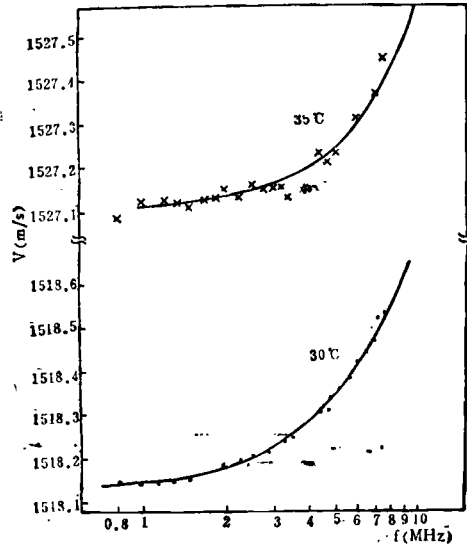


图9 0.1M MnSO₄的声速

- [5] V. A. Del. Grosso, J. A. S. A., 52,1442(1972)
- [6] Carstensen E. L. J. A. S. A., 26, 862(1954)
- [7] Eggers F. et al, Rev. Sci. Instrum., Vol.44, No.8, 969(1973)
- [8] 冯若, 应用声学 3卷, 1(1984)

进行了实验研究, 频率为 3 兆赫, 聚焦探头的曲率半径为 75 毫米。

1. 有多层匹配层、无阻尼背衬聚焦探头。
2. 有多层匹配层、有阻尼背衬聚焦探头。
3. 近似理想边界条件下的聚焦探头

我们测量了聚焦探头的轴上声压分布和与轴相垂直的若干断面上的声压分布。下面介绍这三种结构形式的聚焦探头的声场分布测试结果。

二、超声聚焦探头的辐射场

1° 球形聚焦探头

球形聚焦探头的凹面方向的声场

当 $Z_0=0$ 时, 轴上声压分布由下式所

示

$$P_0 = \frac{\rho_0 u_0 C}{\left(1 - \frac{y_0}{R}\right)} \cdot e^{j\omega t} \left[e^{jkz_0} - e^{-jkR} \left[4 \left(1 - \frac{y}{R_0}\right) \cos^2 \theta_1 + \frac{y_0^2}{R_0^2} \right]^{-1/2} \right] \quad (1)$$

当 $y_0=R$ 时, 得曲率中心点上的声压

为

$$P_{00} = j \frac{4\pi\rho_0 u_0 RC}{\lambda} \cdot \cos^2 \theta_1 \cdot e^{j(\omega t - kR)} \quad (2)$$

不难算出, 轴上声压最大值的位置由下式表示

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\pi a^2}{2\lambda} \cdot \frac{R - y_F}{R \cdot y_F} \right) = \frac{\pi a^2 (R - y_F)}{2\lambda y_F^2} \quad (3)$$

轴上声压最大值的点称声焦点。

2° 高斯振速分布的球形聚焦探头

高斯振速分布的球形聚焦探头, 其凹面

声场

当 $y=R$ 时得焦平面上的声压为

$$P_0 = j \frac{k\rho C u_0 R_0^2}{2R} \exp \left\{ i \left[\omega t - kR \cdot \left(1 + \frac{z^2}{2R^2} \right) \right] - \frac{k^2 R_0^2 Z^2}{4R^2} \right\} \quad (4)$$

当 $Z=R$ 时得焦点上的声压为

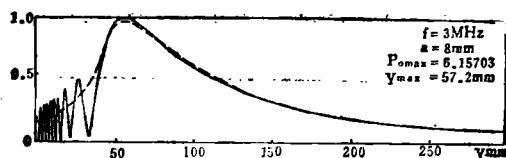
$$P_{00} = j \frac{k\rho C u_0 R_0^2}{2R} \cdot \exp \left\{ i \left[\omega t - \frac{3kR}{2} \right] - \frac{k^2 R_0^2}{4} \right\} \quad (5)$$

3° 长方形聚焦探头

长方形聚焦探头实际上是一个柱面形探头, 短轴曲率半径为 R , 长轴方向通过电子补偿形成聚焦声束, 其凹面方向声场同样可导出积分表达式, 如下式所示:

$$P = j \frac{\rho C u_0}{\lambda z_0} e^{j(\omega t - kz_0)} \int_{-a}^a \int_{-b}^b \cdot e^{-jk \frac{R-Z_0}{2RZ_0} \left(z - \frac{R}{R-Z_0} x \right)} \cdot e^{-jk \frac{R-Z_0}{2RZ_0} \left(y - \frac{R}{R-Z_0} y_0 \right)^2} dx dy \quad (6)$$

计算(5)式可以获得球形、长方形聚焦探头的凹面声场分布。计算(1)式可以算出球形聚焦探头轴上声压分布, 如图(1)所示



图(1) 球形聚焦探头轴上声压分布

——理论曲线。 ——实验曲线

三、长方形聚焦探头

长方形聚焦探头是超声成像装置中最常用的探头, 所测试的样品有三种。

1. 双层匹配无阻尼背衬长方形聚焦探头, 60阵元。

2. 双层匹配阻尼背衬长方形聚焦探头, 60阵元。

3. 无匹配层无阻尼背衬长方形聚焦探头。

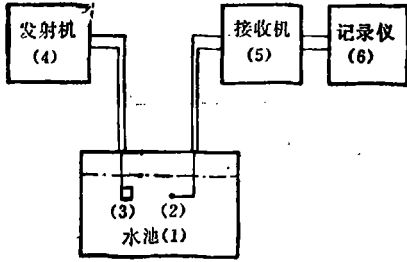
长方形聚焦探头短轴开口半径(a)为 8 毫米, 曲率半径(R)为 75 毫米, 长(b)为 18 毫米, 共振频率为 3.0 兆赫。阵元并联连结, 测试时长轴方向未进行电子聚焦补偿, 双层匹

配层材料分别为玻璃和有机玻璃，保护膜为硅橡胶，阻尼背衬由环氧树脂、钨粉按比例浇注而成，背衬厚度为10毫米

四、测试方法与结果分析

1°测试方法

测量聚焦探头的声场有多种方法。我们用微型水听器在声场中扫描并加以记录。测试方块如图(4)所示。图中①为SC-1型声场



图(2) 测试方块图

测量水池，②为NP-10型针状微型水听器，③为被测样品，④为发射机，⑤为高频微伏表，⑥为xy记录仪。声场测量水池设有沿xy两方向移动的自动控制装置。测量时分别沿被测样品声轴相垂直的断面扫描。当被测样品发射时，微型水听器接收，将所接收到的信号由xy记录仪直接记录下来，如图(5)(6)(7)所示。图(5)为无匹配层无阻尼背衬的长方形聚焦探头声轴上各截面的声压分布，图(6)为双层匹配、无阻尼背衬的测试结果，图(7)为双层匹配、阻尼背衬的测试结果。

2°结果分析

由图(5)(6)(7)看出，同一截面上的声压分布是很不均匀的，声轴上具有最大的声压值，离开声轴，声压逐渐降低。离探头越近，声压起伏越大，有的形成多个声束，离换能器越远，声压变化渐趋平缓，到一定距离后，声压变化不大，这说明已到达远场距离了。轴上声压最大值的点在5厘米左右，这是焦平面位置。理论计算在5.7厘米[4]。当距离超过焦平面位置后，声压下降速度比一般平面

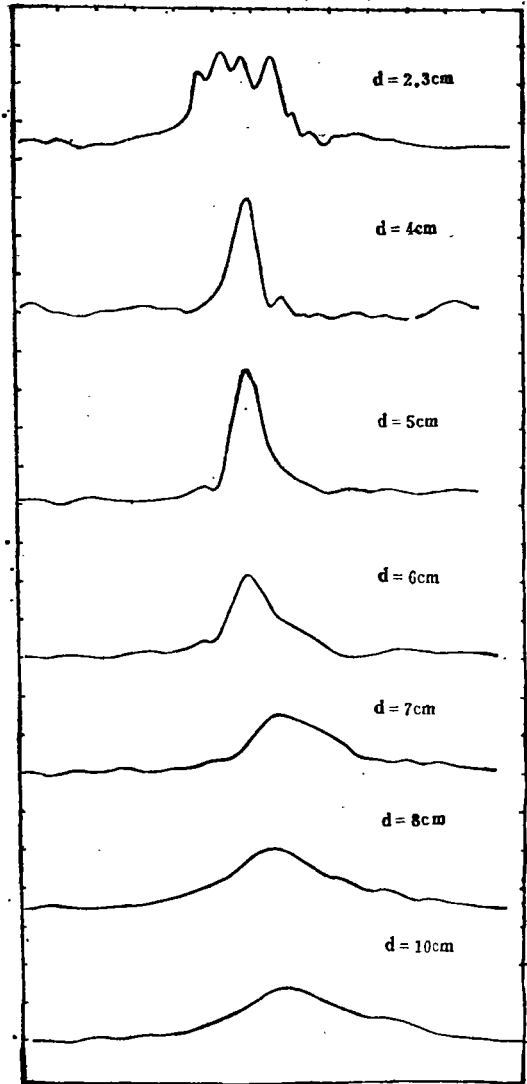


图3 无匹配层无阻尼背衬声场声压分布
 $f=3\text{MHz}$ 超声聚焦探头参数 $a=8\text{mm}$
 $R=75\text{mm}$ $b=18\text{mm}$ d -距离cm.

探头下降快。比较图(5)(6)可知，有匹配层的聚焦探头比无匹配层的聚焦探头的灵敏度高得多（测量是在完全相同的条件下进行的）其电声转换效率也高得多。图(5)声压分布比较对称，而图(6)在某些截面上声压分布对称性差些，旁瓣也大了，这说明加匹配层后对声压场产生了影响。由图(7)知，加上阻尼背衬后灵敏度降低很多，声压分布比前两种情况复杂得多，声压起伏大，在近场

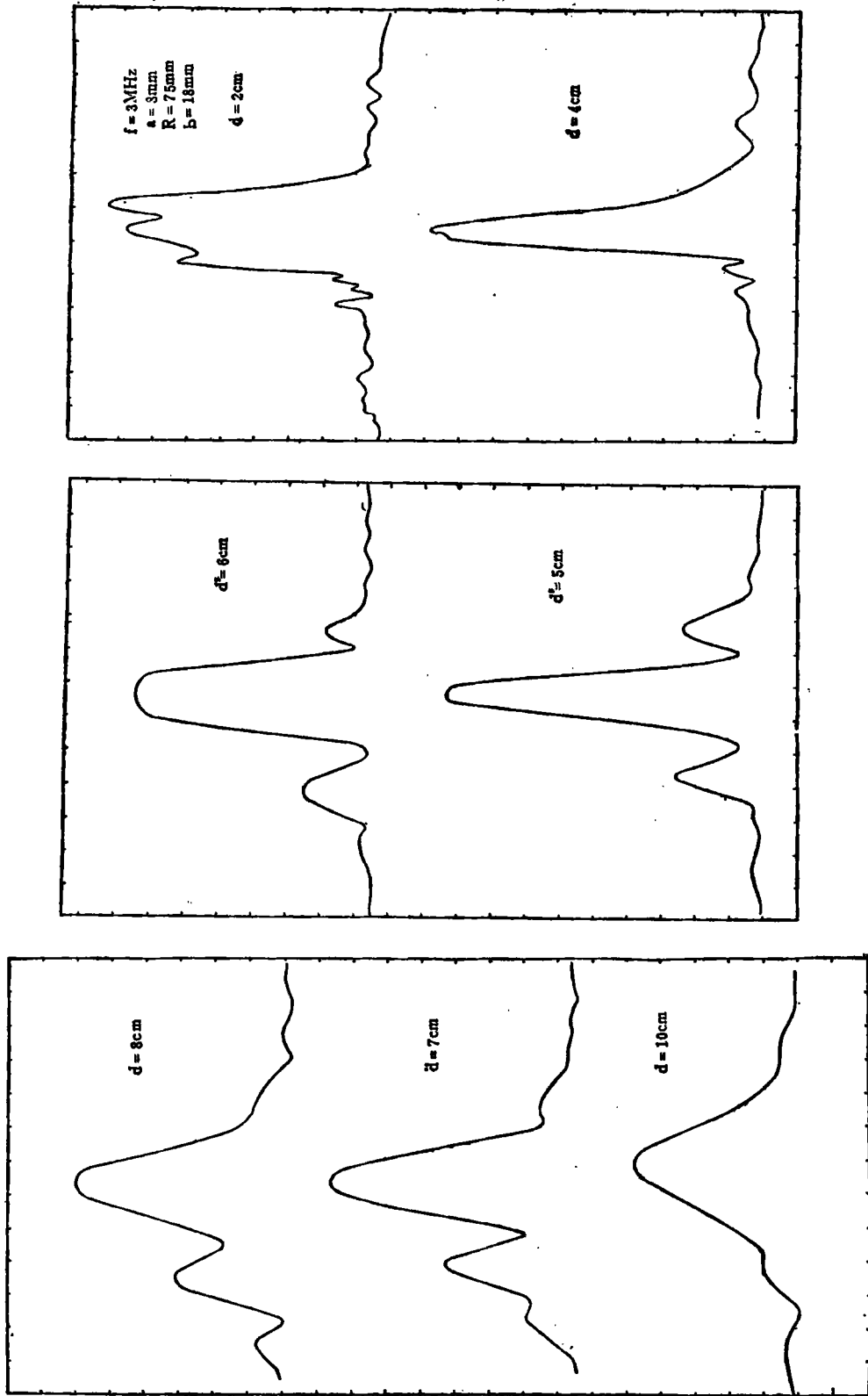


图 4 双层匹配无限圆锥衬腔声聚焦探头声场声压分布

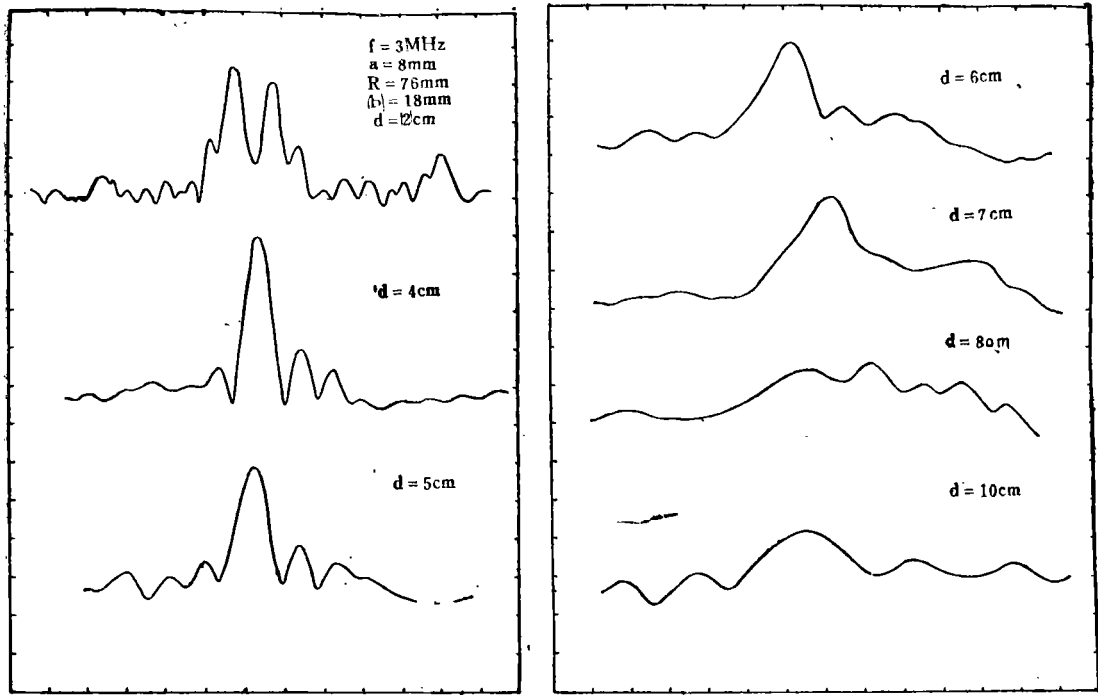


图5 双层匹配、阻尼背衬超声聚焦探头声场声压分布

处出现多个声束，这对超声成像系统是极为不利的。因此如何设置阻尼背衬不仅是一个工艺问题，而更重要的是从理论上探讨，实验去验证，使所设置的背衬不仅起到阻尼效果以获得窄脉冲响应，并使探头获得低旁瓣、窄声束。这点对超声成像系统来说，显得更为重要。测试结果表明，无阻尼无匹配层的聚焦探头具有较为均匀对称的声场分布，但灵敏度较低；有匹配层聚焦探头灵敏度高得多，但如何设置匹配层以使它减少对声场的影响是应注意的问题，匹配层探头加上阻尼背衬后，其声场分布影响较大，许多试验表明，用弹性结构的背衬对声场影响要小得多。

对于圆形聚焦探头的声场测量将在另文中讨论，在测试时，得到上海交通大学钱德初同志、东海研究站谢云波同志的热情帮助，

在此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] Kossoff, G. Robinson D. E. Liu C. W. and Garrd W. J. "Design Critical for Ultrasonic Visualization Systems" Ultrasonic 2.29-38 (1964)
- [2] 朱儒良、沈志华，陆宝琴
超声聚焦探头的凹面声场
中国第三届声学会议1982年。
- [3] 王鸿樟，声学原理。
- [4] 朱儒良，沈志华，陆宝琴。
超声聚焦探头的聚焦束。
声学技术，1983。
- [5] Filipoznski, L. and Etienice, J. "Theoretical study and Experiments on Spherical Focusing Transducers with Gaussian Surface Velocity Distribution" Acoustics Vol 28-29 No 1-6 (1973).