

镜 z_m 可忽略。

3 声场计算结果及分布特征的讨论

用(2)式进行了数值计算, 令 $a/f = 20$, $R/a = 12.5$, 透镜材料假定为聚苯乙烯, 其中声速 2340 m/s, 透镜周围媒质为水, 声速 1500 m/s, 对应不同的透镜面形参数 b/a , 计算出相应的声场分布。

表 1 声场各评价参量的理论值($a/f = 20$, $R/a = 12.5$)

面形参数 b/a	焦距 F/a	焦点处声束宽度 b_f/a	声束扩散角 θ	主旁瓣相差 12dB 以上的区域 Z/a									
2.0	10.6	0.40	0.85	8.6 20									
2.4	9.2	0.34	0.80	8.0 15									
2.6	8.6	0.32	0.75	7.2 13.6									
2.8	8.0	0.74	7.0 11	3.0	7.6	0.28	0.70	6.8 9.6	3.2	7.2	0.25	0.69	6.5 8.5
3.0	7.6	0.28	0.70	6.8 9.6									
3.2	7.2	0.25	0.69	6.5 8.5									

表 1 为声场评价参量的理论值, 图 2 为轴向声压分布图, 表中声束宽度指 -6dB 声束宽度, 主旁瓣相差 12dB 以上的区域只考虑了 $z/a = 20$ 区间。声场沿声轴 -6dB 声束截面形状在焦点以远和圆形活塞式换能器远场 -6dB 声束截面形状相似, 即声束在焦点以远的整体形状是以声束扩散角为张角的圆锥形^[6], 但声束扩散角较圆形活塞式换能器减小了(声束扩散角是 -6dB 声束边缘与声轴的夹角为 θ)。

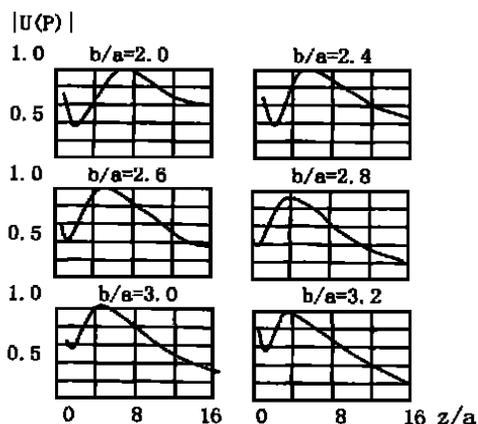


图 2 轴向声压分布图

从表 1 可看出, 当透镜面形参数 b/a 逐渐增大时, 声场焦点处 -6dB 声束宽度和 -6dB 声束扩散角均减少, 焦点逐渐向透镜方向移近, 声束逐渐变得细长。然而, b/a 值增大时, 声场旁瓣水平也上升, 主旁瓣相差 12dB 以上的声束区域在变小, 声压下降较快, 为了在声场中尽可能长的范围内, 获得声束较细、声压较高、旁瓣水平又保持适中高度的声束。我们认为 $b/a = 2.4 \sim 2.6$ 为理想取值范围。

$b/a = 2.4$ 时, 声场 $Z/a = 7 \sim 13.2$ 范围, 声束宽度小于 $0.44a$, 其中在 $Z/a = 8 \sim 10.2$ 范围,

声束宽度小于 $0.36a$, 焦点处声束宽度为 $0.34a$ 。

$b/a = 2.6$ 时, 声场 $Z/a = 6 \sim 13.6$ 范围, 声束宽度小于 $0.44a$, 其中在 $Z/a = 7 \sim 10.6$ 范围, 声束宽度小于 $0.36a$, 焦点处声束宽度为 $0.32a$ 。

4 实验及结果

按优化面形参数 $R/a = 12.5$, $b/a = 2.6$ 设计制作了透镜, 材料为聚苯乙烯, 在水中测量声场, 采用 1MHz 的连续声波, 其水中波长 1.5mm, 设计 $a = 30\text{mm}$, $R = 375\text{mm}$, $b = 78\text{mm}$, 测量系统如图 3 所示。

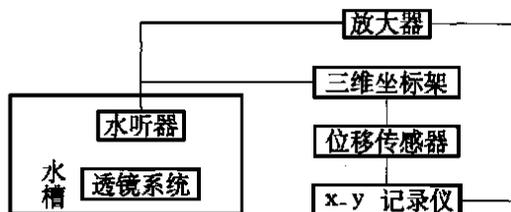


图 3 实验系统

透镜系统放入水槽底部, 微型水听器固定在三维坐标架上, 坐标架能三维移动并定位, 移动 X 轴, 水听器可左右移动, 其位移由位移传感器测定, 作为记录仪 X 输入, 水听器的电信号经前置放大器, 作为记录仪 Y 输入, 调整 z 轴与声轴重合, 对于不同 Z 值, 移动 X 轴, 使水听器径向扫描, 记录仪绘制出对应不同 Z 值的径向声压分布。表 2 列出了透镜声场实测值和相应的理论值。实验在 $21\text{cm} < Z < 36\text{cm}$ 的范围进行测量, 从较宽区域的测量结果看, 基本与理论值相符。

表 2 透镜声场各评价参量实测值与理论值 ($R = 375\text{mm}$, $b = 78\text{mm}$, $a = 30\text{mm}$, $f = 1\text{MHz}$)

场点离透镜的距离 Z/cm	22	25	28	31	34
-6dB 声束宽度/mm	实测值 10.5	10	10.5	10.8	12.5
	理论值 9.9	9.6	10.2	10.8	11.7
第 1 旁瓣比主瓣下降/dB	实测值 13.3	14.8	14	13.5	14.8
	理论值 12.7	15	14.6	14	13

参考文献:

- [1] H. Z. Wang, Y. He, Y. H. Yang. Ultrasound characteristics of focused axisymmetrically curved surface transducer [J]. IEEE trans. Ultrason. ferr. & freq. control, 1989, UFFG-36: 63-72
- [2] C. B. Burckhart, H. Hoffmann, P. A. Grandchamp. Ultrasound axicon: Advice for focusing over a large depth [J]. J. Acoust. Soc. Am., 1973, 54(6): 1628-1630
- [3] 小野泽元久, 石井勇五郎. 超音波探伤用金属圆锥式集束探触子 开发 [J]. 非破坏检查, 1984, 33 (12): 915-922
- [4] 吕乃光. 傅里叶光学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988. 92-94.
- [5] 高健波, 张福成. 菲涅耳声透镜聚焦性能的研究 [J]. 声学学报, 1988, 13(5): 369-375
- [6] 云庆华等. 无损探伤 [M]. 北京: 劳动出版社, 1982. 126-135.