

简介:在音箱设备中, 扬声器是一个最薄弱的器件, 音箱效果而言, 它又是一个最重要的部件。针对扬声器的尺寸越大, 指向性越尖锐, 影响听感这一问题, 这里通过在扬声器振膜上方设计特定的超表面结构, 利用其本征参数可调节性, 来改善产品声波辐射的指向性。具体的研究手段是借助COMSOL Multiphysics中的声固耦合模块, 优化超表面结构的几何参数, 从而让扬声器的指向性被尽可能的拓宽。

上方增加一个大小适当的圆柱形空气管道, 依据惠更斯衍射原理可知, 通过管道的声波可看作为振膜辐射的次声源, 辐射面的线径很小, 可近似的看作点声源来处理, 能够极大的拓宽其方向性。

结果:图3是有无超表面结构的指向性曲线数值模拟结果, 扬声器的低频辐射几乎是无指向性的; 而随着频率的增加, 其指向性逐渐增强, 不同角度下的感度落差变的越来越大; 超表面结构的设计与中间圆柱形空气管道的添加, 使得振膜不再直接作为声波的辐射面, 而是被线径较小的次声源所取代, 大大拓宽了声波辐射的方向性与对应的频宽。另外人耳比较敏感的1kHz感度也得到了加强。

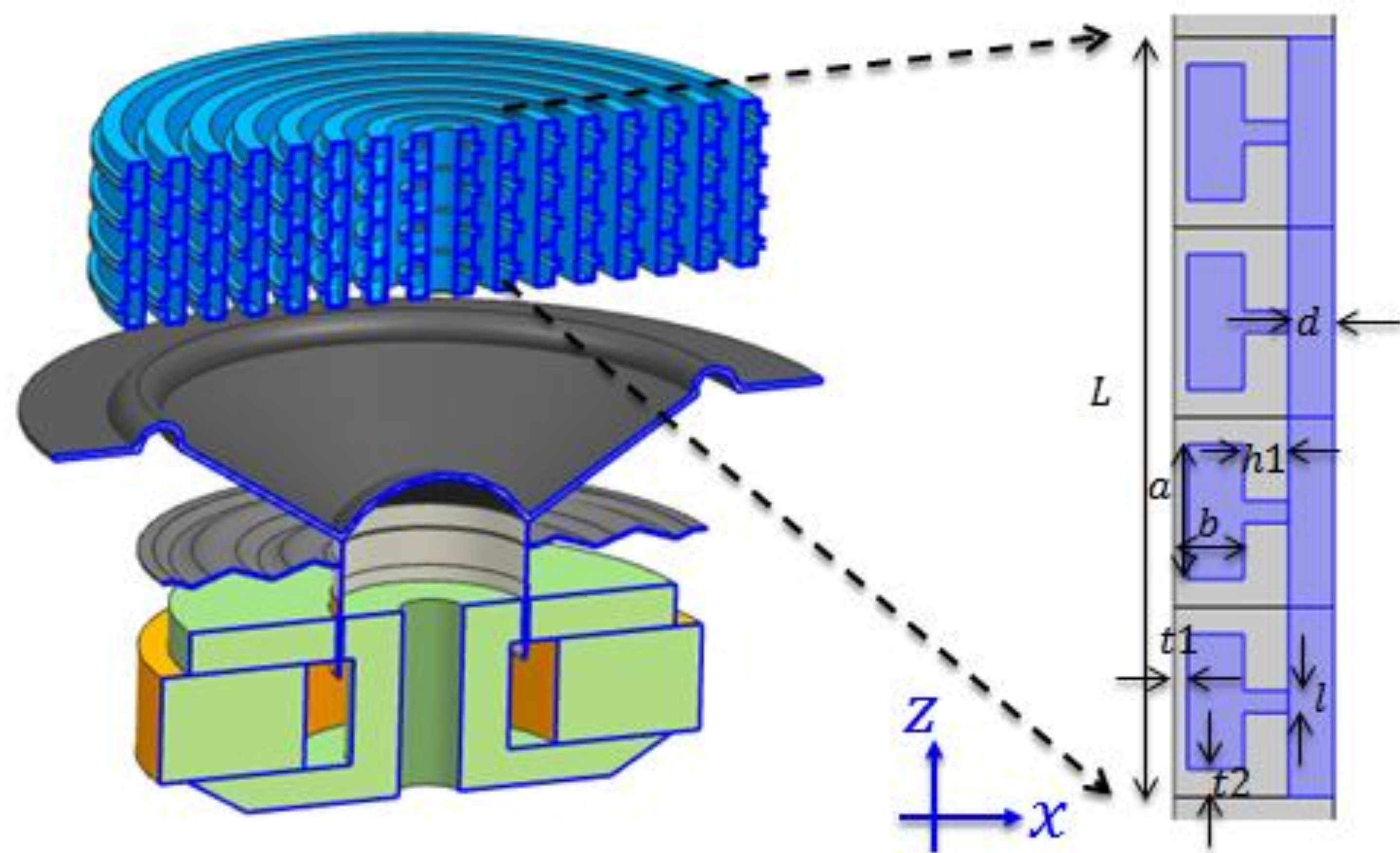


图 1. 超表面结构扬声器示意图

理论模型: 基于应用较为广泛的锥形扬声器为例, 设计的超表面结构 (Metasurface) 如图1所示, 由一系列经典的声学结构赫姆霍兹共振腔 (Helmholtz Resonator) 与之间的空气窄缝 (宽度为d) 组合而来, 由于结构尺寸处于亚波长范围, 则超表面结构的等效本征参数有效体积模量 B_{eff} (Effective bulk modulus) 可表示为:

$$\frac{1}{B_{eff}} = \frac{1}{B_0} \left(1 - \frac{Fw_0^2}{w^2 - w_0^2 + i\Gamma w} \right)$$

$B_0 = \rho_0 c_0^2$ 为空气体积模量, $F = ab/Ld$,

$w_0 = 1/\sqrt{C_{HR}M_{HR}}$ 为赫姆霍兹腔共振角频率, Γ 为损耗。通过理论推导可知: 当 $w_0 < w < w_0\sqrt{1+F}$, 该超表面结构会产生一个负的有效体积模量, 则可知

$k = \sqrt{w^2\rho_0/B_{eff}}$ 为一个虚数, 声波在超表面中沿着z轴方向传播会快速的衰减。数值模拟结果显示的禁带频宽与理论预测一致。

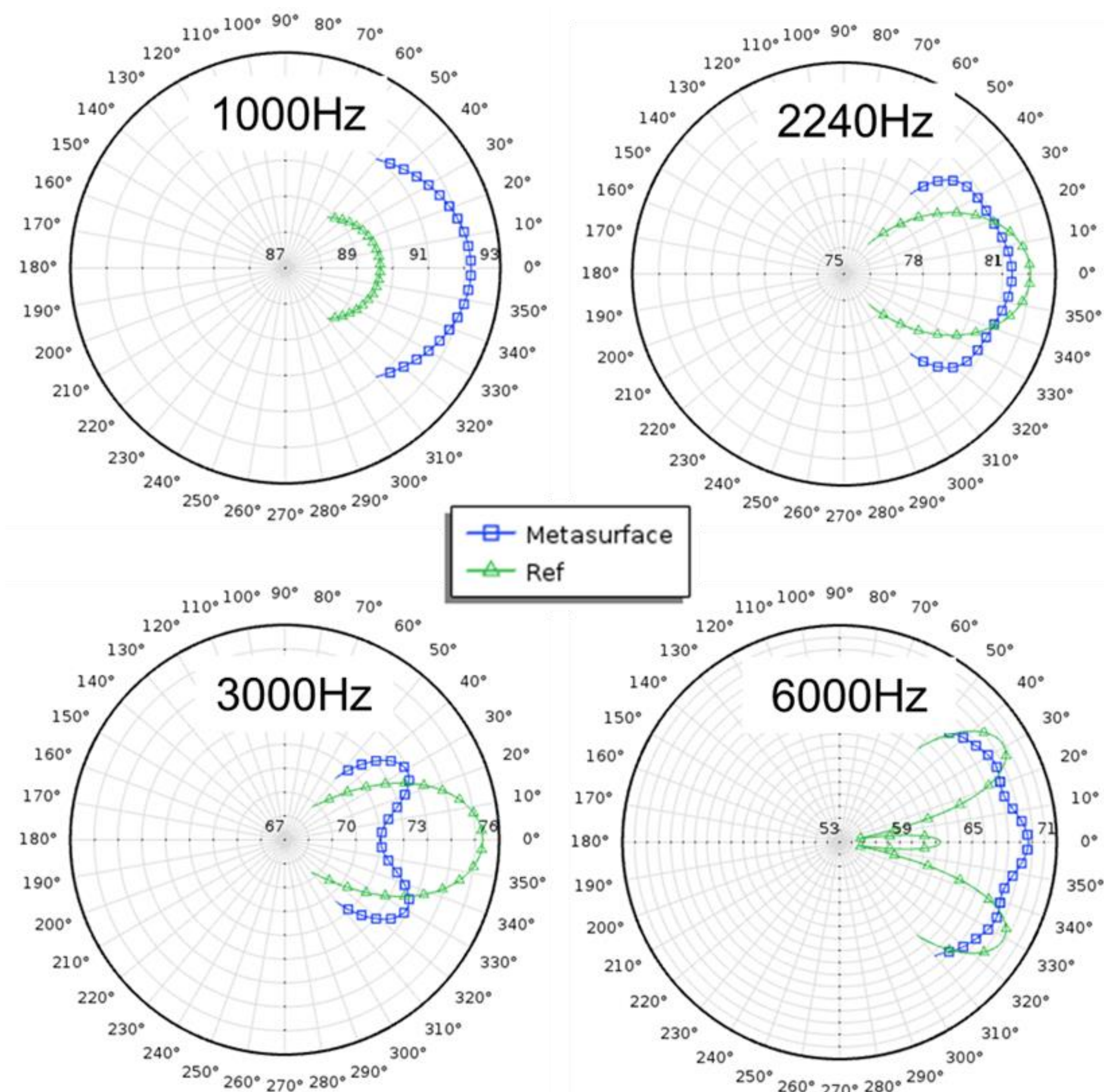


图 3. 扬声器有无超表面结构的指向性曲线

结论: 通过COMSOL数值仿真来验证理论模型的准确性; 超表面结构的几何设计可借助于COMSOL中的参数扫描来实现最佳化, 从而可让扬声器的指向性被尽可能的拓宽; 有限元仿真大大加快了研发进程, 避免了许多无效的开模费用; COMSOL仿真工具有助于新结构在扬声器中的快速研究、应用。

参考文献:

1. N. Fang, Ultrasonic metamaterials with negative modulus, Nature Mater, 5, 452 (2006)
2. X. Chen, Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials, Phys. Rev. E, 70, 016608 (2004)
3. W. Marshall Leach, Introduction to Electroacoustics and Audio Amplifier Design, third edition (2003)

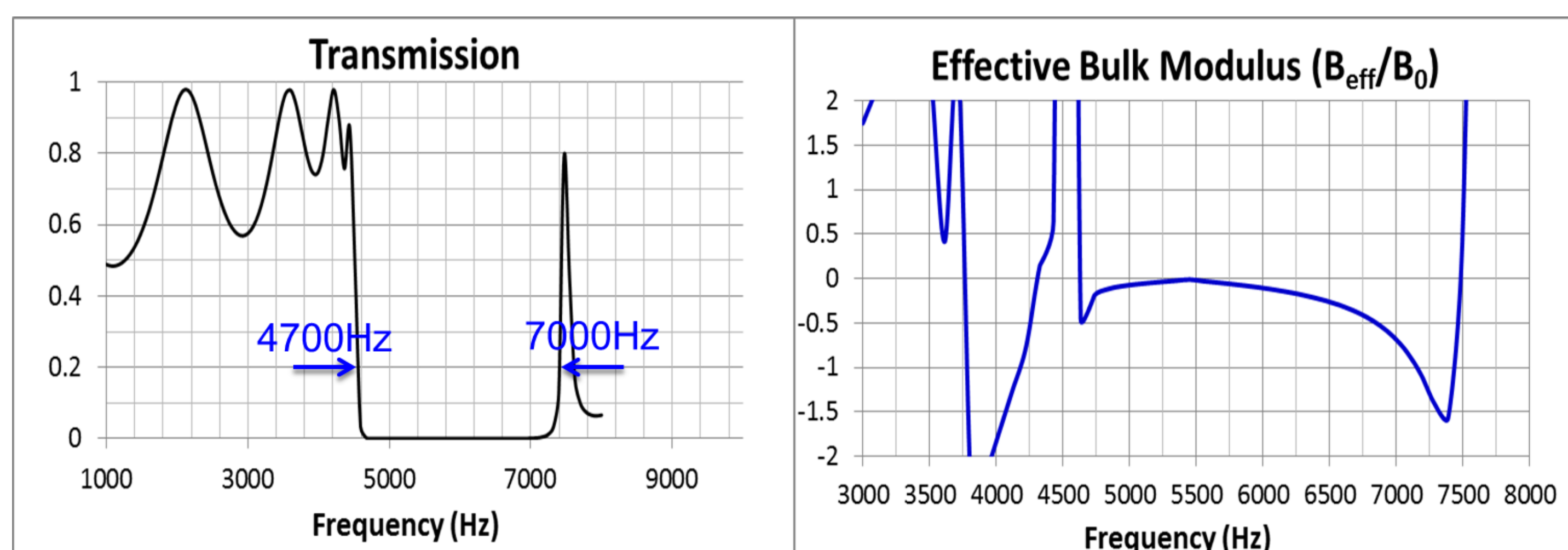


图 2. 数值模拟结果

由前面的讨论可知, 当超表面结构处于工作频段时, 振膜辐射的声波无法有效穿过, 这时可在振膜