

柔性声学超材料的低频隔声特性研究

周国建¹, 沈健²

1.研究一部, 无锡吉兴汽车声学部件科技有限公司, 江苏, 无锡

2.研究一部, 无锡吉兴汽车声学部件科技有限公司, 江苏, 无锡

简介: 使用COMSOL中声固耦合模块, 建立2D薄膜型柔性低频声学超材料模型, 对其声波传播特性、等效参数、隔声机理、结构与材料参数进行了分析; 最后根据其低频隔声特性, 优化设计出一组低频宽带(100-800Hz)高隔声性能的超材料参数。目的是解决车内低频(<600Hz)振动噪声, 弥补普通声学材料低频声学性能的不足。

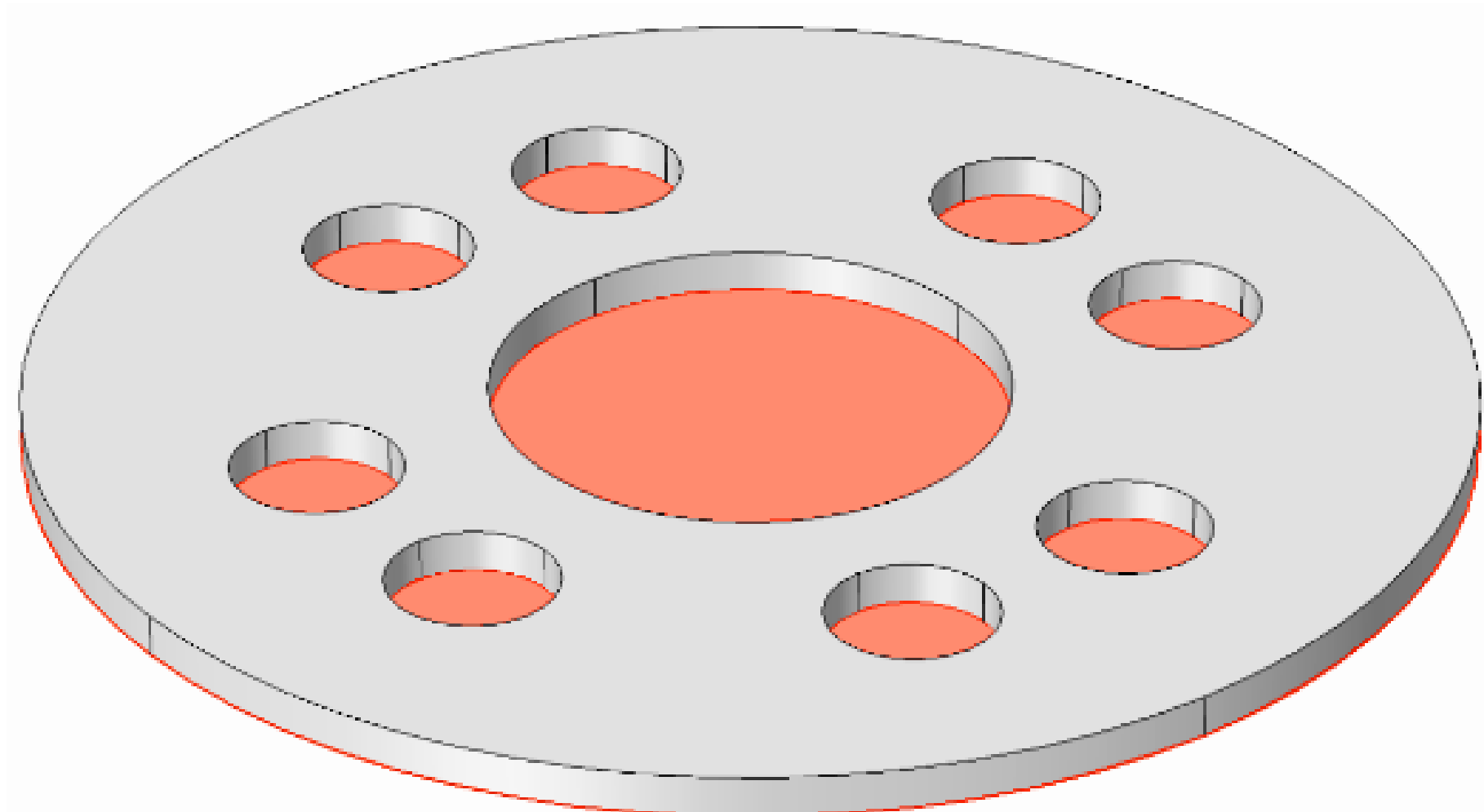


图 1. 超材料结构FE模型

计算方法: 使用“声-固耦合, 频域”接口, 计算声波和结构动态耦合状态下的声传播特性。

隔声量(STL)的计算变量设置如下:

$$\begin{cases} W_{in} = 2P_{in}^2 / 2\rho_0 c_0 \\ W_{out} = 2P_{out}^2 / 2\rho_0 c_0 \\ STL = 10\log_{10} |W_{in}/W_{out}| = 10\log_{10} (P_{in}^2/P_{out}^2) \end{cases}$$

计算模型及边界条件设定如下。

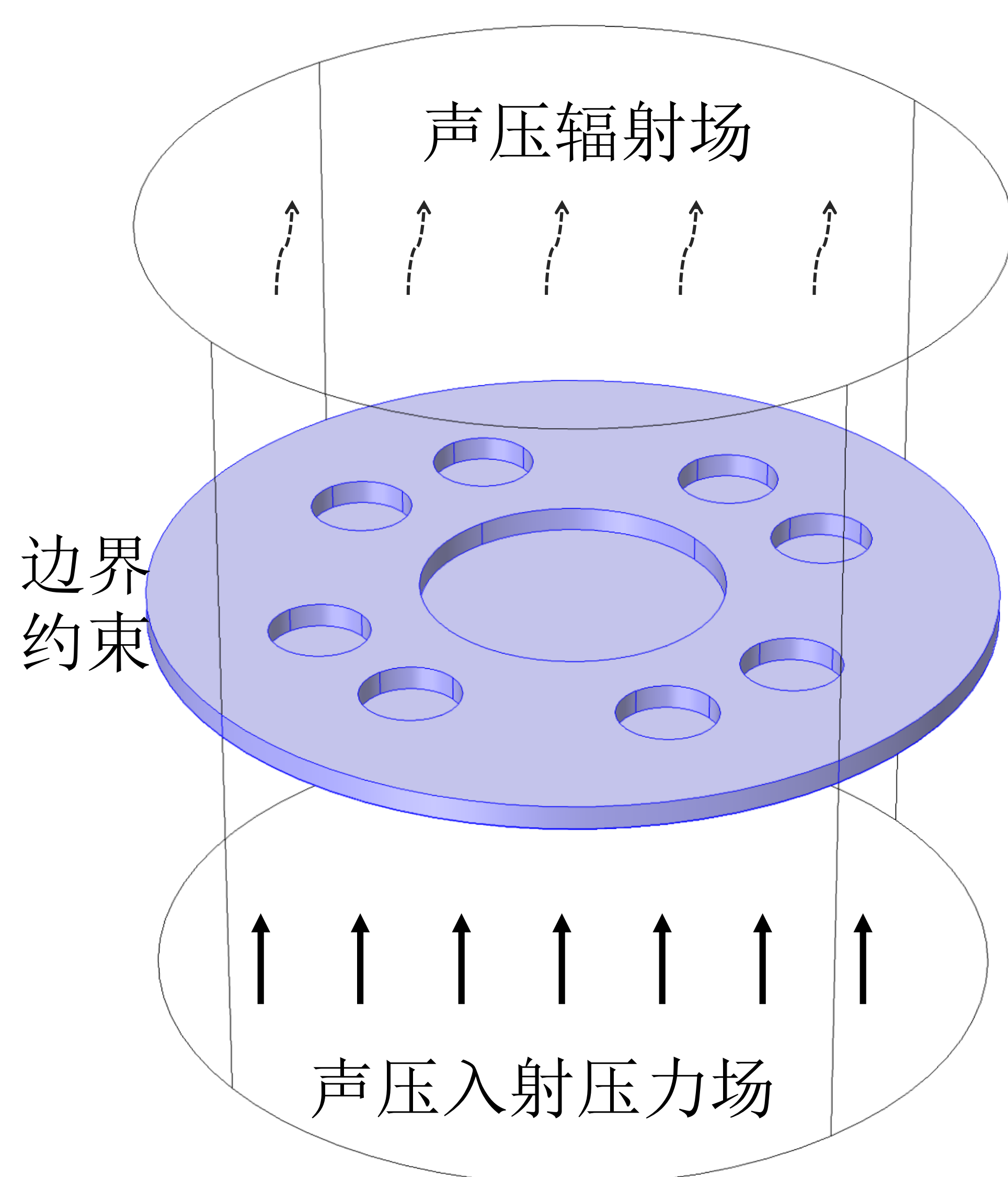


图 2. 初始模型及计算条件

研究内容:

参数名称	薄膜	柔性框架	孔
厚度 (mm)	h=0.075	h=3	h _{hole} =3
直径 (mm)	D=100	D=100	d1=36 d2=12
杨氏模量 (Pa)	E=2.65*10 ⁹	E=2.1*10 ⁸	/
密度 (kg/m ³)	ρ=1000	ρ=1475	ρ _{air} =1.29
泊松比	μ=0.36	μ=0.45	/
损耗因子	η=0.03	η=0.05	/

表 1. 结构和材料参数

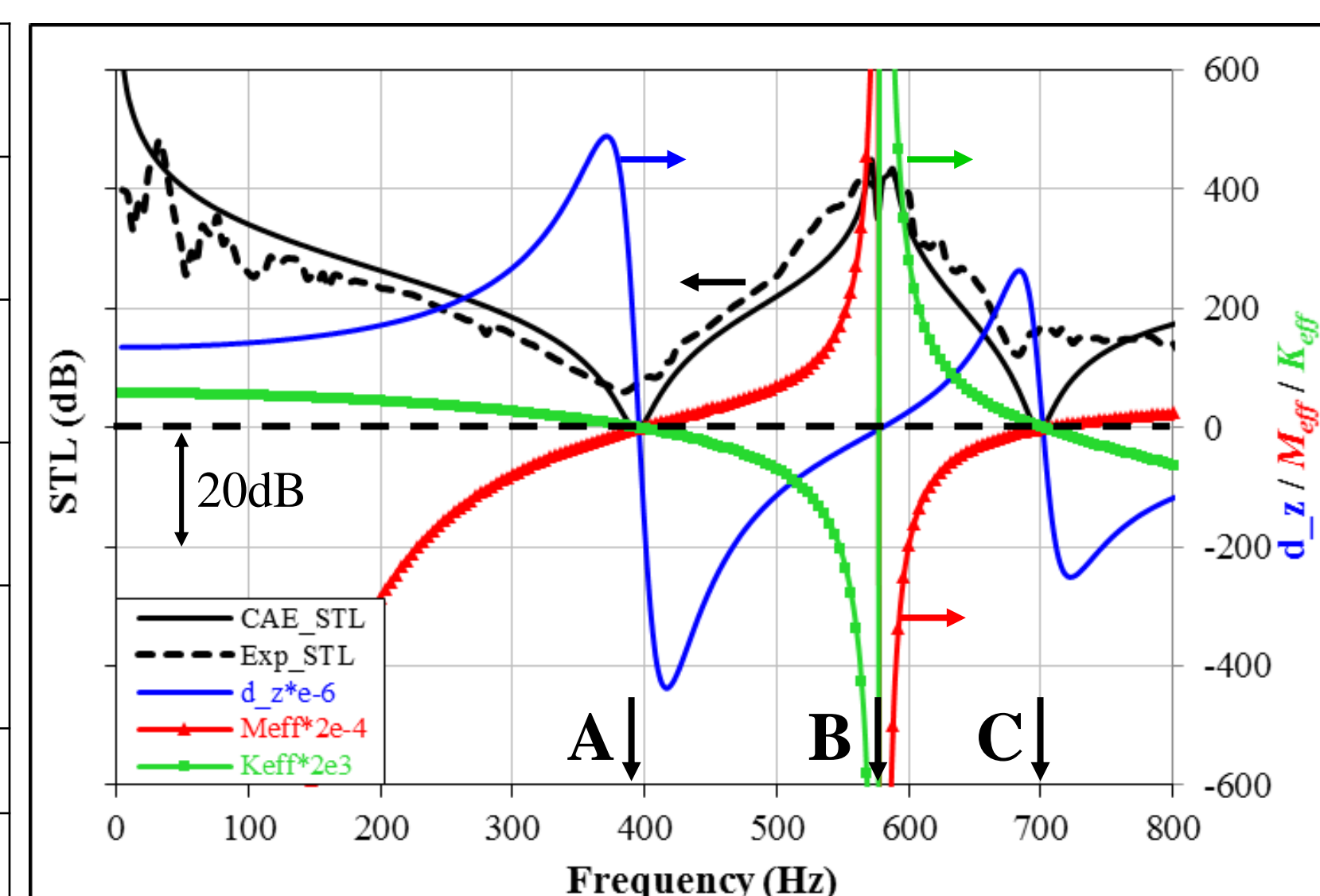
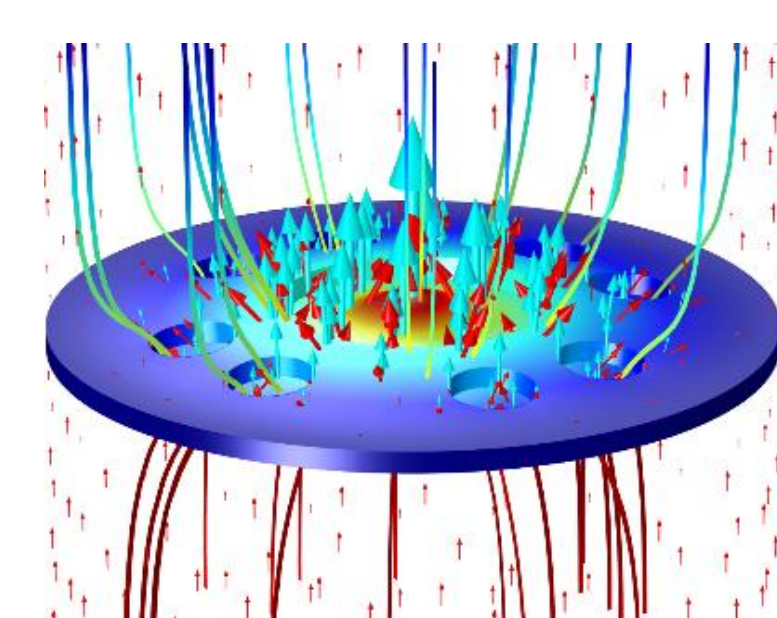
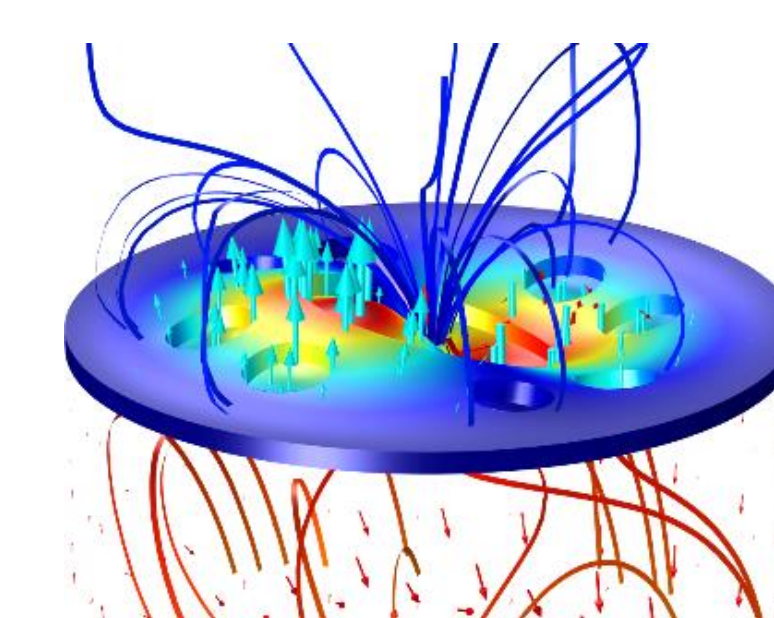


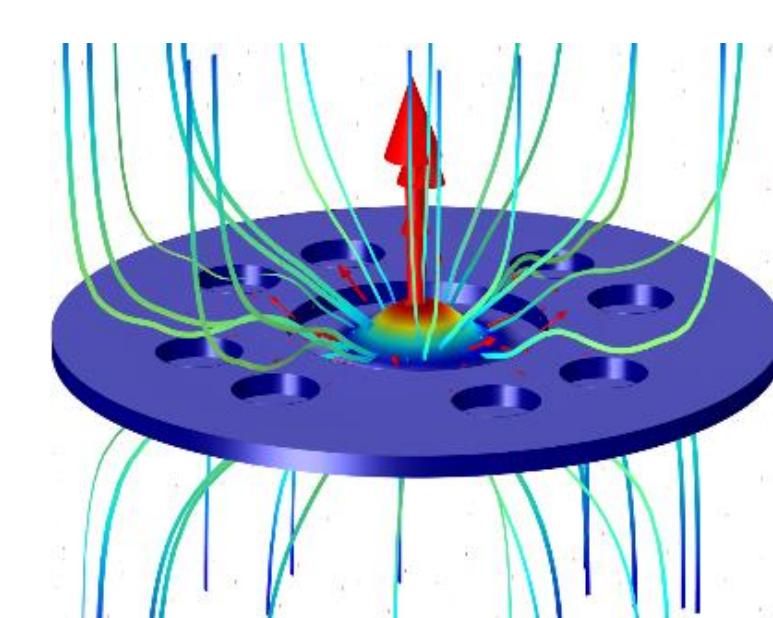
图 3. d_z , M_{eff} , K_{eff} 与 STL 关系



A点振型(392Hz)



B点振型(572Hz)



C点振型(700Hz)

图 4. STL峰值和谷值点振型及声能传播形式

$$\text{等效质量 } M_{eff} = \text{real} \left(\frac{\int P_{in} - \int P_{out}}{\langle a_{-z} \rangle} \right) \quad \text{等效刚度 } K_{eff} = \text{real} \left(\frac{\int P_{in} - \int P_{out}}{\langle d_{-z} \rangle} \right)$$

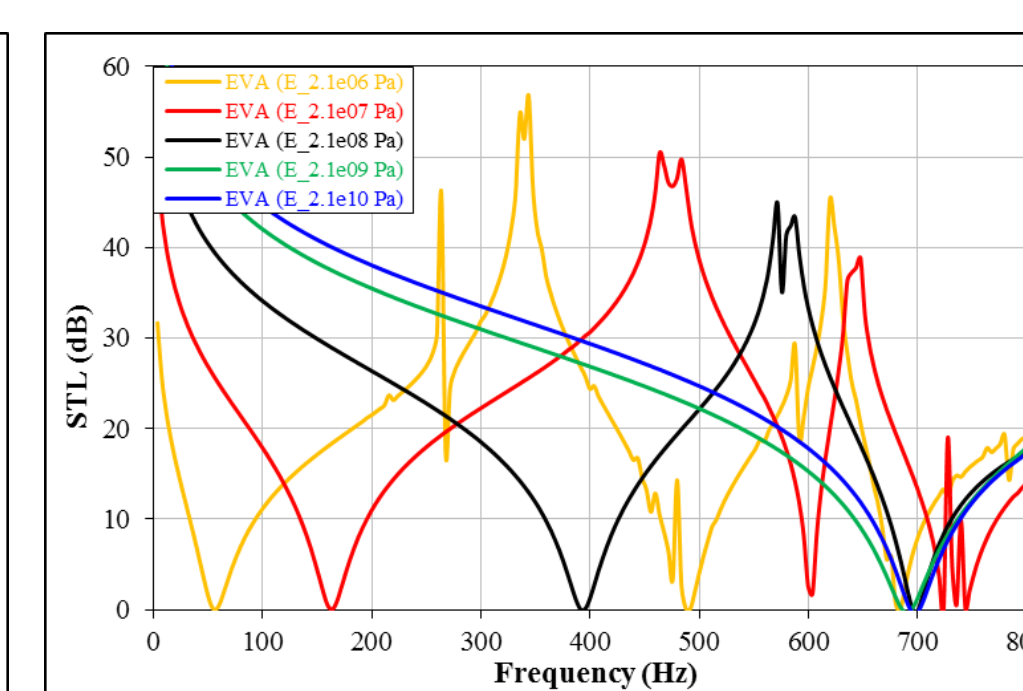
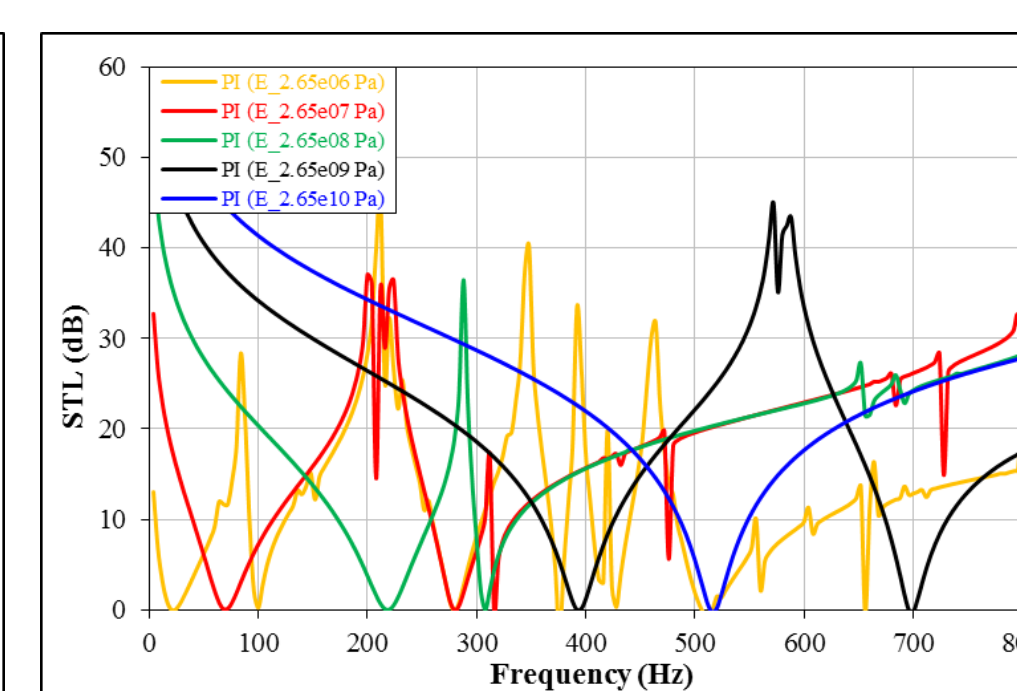
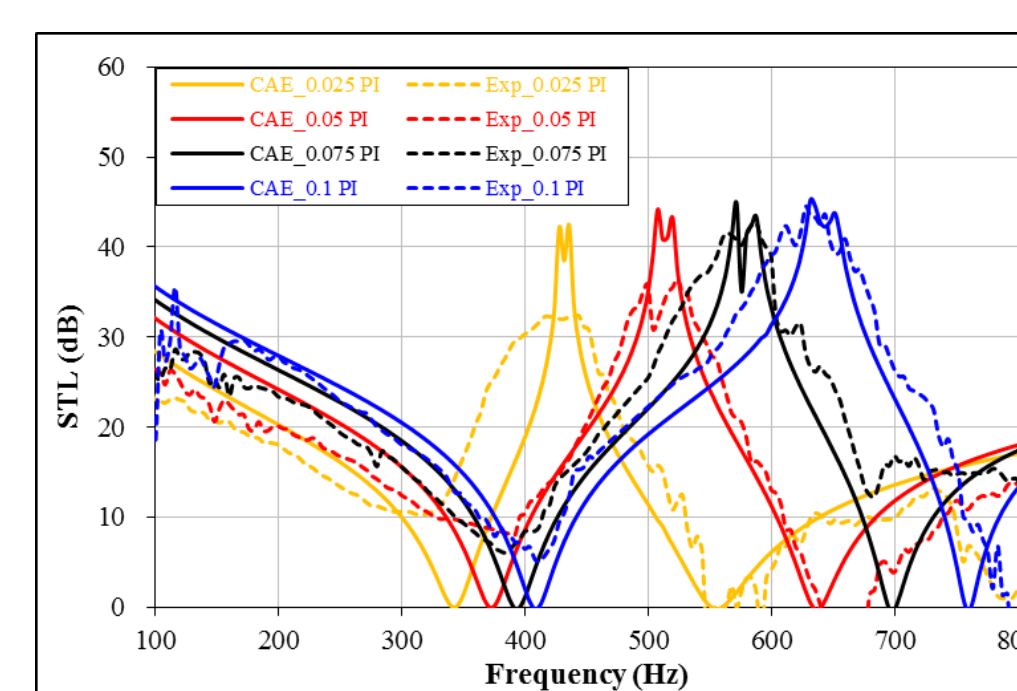


图 5. 参数化特性研究

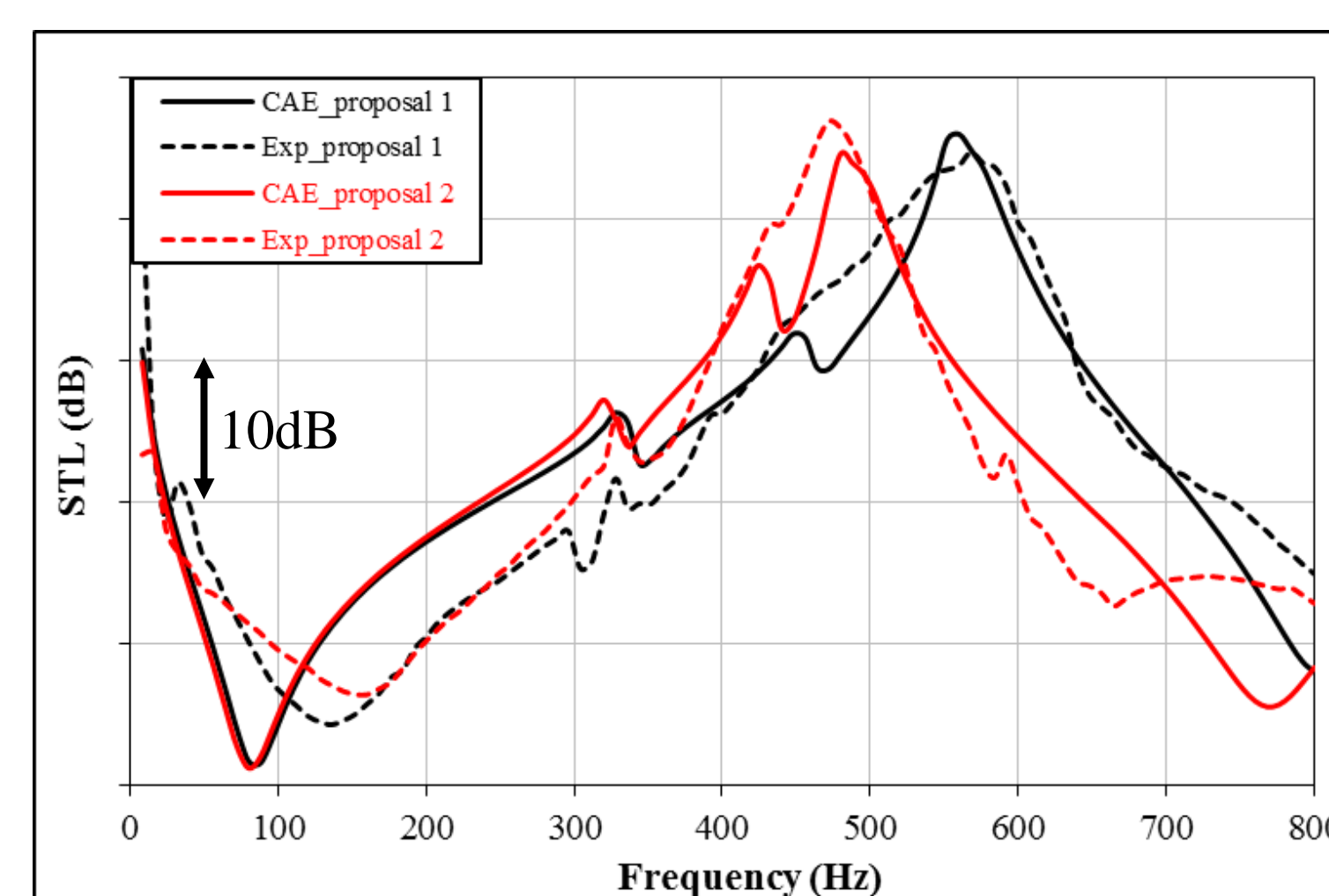


图 6. 优化后样件的STL

- 试验和仿真一致性较好;
- 低频段内STL带宽被拓宽;
- 表现出不同于普通材料的低频STL特性。

结论: 通过COMSOL计算了超材料结构的STL、平均法向位移、等效质量、等效刚度, 揭示了隔声机理, 量化研究得到优化的结构和材料参数, 低频带内STL得到极大地改善。使用COMSOL能充分指导低频声学超材料的理论研究和应用性设计, 下一步将开展大尺度模型研究。

参考文献:

- 1.Z.Yang, Jun Mei, Membrane-Type Acoustic Metamaterial with Negative Dynamic Mass, *Physical review letters*, 101 204301 (2008)
- 2.Meij J, Sheng P, Dark acoustic metamaterials as super absorbers for low-frequency sound, *Nature communications*, 3 756 (2012)
- 3.Ma F, Wu J H, Ultrathin lightweight plate-type acoustic metamaterials with positive lumped coupling resonant, *Journal of Applied Physics*, 121 015102 (2017)