基于 COMSOL Multiphysics 的定量磁声电成像仿真研究

吴玉超[1]，邓定乾[1]，陈昕[1]
[1]深圳大学医学部生物医学工程学院，深圳

1 几何与物理场

二维几何

几何设置如图1，其中：

圆形水域：R = 80 mm；
圆心坐标：(0, 80) mm

高电导率目标：130 × 43 mm（含孔洞）

平面波探头：15× 0.75 mm

测量电极：设置在矩形短边

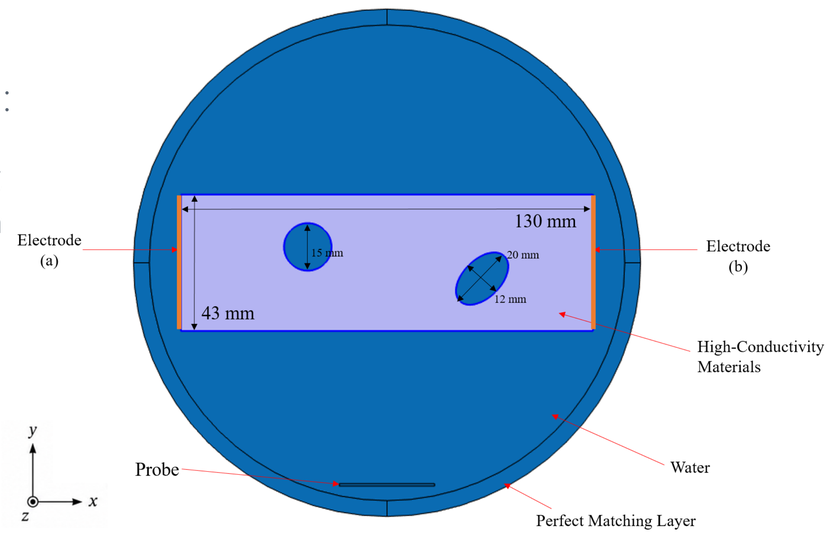


图1. 几何设置

关键材料与场参数

圆形水域背景(矩形仿体内部孔洞)	$\sigma_1 = 5.5\times10^{-6}$ S/m
矩形仿体区域	$\sigma_2 = 3$ S/m
静磁场	$B_0 = 0.77$ T (Z轴方向)
声场激励频率	1e6[Hz]
探头旋转半径	0.05[m]
探头旋转角度	[-55°,55°] U [125°,235°]
探头旋转步长	5° (图1所示位置为0°)

压力声场

声场激励(如图2)作用于整个圆形水域(边界为完美匹配层)，探头设置旋转角度进行多角度扫描

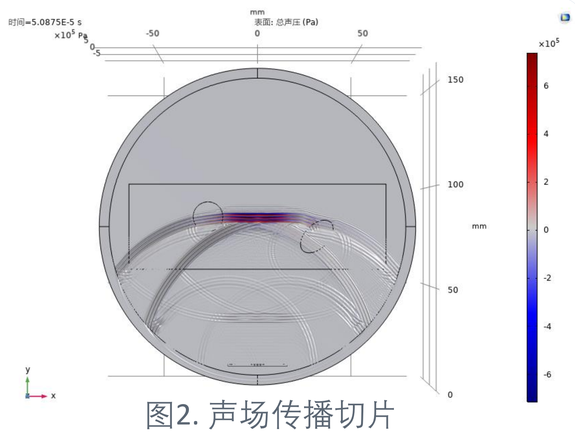


图2. 声场传播切片

磁场

磁场区域设置为中央矩形区域，在超声激励下，磁声耦合产生洛伦兹力

所有边界设置磁绝缘

电流场

电流场区域为中央矩形区域，上下边界电绝缘，左右边界为感应电压测量边界，测量信号如图3

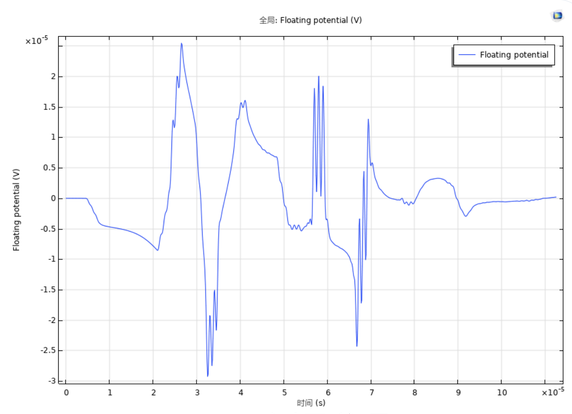


图3. 测量信号

2 多物理场耦合过程

01 声场激励
超声探头发射超声波

02 感应电场
处于静磁场中的质点振动产生感应电场

03 信号测量
从电流场中的悬浮电位得到测量信号

04 成像
定量磁声电成像算法得到目标的电特性分布图像

05 验证
成像结果与仿真结果进行定量评价，验证性能

3 定量磁声电重建结果

①电流密度 J_x

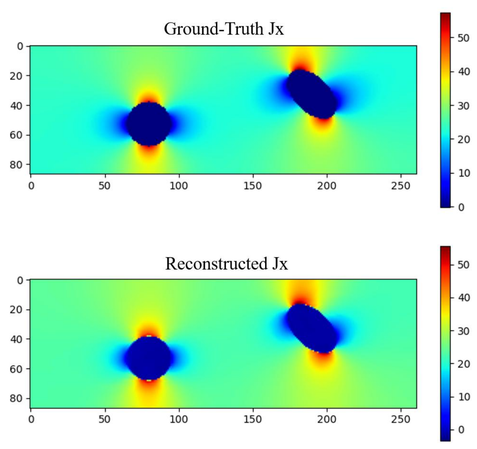


图4. J_x重建结果

②电流密度 J_y

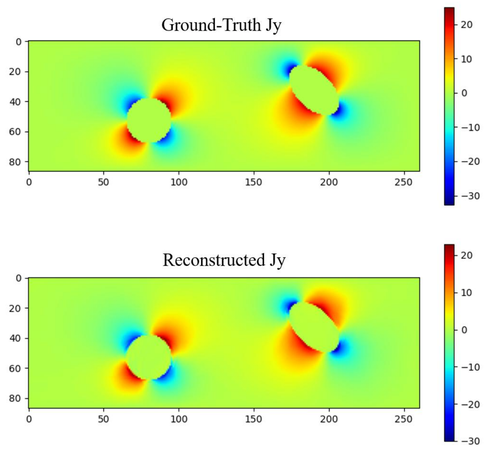


图5. J_y重建结果

③电导率

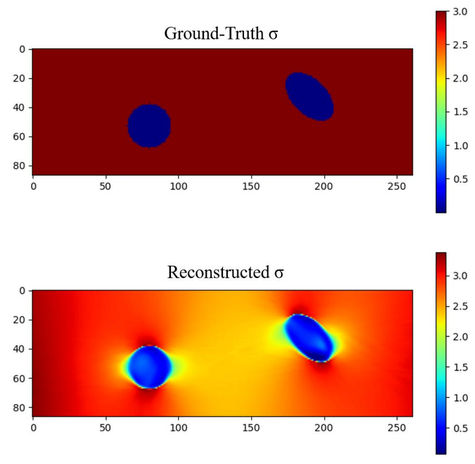


图6. σ重建结果

表1. 定量磁声电成像定量评价指标

重建参数/评价指标	SSIM(结构相似度)	RMSE(均方根误差)	PSNR(dB)(峰值信噪比)	RE(相对误差)
J_x	0.955	0.047	26.5	0.11
J_y	0.995	0.008	41.6	0.015
σ	0.848	0.207	13.7	0.214