

# 磁声电成像中电流场的仿真分析

李元园<sup>1</sup>, 李彩莲<sup>1,2</sup>, 夏慧<sup>1</sup>, 刘国强<sup>1,2</sup>

1. 电工研究所, 中国科学院, 北京  
2. 电子电气与通讯学院, 中国科学院大学, 北京

**简介:**人体的组织和器官处于正常与病变状态的电导率存在差异, 通过组织电学特性的改变有望早期发现生理、病理异常, 为疾病早期诊断提供数据支持。磁声电成像是一种新兴的电学成像方法, 置于静磁场和声场中的目标体受到洛伦兹力的作用, 而产生电荷分离, 进而在目标体中形成随超声传播而变化的电流分布, 通过电极或线圈检测实现信号的测量, 进一步实现电特性成像。在进行电特性成像过程中, 电流密度的分布对于磁声电成像系统的设计意义重大。

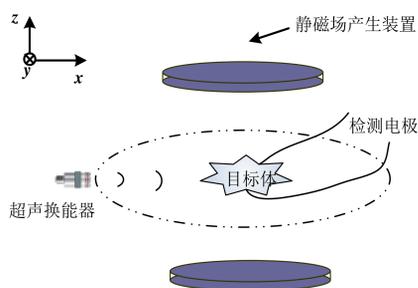


图 1. 磁声电成像原理

**•计算方法:**本文使用声学、结构力学、AC/DC模块搭建磁声电成像有限元计算模型, 声学模块用于计算声场分布, 使用声结构耦合接口, 将声场求解的声压耦合到固体力学模块计算振动速度, 通过AC/DC模块模拟磁声电成像电流场分布

$$\begin{cases} \nabla \cdot (\sigma \nabla u(\mathbf{r}, t)) = \nabla \cdot (\sigma \mathbf{v}(\mathbf{r}, t) \times \mathbf{B}_0(\mathbf{r})) \\ \sigma \frac{\partial u(\mathbf{r}, t)}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = \sigma \mathbf{v}(\mathbf{r}, t) \times \mathbf{B}_0(\mathbf{r}) \cdot \mathbf{n} \Big|_{\Gamma} \end{cases}$$

$$\mathbf{J}_T = \sigma \mathbf{v} \times \mathbf{B}_0 - \sigma \nabla u$$

单极源激励模拟实际超声换能器产生的声场分布。声学模块计算得到的振速和电导率以及静磁场作为AC/DC模块的外部电流密度源, 进而获得电流密度分布

$$\text{声场: } \frac{1}{\rho c^2} \frac{\partial p_t}{\partial t^2} + \nabla \cdot \left( -\frac{1}{\rho} (\nabla p_t - \mathbf{q}_d) \right) = Q_m$$

$$p_t = p + p_b$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} = \nabla \cdot \mathbf{S} + F_v$$

$$\text{电流场: } \nabla \cdot \mathbf{J} = Q_{j,v}$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J}_e$$

$$\mathbf{E} = -\nabla V$$

**结果:**得到不同时刻的声压和电流密度分布图, 从图中可以看出电流密度的分布, 由于电导率异常体的存在, 电流密度分布可以显现电导率的变化。

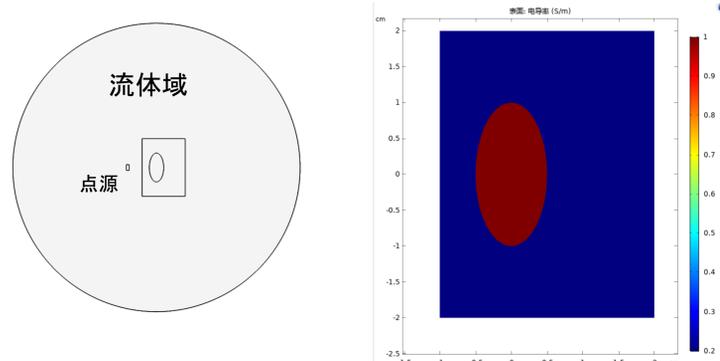


图 2. 仿真模型和电导率分布

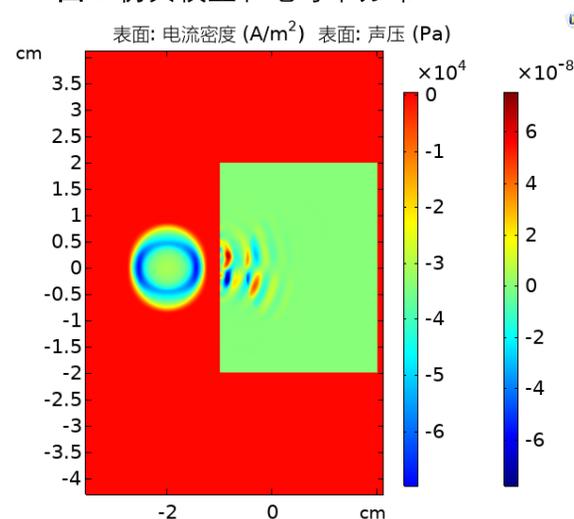


图 3. 4.7 μs 的声压和电流密度分布

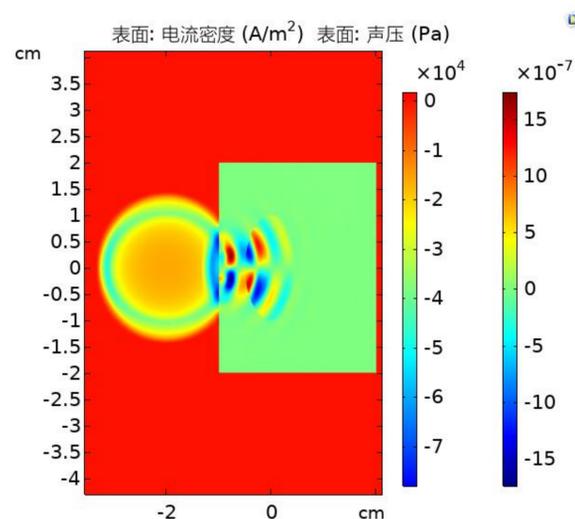


图 4. 8.2 μs 的声压和电流密度分布

**结论:**模型考虑了单极声源激励的物理现象, 使计算结果更接近于实际超声换能器产生的声场分布。通过仿真计算, 得到了同一时刻的声压和电流密度的分布情况, 同时通过计算得到不同时刻, 磁声电成像电流密度变化情况。仿真计算对于磁声电成像声场和电磁场的分布有了更深入的研究, 仿真结果更有利于实验系统的研究与开发。

## 参考文献:

1. 刘国强. 磁声成像技术下册[M]. 北京: 科学出版社. 2016
2. Han wen, Jatin Shah Robert S. Balaban. Hall effect imaging.[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1998, 45(1):119-24.