

动电阻抗成像方法仿真研究

李士强¹,刘国强¹,李晓南¹,徐行^{1,2},安慧林¹

1.中国科学院电工研究所,北京市

2.电气工程学院,河北工业大学,天津市

简介:电阻抗成像(EIT)技术由于分辨率较低受到专家学者的诟病,而EIT与超声技术两者的结合以及EIT与磁共振技术两者的结合可以提高成像的分辨率,但仍分别存在电极射频屏蔽效应以及分辨率难以进一步提高等问题。本文将磁共振成像技术和磁声电技术优势互补,采用低频振动进行激励,采用一种新的动电阻抗成像方法(MEIT)进行了仿真研究。

原理:将一束低频振动波注入放置在磁共振静磁场中的物体,物体中的质点由于振动而受到洛伦兹力,发生电荷分离,在组织内部形成电场及电流,产生的与静磁场方向平行的磁场分量将影响磁共振信号的相位,通过检测相位差异求解磁场分量,进而利用安培定律获得物体电导率分布。

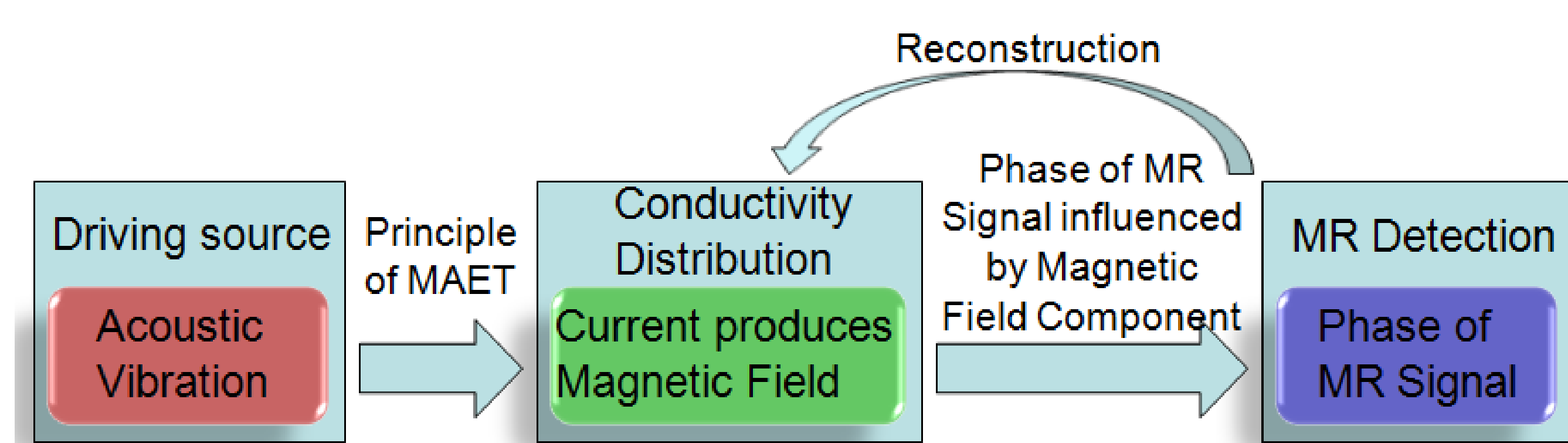


图1. MEIT原理

计算方法:仿真研究工作中,采用COMSOL 仿真软件PDE模式中的系数型模块进行MEIT的正问题求解。满足的电磁场方程和其边界条件为:

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla u) = \nabla \cdot [\sigma (\mathbf{v} \times \mathbf{B}_0)] \quad (\text{in } \Omega) \quad (1)$$

$$\left(\sigma \mathbf{v} \times \mathbf{B}_0 \cdot \mathbf{n} - \sigma \frac{\partial u}{\partial n} \right)_{\partial \Omega} = 0 \quad (\text{in } \partial \Omega) \quad (2)$$

$$\left(\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial y^2} \right)_{e_z} = \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} + v_x B_0 \right) \frac{\partial \sigma}{\partial x} - \left(\frac{\partial u}{\partial x} - v_y B_0 \right) \frac{\partial \sigma}{\partial y} + \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) B_0 \sigma \right]_{e_z} \quad (3)$$

建立的二维仿真模型如图2所示。

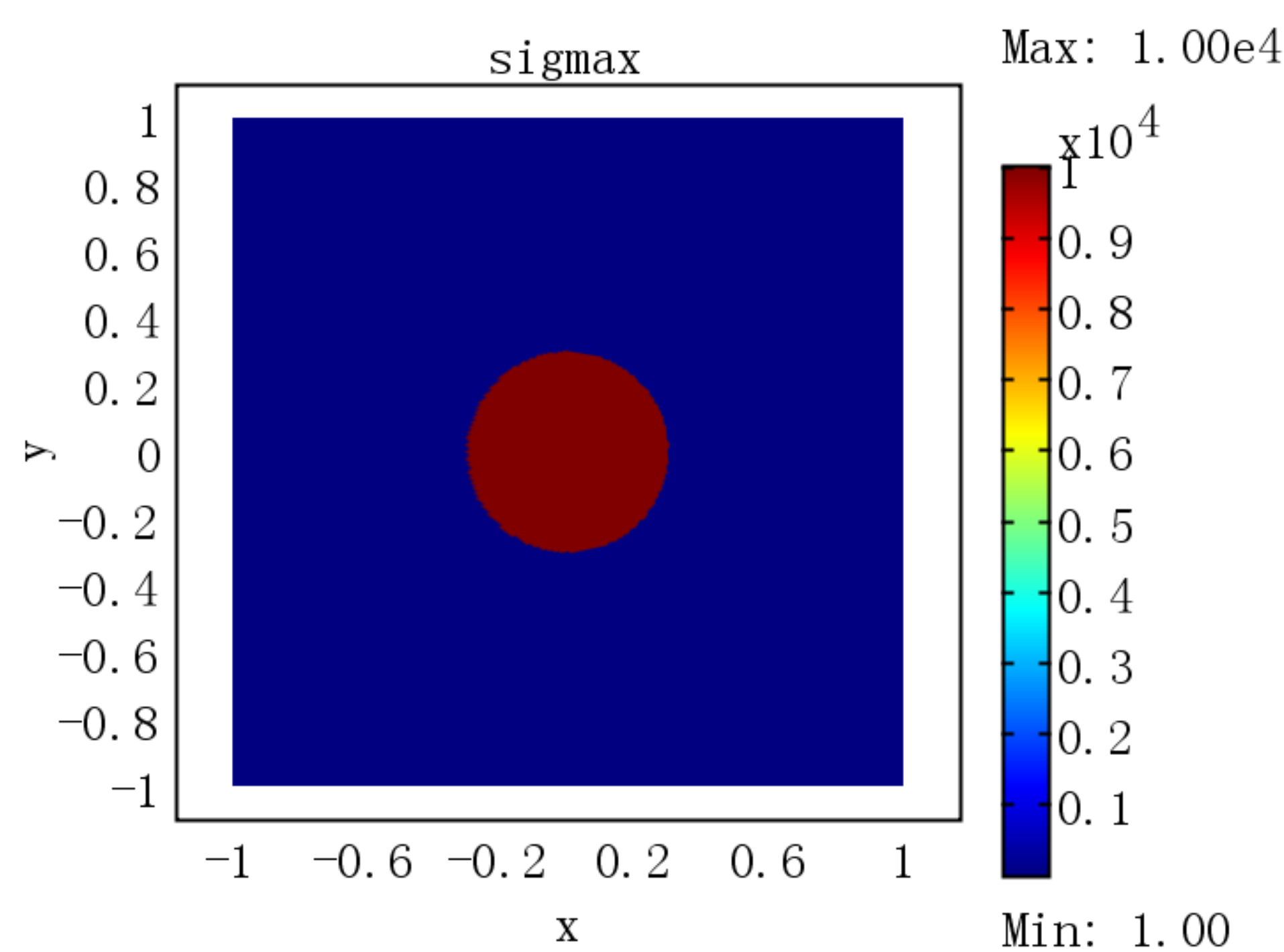


图2. 仿真模型

(模型的尺寸为 $2 \times 2 \text{ cm}^2$,蓝色区域的电导率设为 1 S/m ,圆心坐标为 $(-0,0)$,半径为 0.3 的红色圆形区域电导率设为 10000 S/m 。模型中施加的低频振动为,方向为 x 方向,模型中的电导率参数以及速度参数是通过全局表达式设置的。MRI系统的主磁场为 1 T ,方向与二维模型垂直,设为 z 方向。)

结果:取 $t=0.6 \text{ ms}$ 时刻为例,仿真计算得到的模型内部标量电位及电流密度的分布如图3和图4所示。

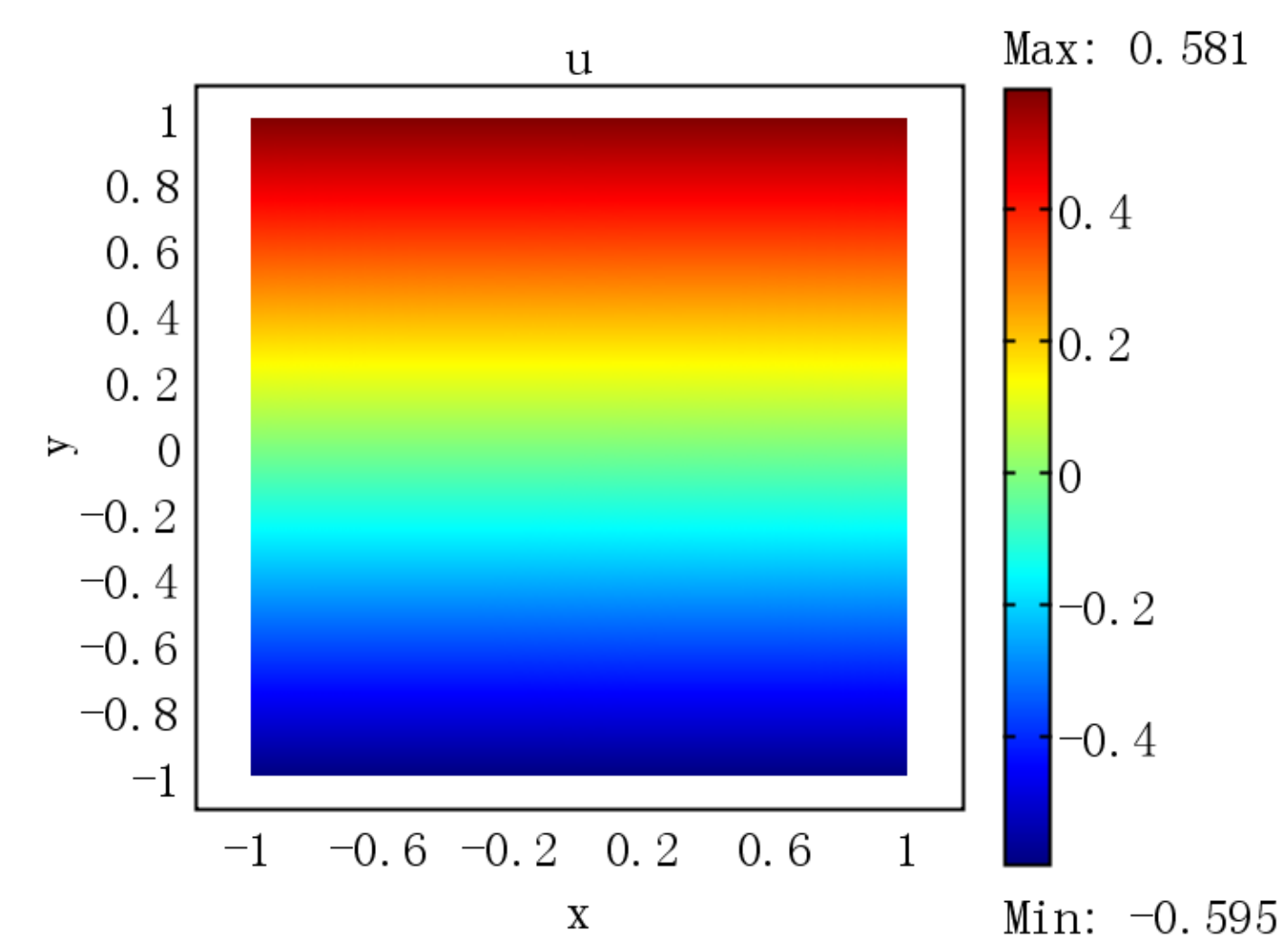


图3. 物理内部标量电位分布

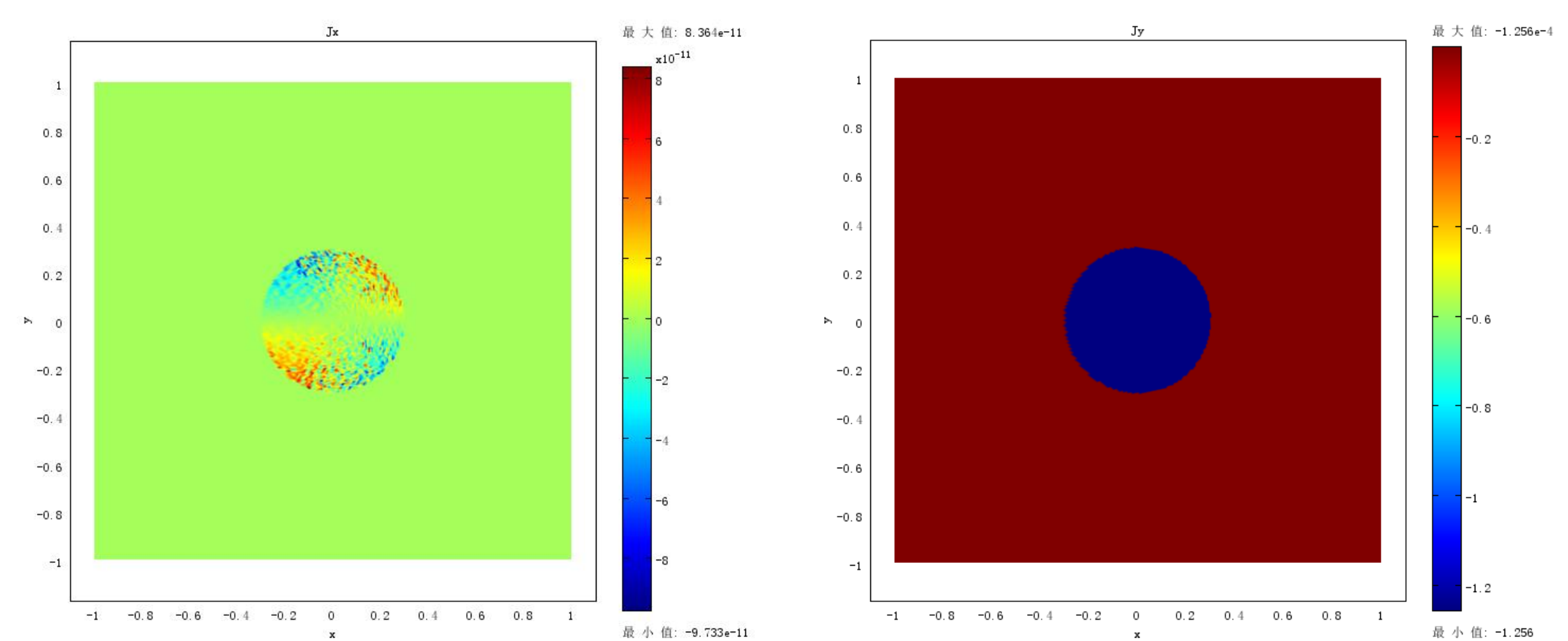


图4. 模型内部电流密度分布

由COMSOL输出的电流密度分布求解磁感应强度在MRI主磁场方向的分量如下图5所示。

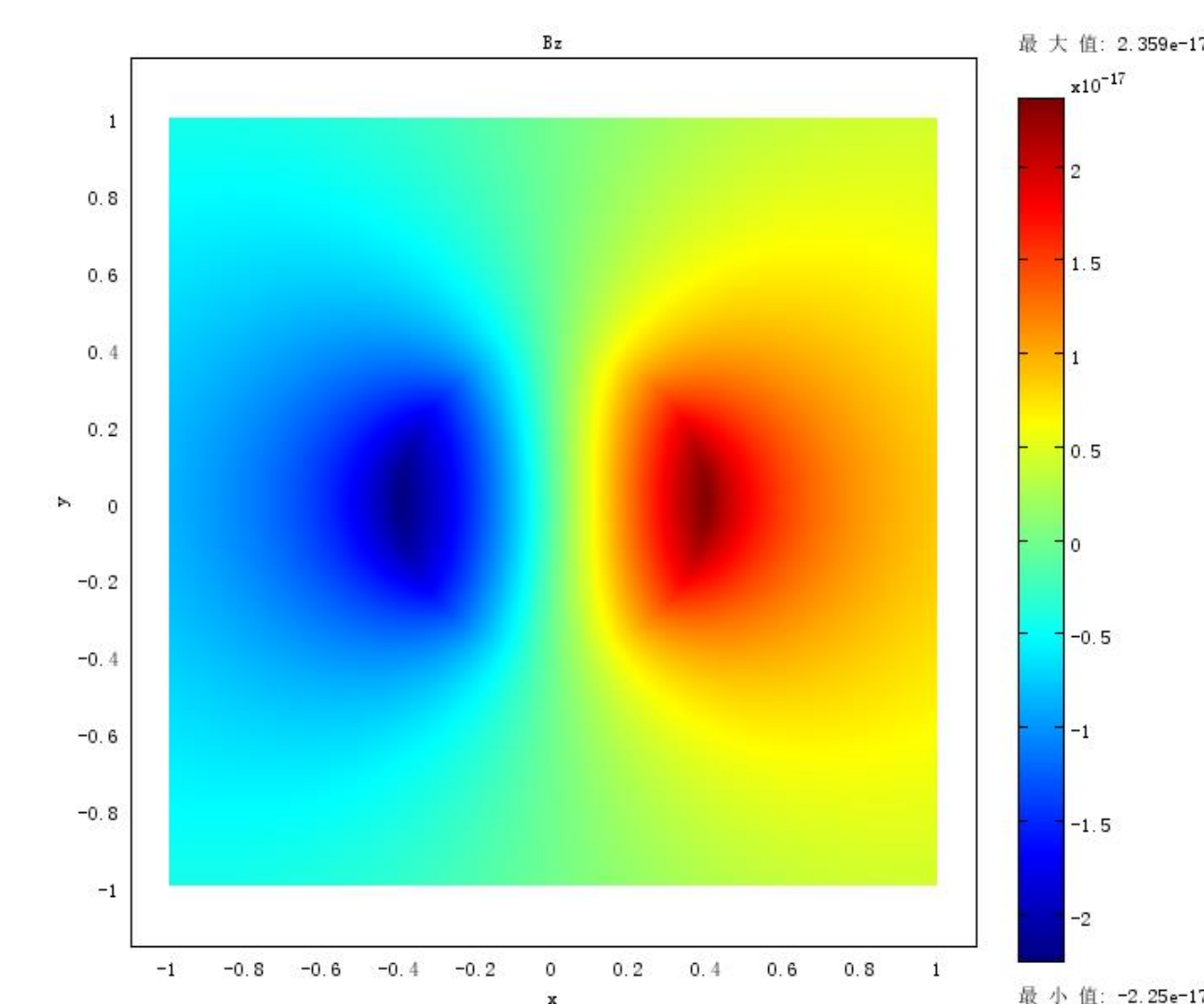


图5. 模型内部磁感应强度z分量

将仿真计算得到的 B_z 数据当做磁共振设备测量数据进行反演重建,结果如下图6所示。

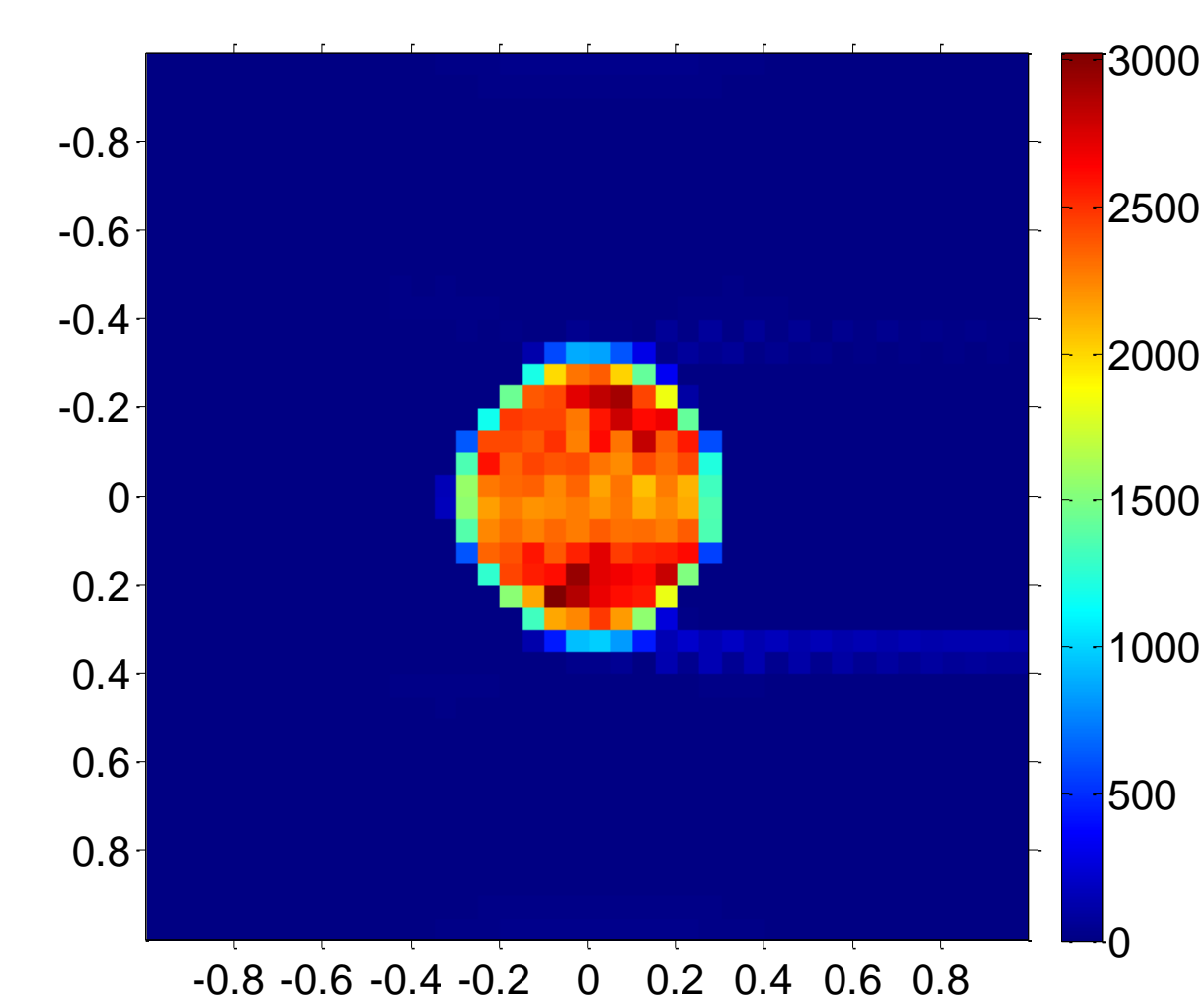


图6. 模型电导率分布重建结果

结论:仿真研究初步验证了MEIT方法的可行性,可以为电阻抗的检测提供一种新的手段。

参考文献:

1. J. K. Seo, E. J. Woo, Electrical Tissue Property Imaging at Low Frequency Using MREIT, IEEE transaction on biomedical engineering, 2014, 61(5), pp:1390-1399.
2. Marco Guermandi, Roberto Cardu, et al. Active Electrode IC for EEG and Electrical Impedance Tomography With Continuous Monitoring of Contact Impedance, IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 9, no. 1, FEBRUARY 2015, pp.21-33.