

基于COMSOL的电磁超声数值模拟在无损检测中的应用

孙文秀^{1, 2}, 宋佳祥^{1, 2}, 李元园^{1, 2}, 丁广鑫^{1, 2}, 邢博文³, 王业康³,

- 1.中国科学院大学, 北京
- 2.中国科学院电工研究所, 北京
- 3.河北工业大学, 天津

简介:针对非铁磁金属板的缺陷检测问题, 本文建立了超声发射、电磁超声换能器接收的有限元模型, 对被测体缺陷位置不同时线圈接收到的仿真信号进行分析。

结果:在固体介质中, 纵波声速最大, 横波声速次之, 表面波声速最低。根据不同类型声波速度传播的差异, 离声源点最远的为纵波, 其次为横波, 最后为表面波。从图2中能够明显区分出纵波、横波和表面波。

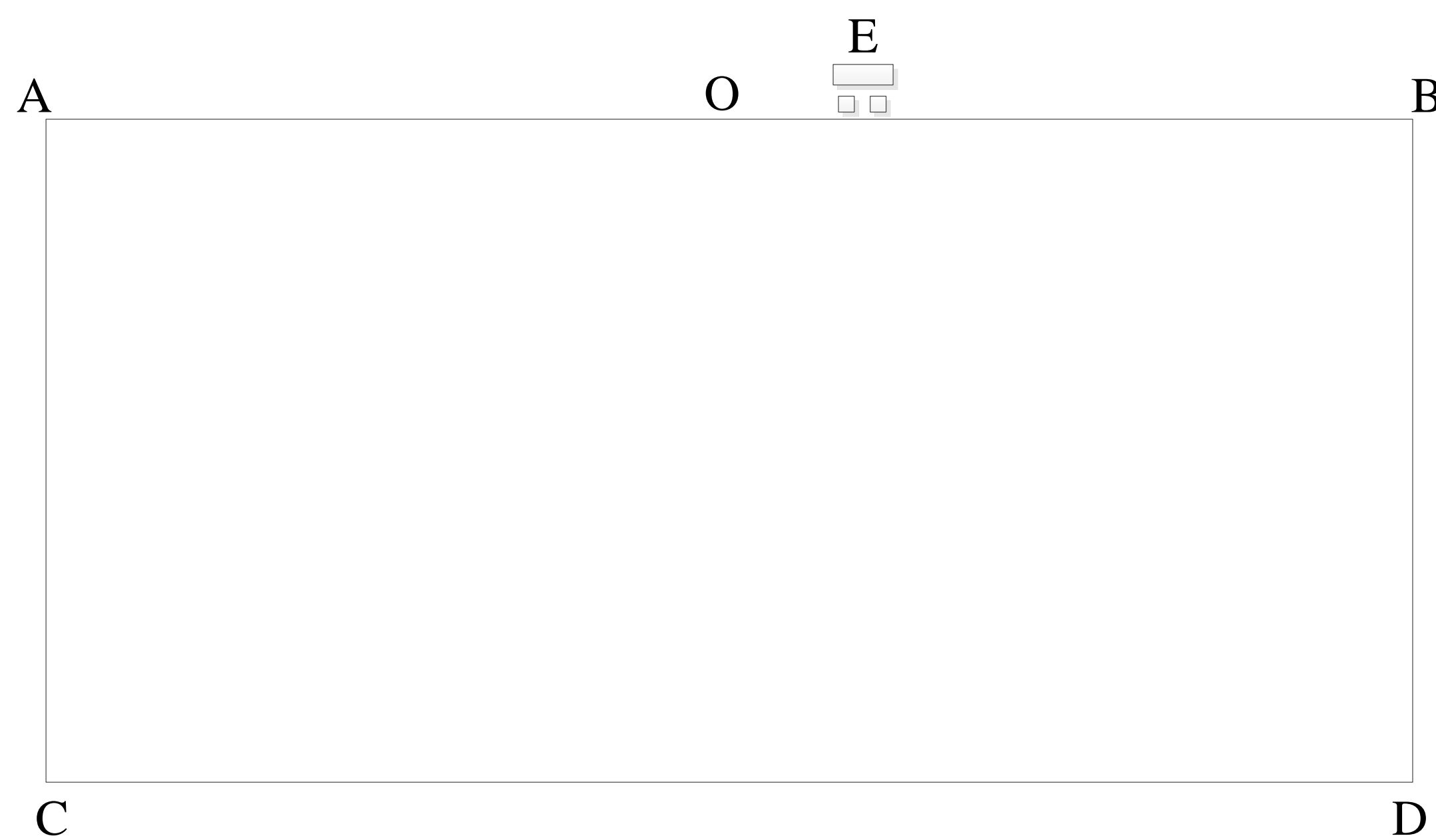


图 1. 二维模型示意图

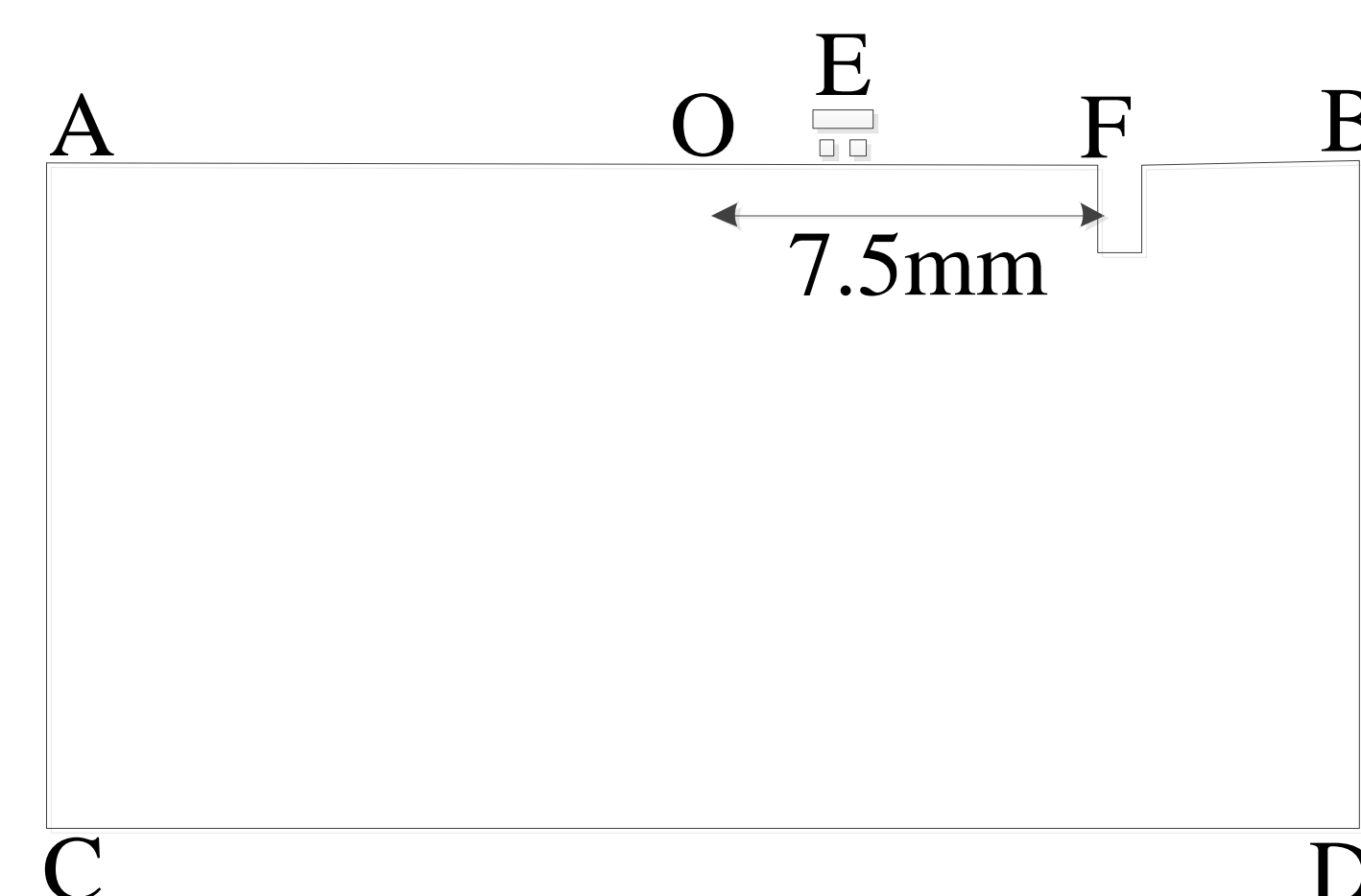


图 3. 表面缺陷在7.5mm处的平面模型

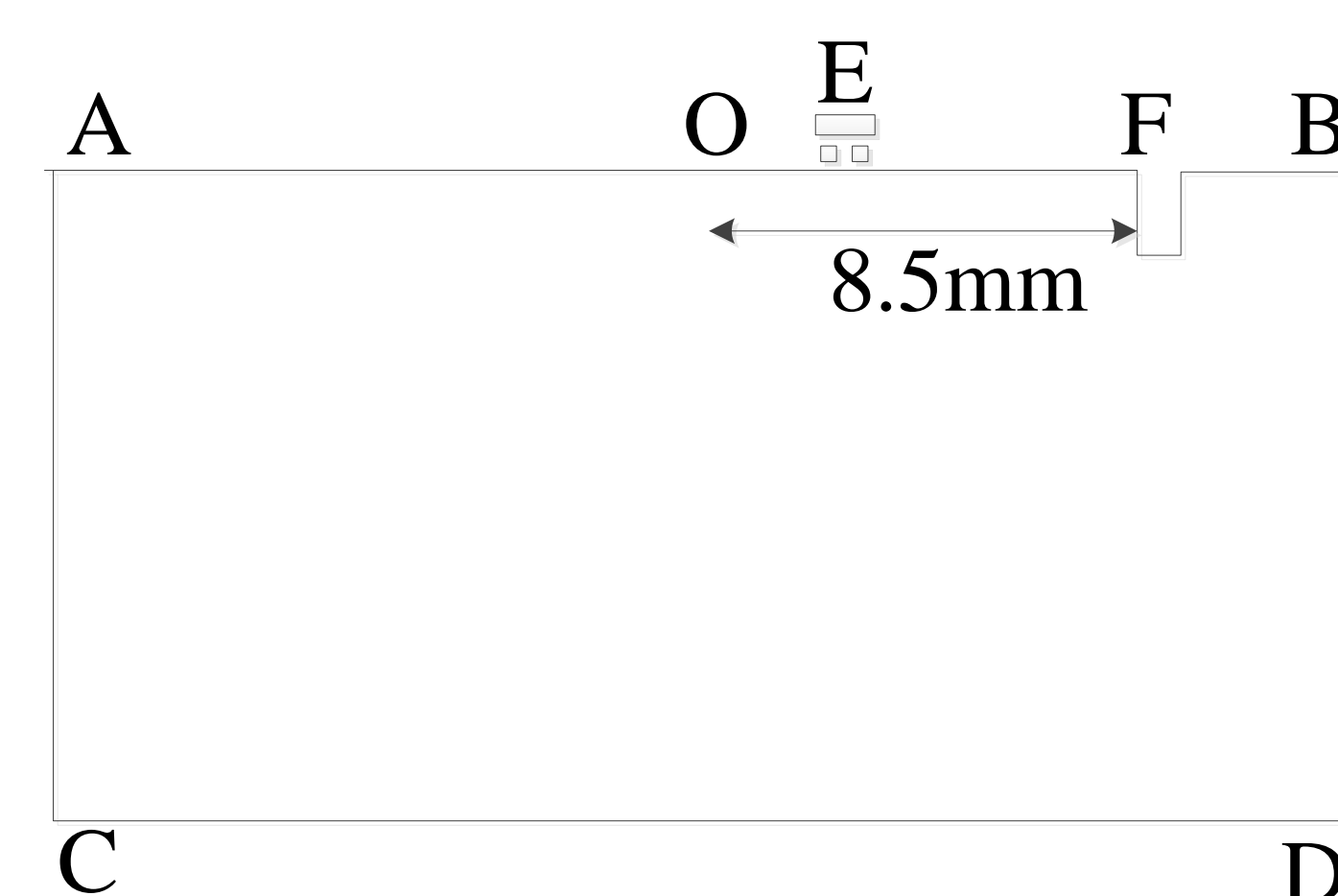


图 4. 表面缺陷在8.5mm处的的平面模型

计算方法:这其中涉及静态磁场、脉冲涡流场和结构力学场的多场耦合。

$$\mathbf{B}_0 = \mu_0 \mu_r \mathbf{H} + \mu_0 \mathbf{M}_0 = \mu_0 \mu_r \mathbf{H} + \mathbf{B}_r$$

$$-\frac{1}{\mu} \nabla^2 \mathbf{A} + \sigma \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} = \sigma \mathbf{v} \times (\mathbf{B}_0 + \nabla \times \mathbf{A})$$

$$G \nabla^2 \mathbf{u} + \frac{G}{1-2\nu} \nabla(\nabla \cdot \mathbf{u}) - \rho \frac{\partial \mathbf{u}^2}{\partial t^2} = -\mathbf{f}_L$$

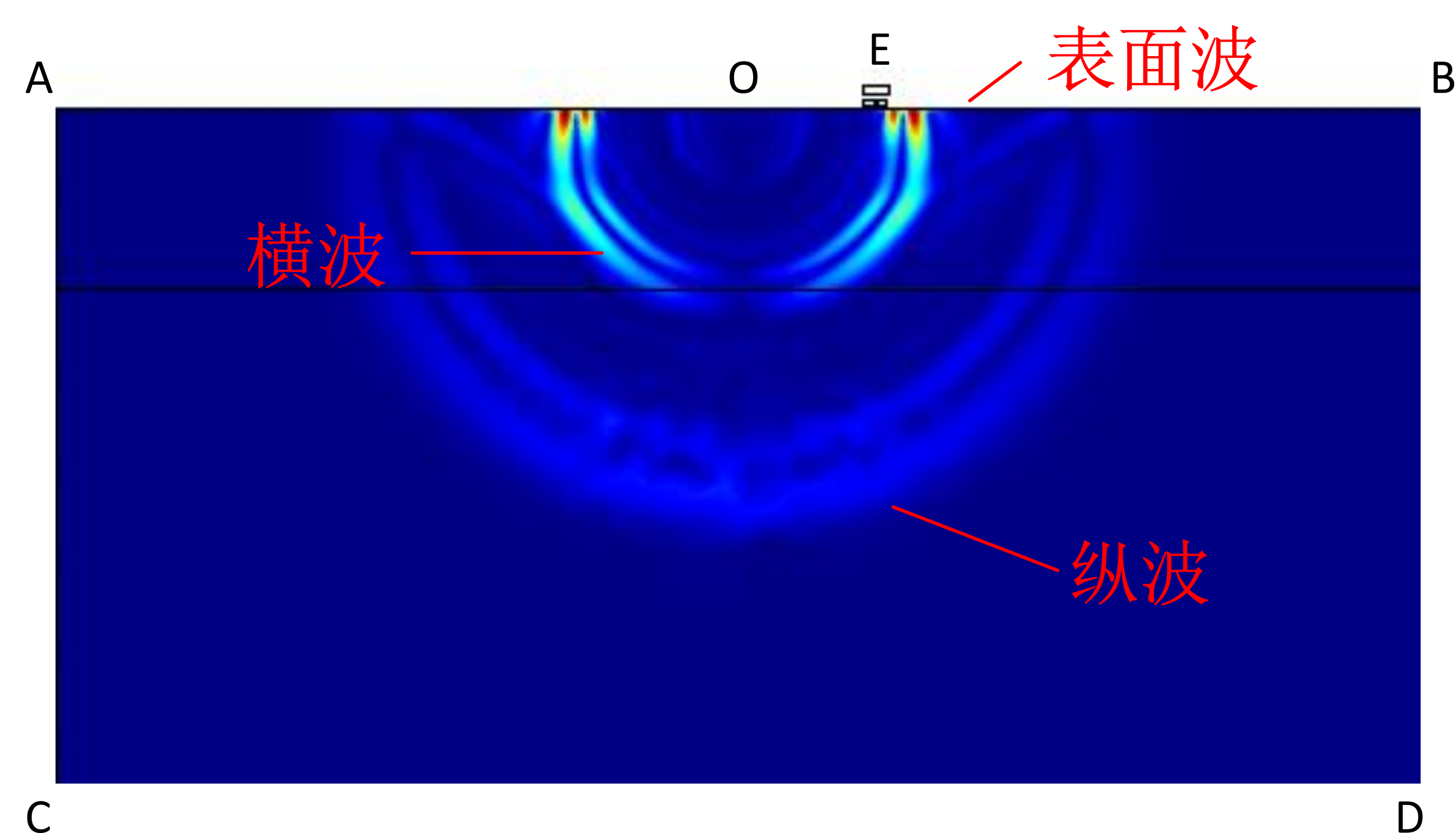


图 2. t=1.58μs时表面波位移云图

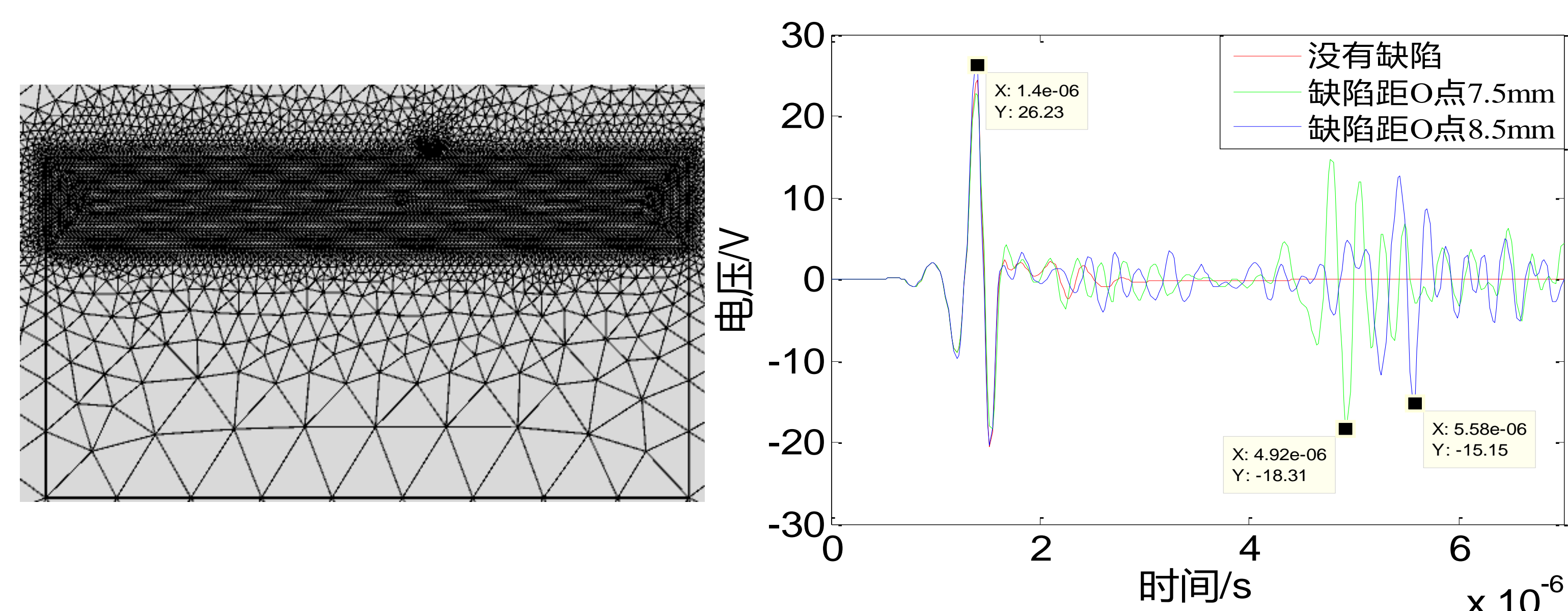


图 5. 分层网格划分后的有限元模型

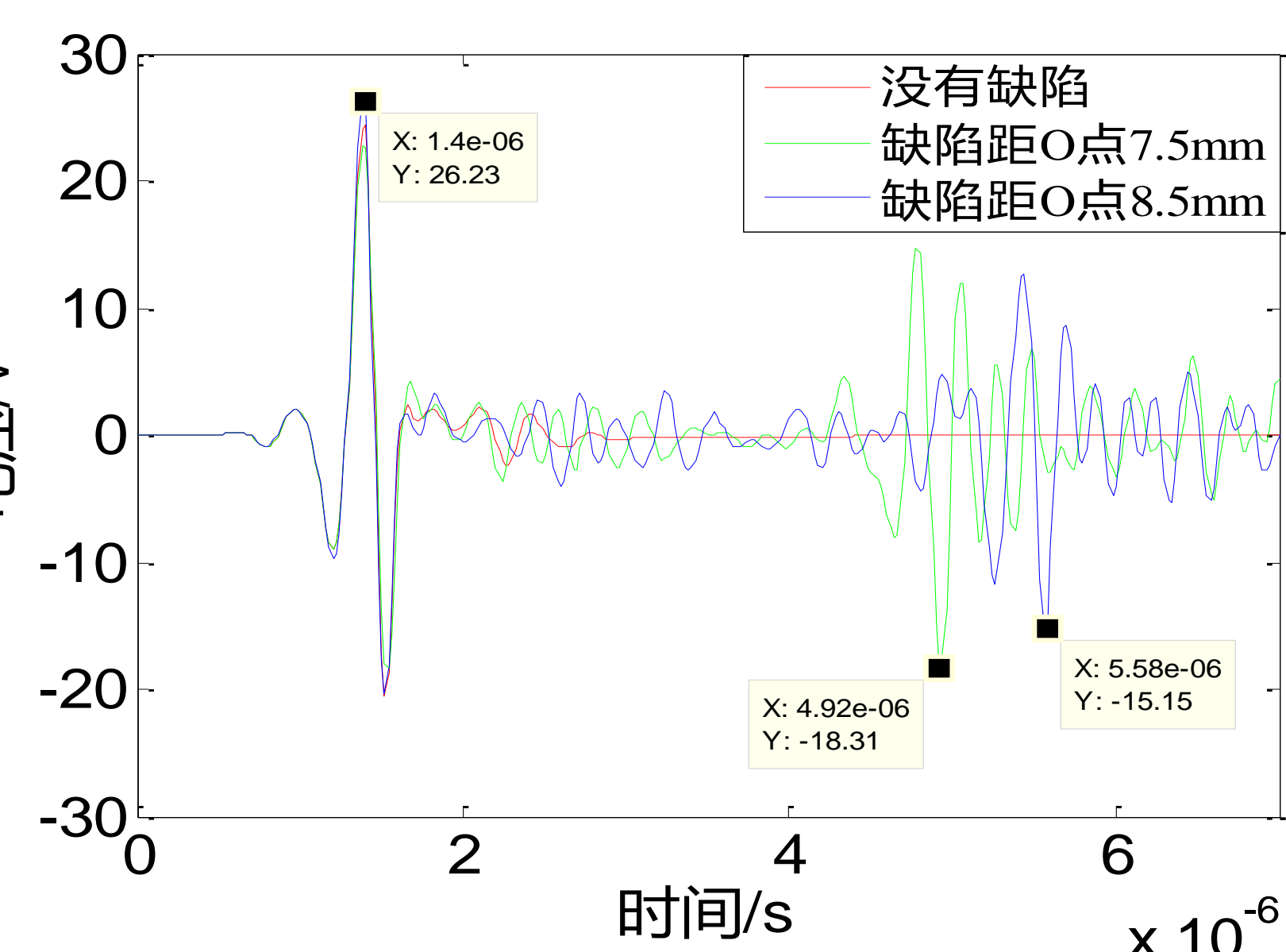


图 6. 试样中有无缺陷的感应电压

结论:从图中可以看到, 表面波的直达波几乎是同时到达E点, 而随着缺陷位置远离O点, 缺陷位置相对E点距离也变大, 接收到的反射波的时间也相应的增加, 这与实际情况相符合。根据各波峰的时间和接收点间距, 可算出波速与理论速度相符, 说明了该模型用于检测缺陷的可行性。

参考文献:

1. Bikash Ghose, Krishnan Balasubramaniam, et al. Two dimensional FEM simulation of ultrasonic wave propagation in isotropic solid media using COMSOL. Excerpt from the Proceeding of the COMSOL Conference 2010 India.
2. 艾春安, 韩兆林, 李剑, 等. 基于有限元方法的超声波仿真研究, 电声技术, 39, 39-41 (2015)