

COMSOL在斜井和水平井 阵列感应响应计算中的应用

报告人：史盼盼
导师：仵杰 教授
西安石油大学

研究的主要内容

1. 引言
2. 大斜度井和水平井建模
3. 结果
4. 结论

1. 引言

水平井相较于直井有明显优势：储积层暴露面积增大；分散储层的横向连接能力；变化的泄油几何特征。

斜井和水平井中阵列感应响应特性研究是测井数据正确解释的基础。在斜井和水平井中，井轨迹可能以任意角度进出水平地层，阵列感应测井响应计算是复杂的三维电磁场数值计算。

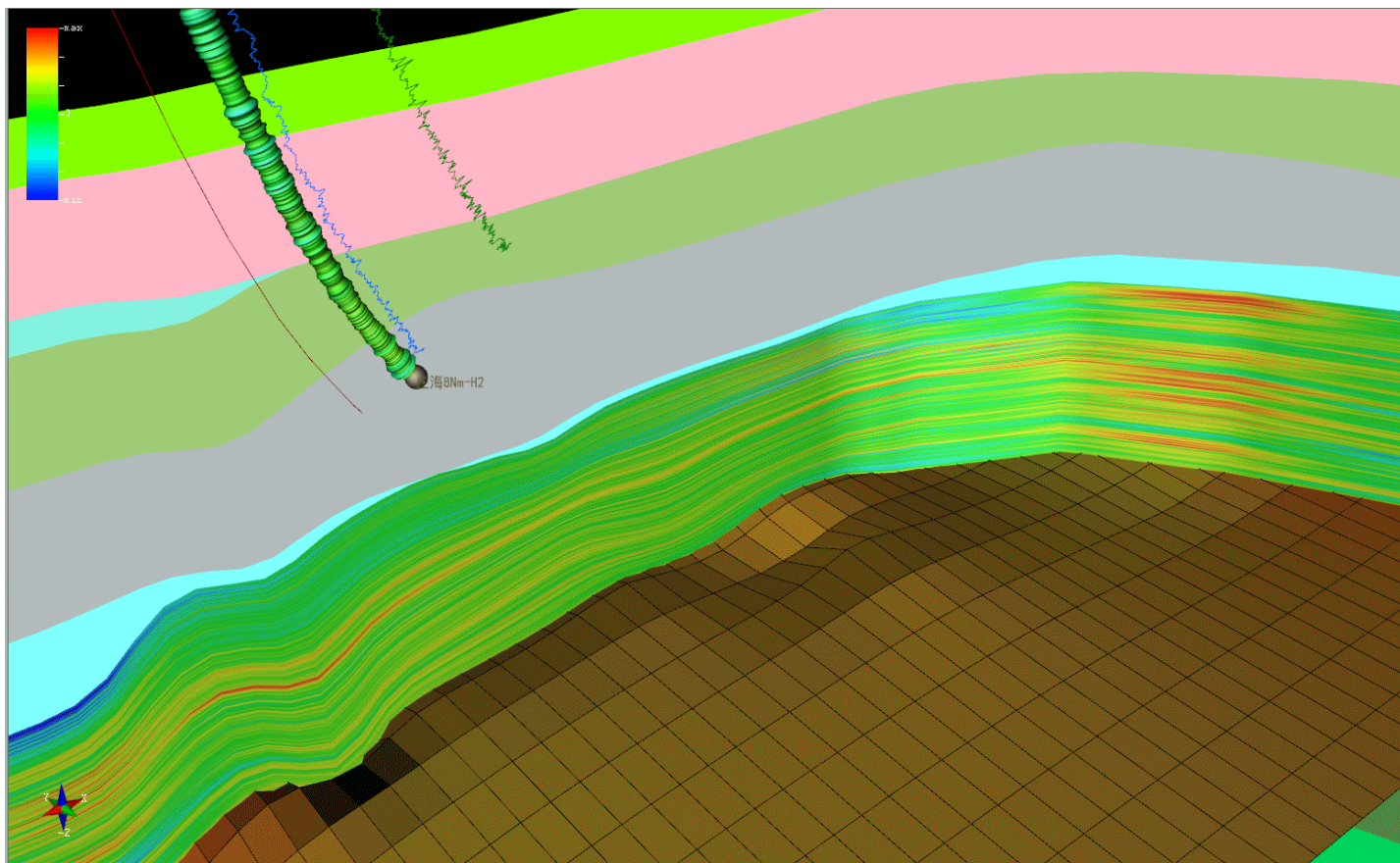


图 1 井轨迹和测井曲线在地质模型中的动态展示

2. 大斜度井和水平井建模

基于COMSOL
多物理场有限元仿
真软件的AD/DC模
块开发完成斜井和
水平井中的阵列感
应响应三维数值计
算方法。

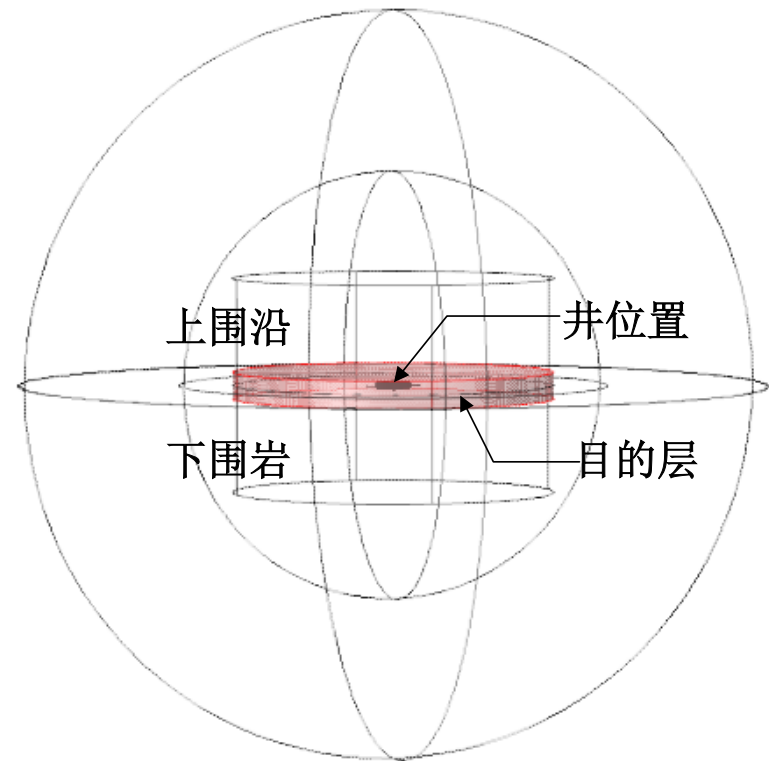
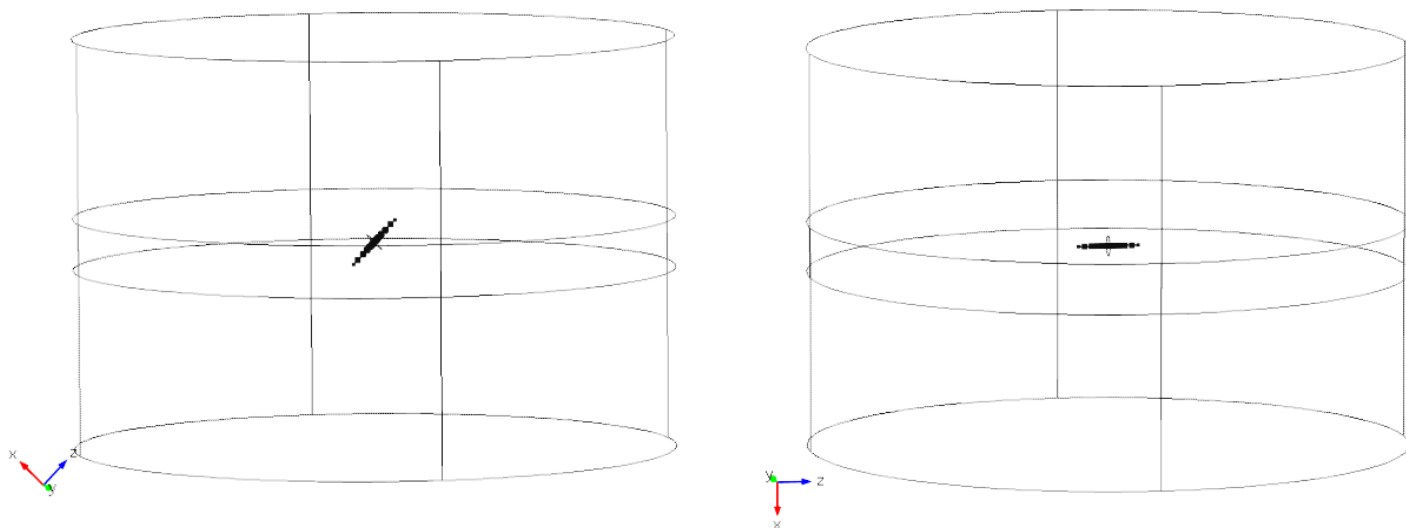


图 2 水平井的几何建模

详细计算分析水平井和斜井中井位置、目的层厚、目的层电导率、围岩电导率以及目的层与围岩电导率对比度对阵列感应测井响应的影响。



(a) 仪器倾角 45° (b) 仪器倾角为 90° (水平井)

图 3 斜井和水平井三维模型

两个难点：

1. 几何建模

由于实际地层并非平整三层地层，而是相当复杂地交叠在一起，在建模时，采用围岩包住有限大目的层的形式进行仿真。

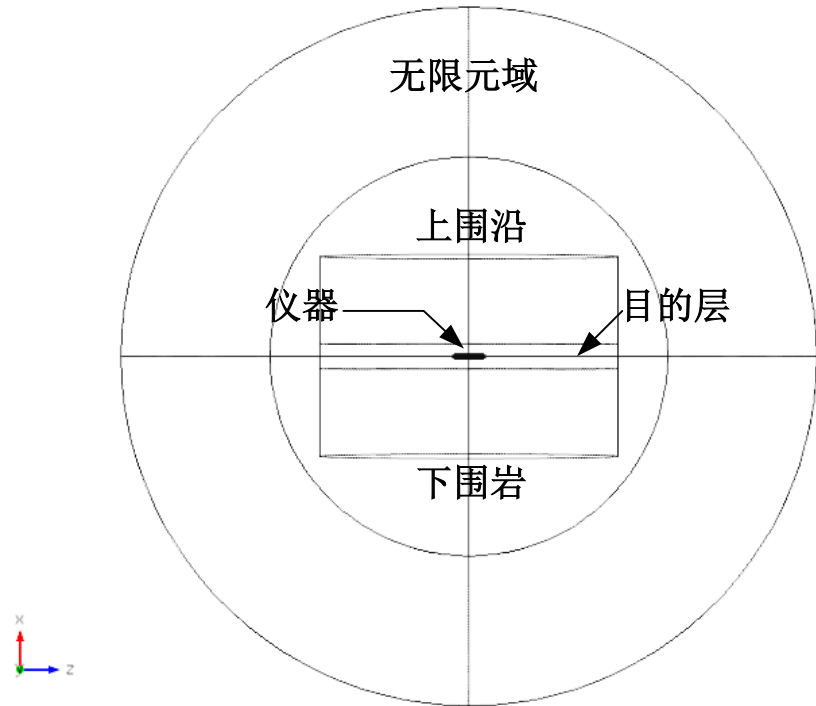


图 4 水平井模型在 xoz 面切面图

为了使仪器的网格数一定，模型采用仪器固定，地层进行旋转，这样同时方便在结果中取值。在工作面上创建一个环形圆面用于分割作为无限元域的上下围岩。

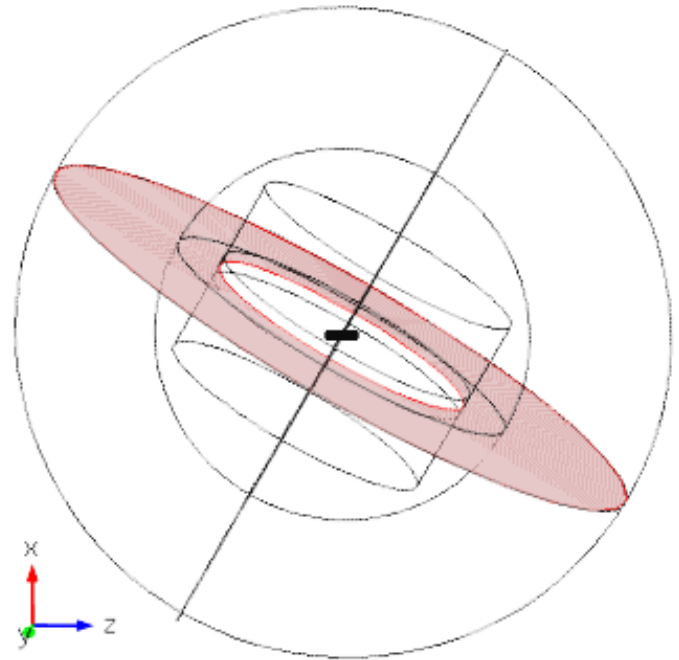


图 5 仪器倾角为 60° 几何模型

2. 网格剖分

在感应测井中会形成与仪器正交的涡流，但随着仪器倾角的变化，不容易形成涡流，数值计算结果出错，所以在发射源位置处增大一个正交圆面，并进行三角形剖分，使其容易形成涡流。

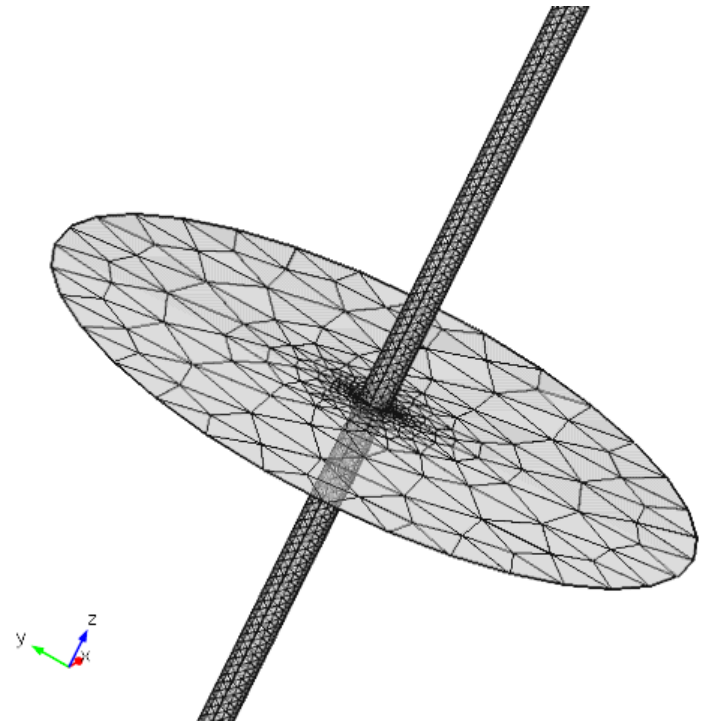


图 6 仪器网格剖面图

在优化网格时，将地层分为圆柱体和球体两部分，圆柱体部分场量变化剧烈，剖分要细，球体主要用于添加无限元域，剖分可以较粗。

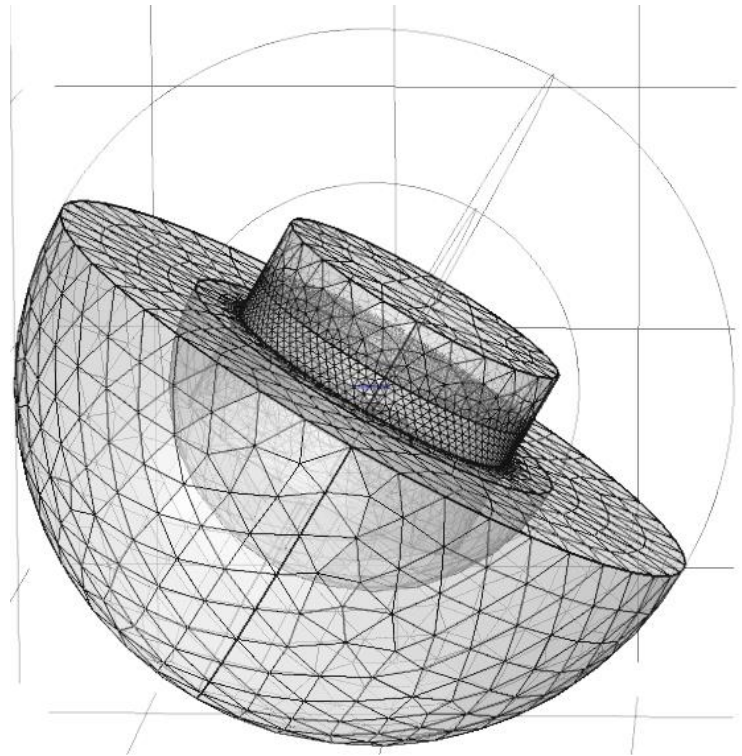


图 7 模型部分剖分图

3. 结果

(1) 在水平井中，当层厚大于仪器分层厚度时，水平井响应与直井响应接近；当层厚小于仪器分层厚度时，水平井响应与直井明显不同，在水平井进出界面时，响应出现明显尖峰；

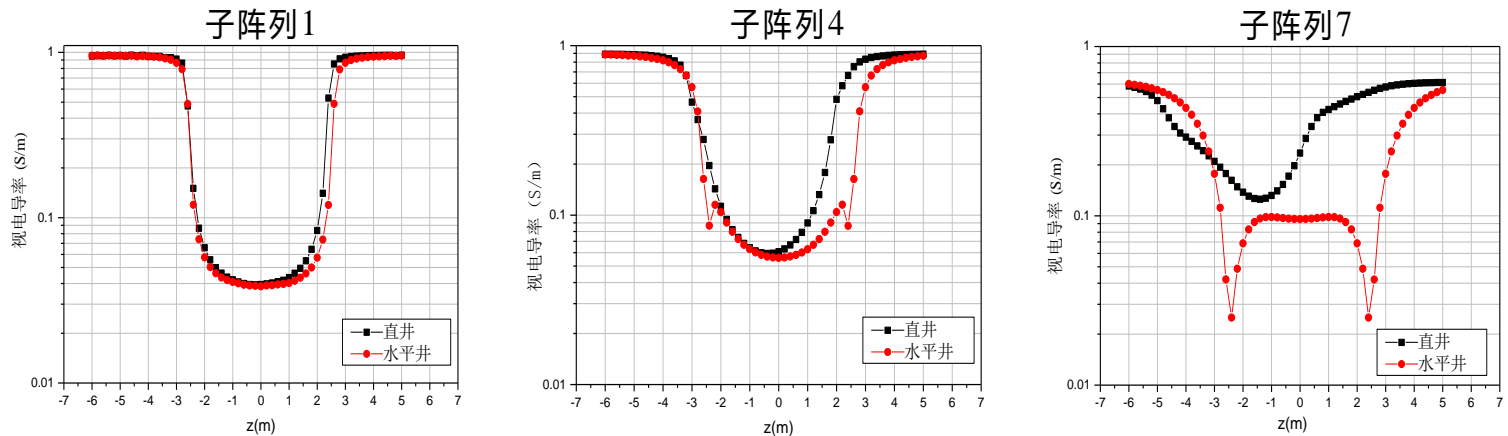


图8 水平井中的阵列感应响应特性与直井比较

水平井中的响应同时受电导率对比度、趋肤效应和界面电荷堆积的影响，比直井复杂得多。

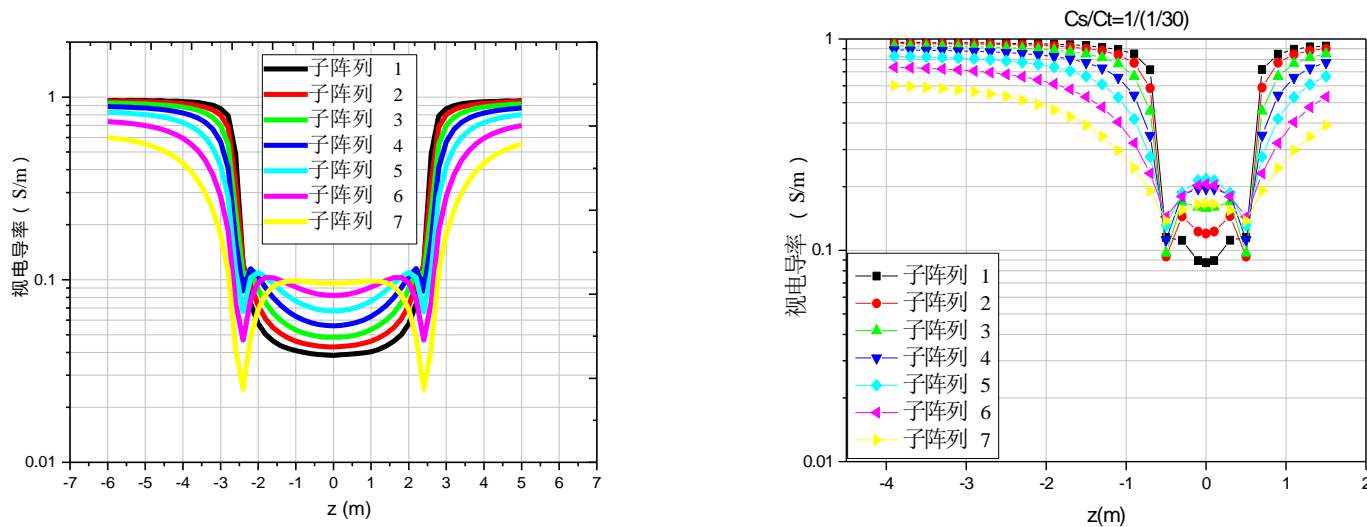
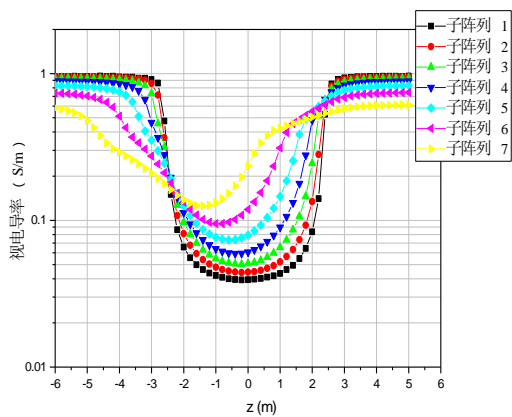
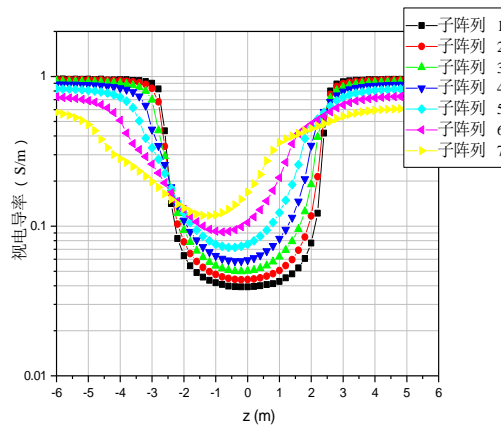


图9 1m和5m层厚时电导率对比度对水平井模型的响应影响

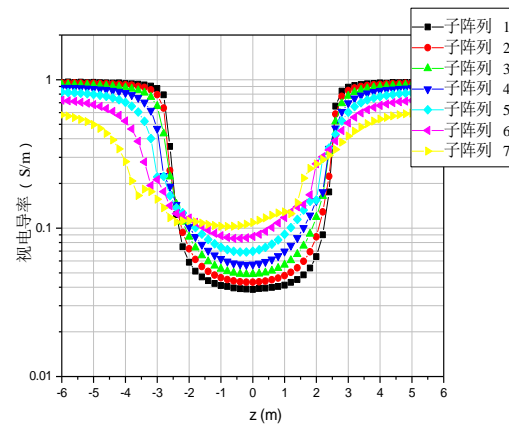
(2) 在斜井中，当仪器轴线与地层法线相对倾角小于 30° ；各子阵列受倾角影响小。当倾角从 30° 到 80° 变化时，从短子阵列到长子阵列，倾角影响逐渐增大，主接收从高阻进入低阻，界面出现尖峰现象。当倾角在 $90^\circ \pm 10^\circ$ 范围内时，仪器进出界面时均出现尖峰现象。电导率对比度在倾角小时，对响应影响不明显，在倾角大时，特别是在 90° 时，响应的“尖峰”现象严重。



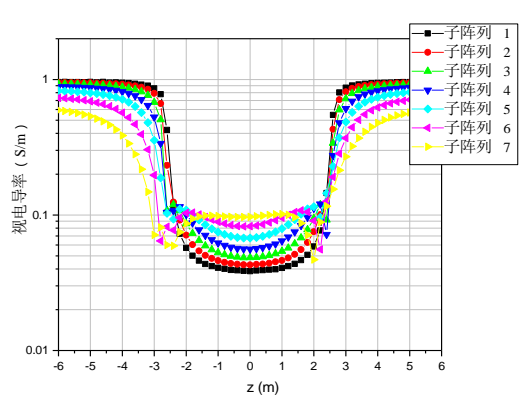
(a) 0时各子阵列的响应



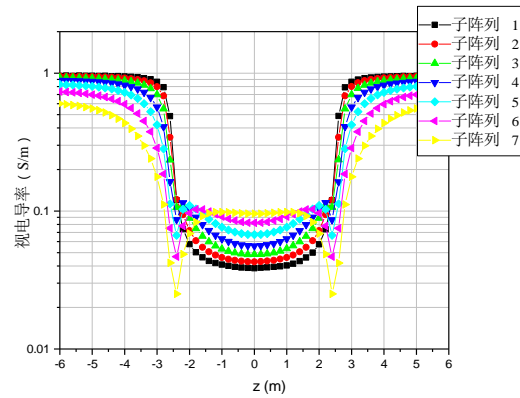
(b) 30时各子阵列的响应



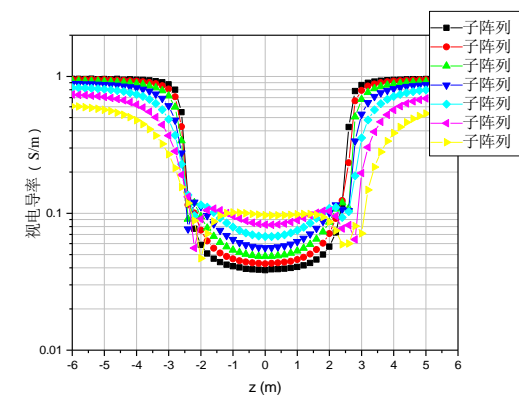
(c) 60时各子阵列的响应



(d) 80时各子阵列的响应



(e) 90时各子阵列的响应



(f) 100时各子阵列的响应

图 10 各个不同倾角下的子阵列响应曲线

(3) 通过绘制水平井中距发射线圈不同横截面上的电流密度模分布图、涡流流向图，展示了涡流在不同电导率交界面的折射现象，折射导致涡流沿地层表面流动，形成新的旋涡，距发射线圈越远，电导率对比度越大，越明显。

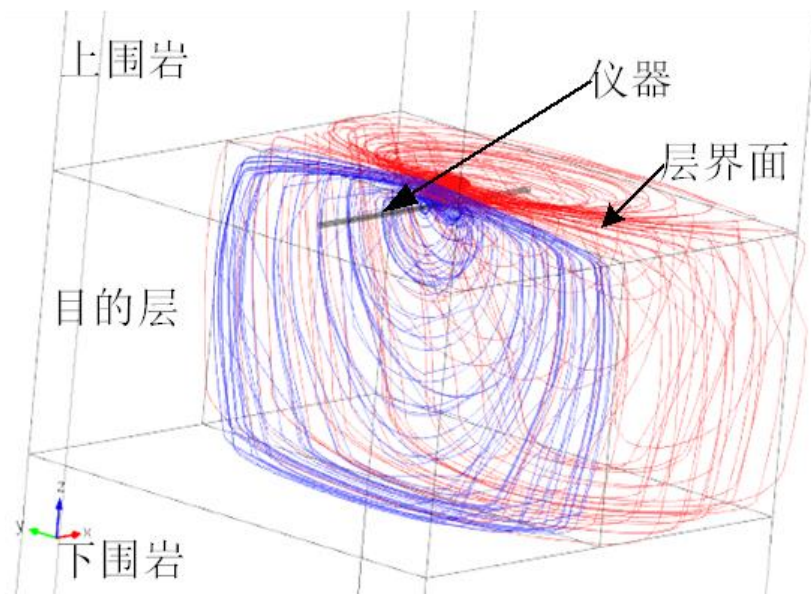
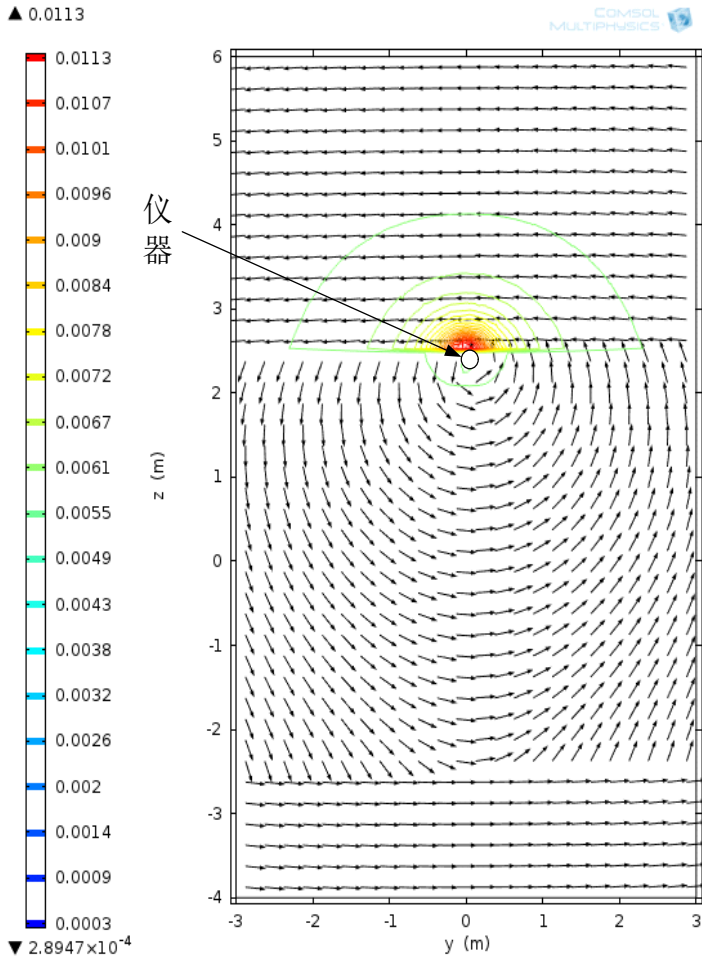
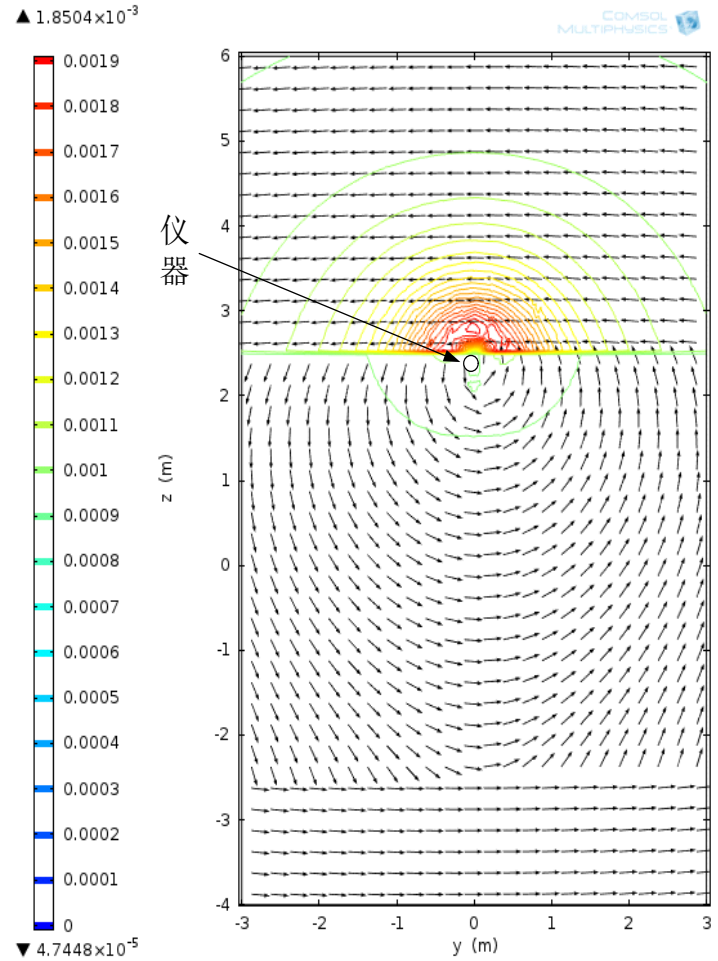


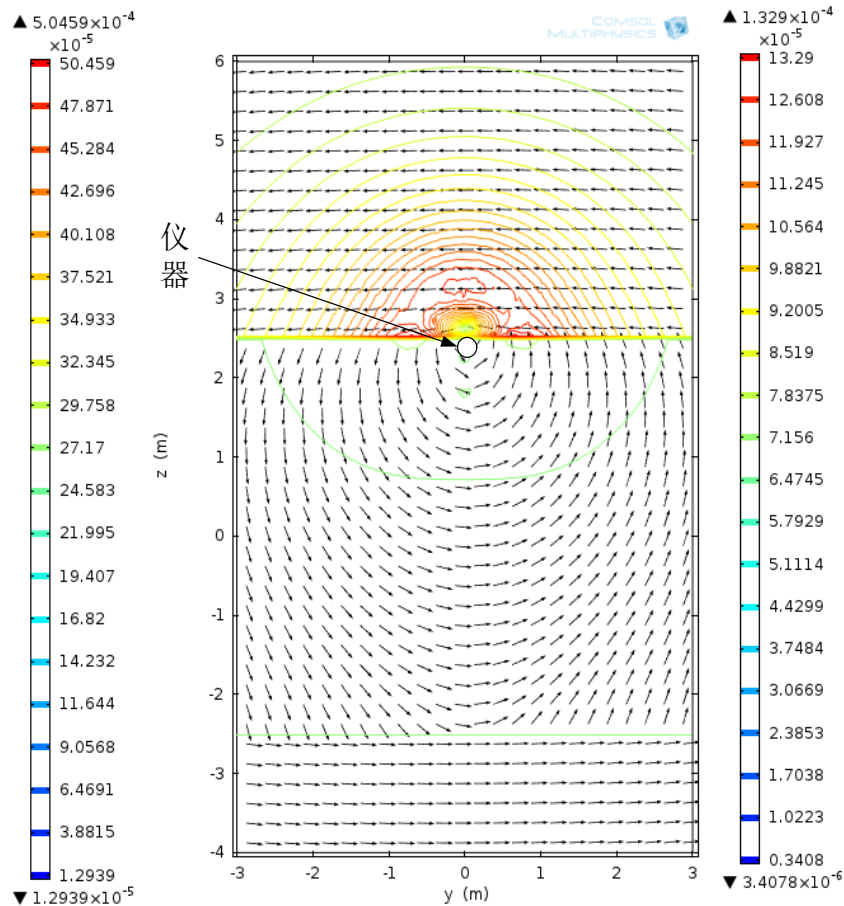
图11 穿过上围岩与目的层交界面的涡流空间流线图



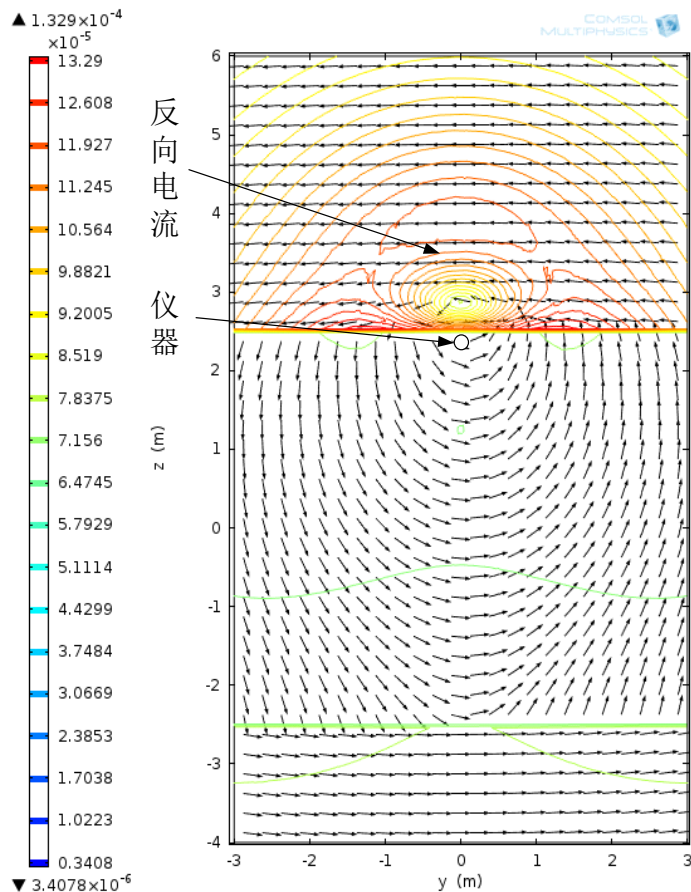
(a) $x=0.2\text{m}$



(b) $x=0.5\text{m}$



(c) $x=1.0\text{m}$




(d) $x=2.0\text{m}$

图12 距发射线圈不同位置yoz截面上电流密度模分布和 $\text{Imag}(J_y)$ 与 $\text{Imag}(J_z)$ 构成的电流线

4. 结 论

(1) 水平井中的阵列感应测井响应特性不但与目的层层厚、目的层和围岩电导率对比度有关，而且与目的层和围岩电导率大小以及子阵列间距有关，尤其是水平井在地层中的位置。

(2) 斜井中阵列感应测井响应受井斜角和地层围岩对比度影响，井斜角越大，电导率对比度越大时，影响越明显，特别是 90° （水平井）。



(3) 由于涡流在层界面处由于反射、折射和趋肤效应等影响，产生反向电流，减弱接收信号，导致出现尖峰现象，从而揭示水平井中阵列感应测井响应的响应机理。



谢谢