

COMSOL在大斜度井侵入对阵列感应测井响应特性研究中的应用

汇报人：王钰楠

指导老师：仵杰教授

学 校：西安石油大学

日 期：2017年11月

提 纲

一、提出问题

二、技术难点

三、COMSOL在感应测井响应三维数值计算中的优点

四、构建模型与仿真计算

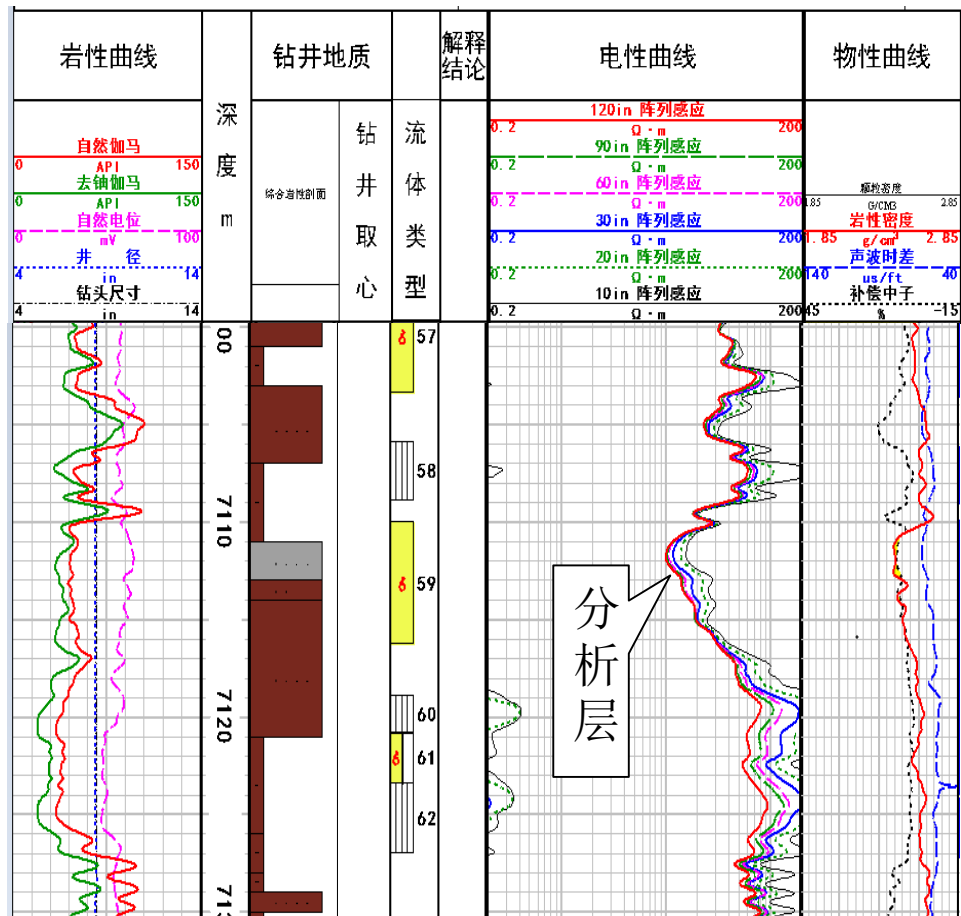
五、响应机理分析

六、实际测井数据中的应用分析

七、总 结

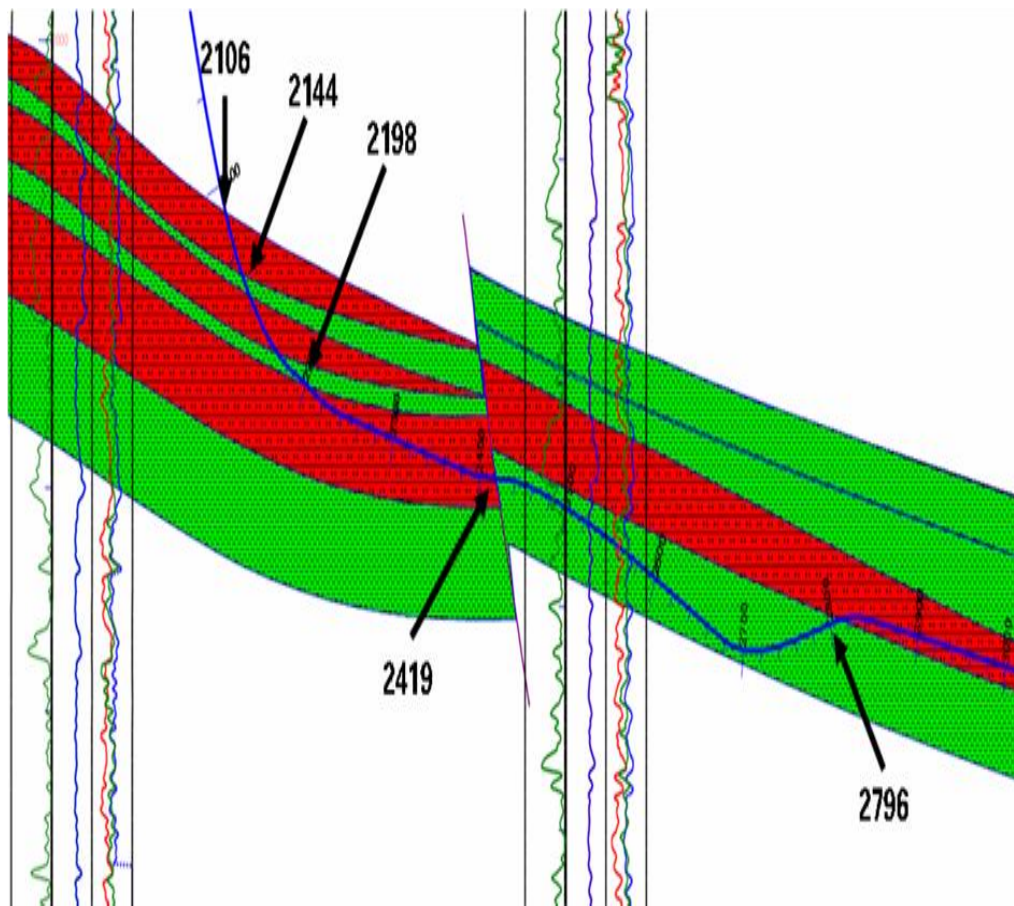
一、问题提出

钻井过程中，当井眼压力大于地层压力时，泥浆将侵入渗透性储集层，泥浆浸泡时间越长，侵入越深。探井中，侵入最明显。阵列感应的多条不同探测深度曲线清楚显示径向电阻率变化，通过不同探测深度曲线的径向特征可以识别储集层的流体性质。但是，当井眼与地层法线的相对角度较大时，不同探测深度曲线将出现异常，导致错误解释结果。



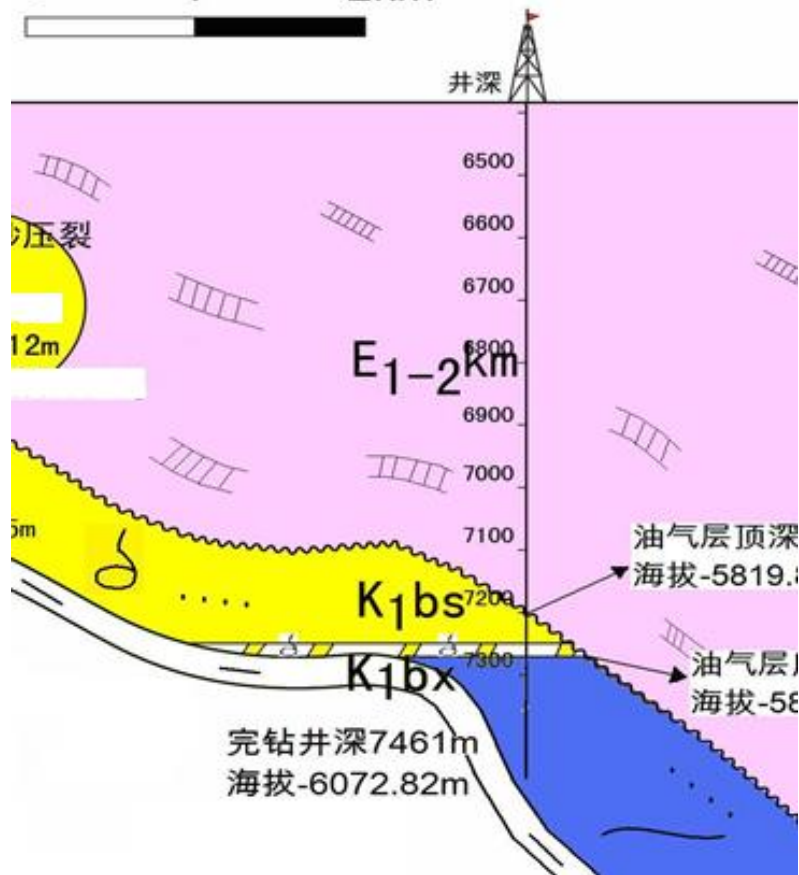
肇平6导眼井

徐18井



大斜度井

0 1 2km



高构造倾角地层中的直井

二、技术难点

- 模型内外尺寸（仪器尺寸和地层尺寸）对比度大，在三维有限元计算网格剖分上难度大；
- 参数对比度（泥浆电导率和地层电导率）度大，边界处网格剖分密度很难控制；
- 模型不唯一（随参数变化在变化），井眼尺寸以及仪器相对井眼的空间位置在变化，剖分密度和剖分方式需要不断调整；
- 模型复杂。当同时考虑井眼、侵入、围岩和地层倾角时，网格剖分是获得正确数值结果的关键，需要大量的测试。
- 求解区域在变化（地层电导率变化范围大）；
- 需要多视角的可视化分析工具准确的分析响应机理。

三、COMSOL在感应测井响应三维数值计算中的优点

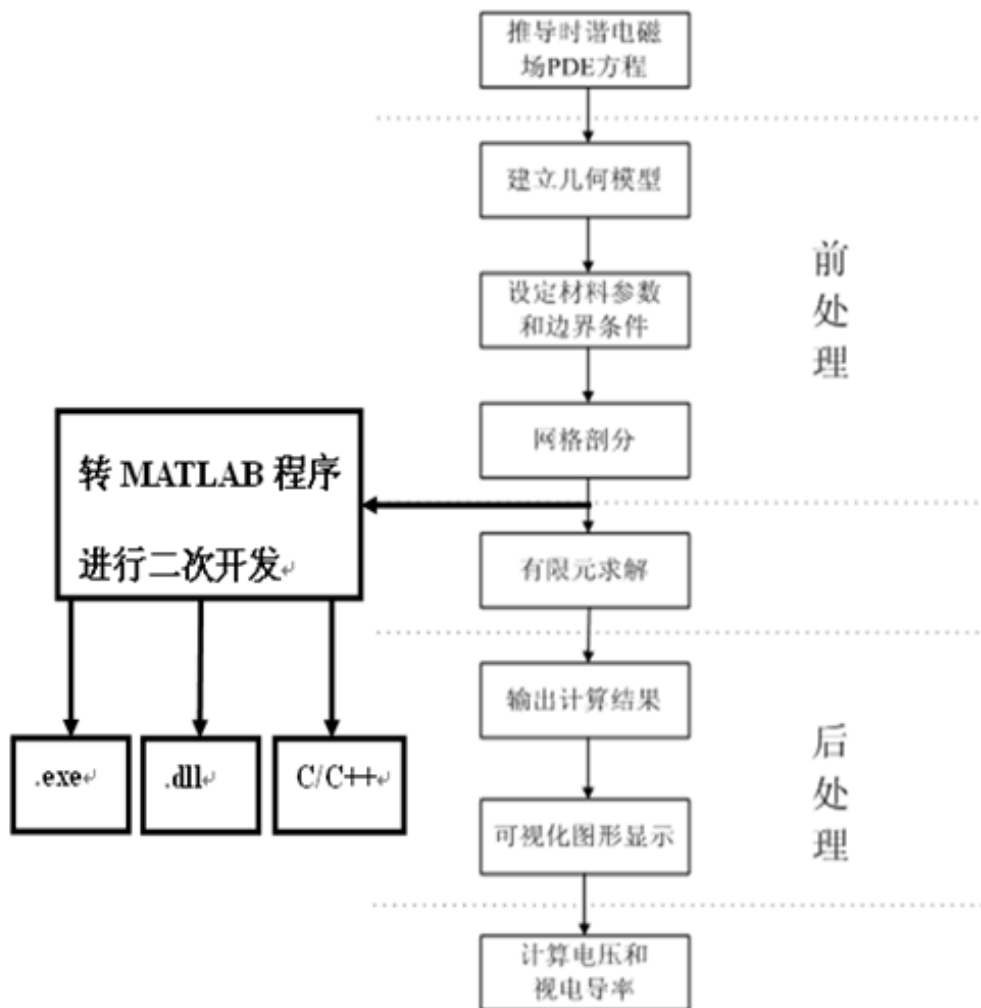
- 任意独立函数控制的求解参数，材料属性、边界条件、载荷均支持参数控制；
- 利用电磁计算模型库，内置各种常用的物理模型，进行我们所需的计算，本课题主要用到了磁场模型；
- 内嵌丰富的CAD建模工具，我们可直接在软件中进行二维和三维建模，建立我们所需的测井正演计算模型；
- **强大的网格剖分能力，支持多种网格剖分，支持移动网格功能**，对于**模型内外尺寸对比度大**（仪器尺寸和地层尺寸），在三维有限元计算网格剖分上难度大；**参数对比度大**（泥浆电导率和地层电导率），边界处网格剖分密度很难控制；**模型不唯一**（随参数变化在变化），井眼尺寸以及

三、COMSOL在感应测井响应三维数值计算中的优点

仪器相对井眼的空间位置在变化，剖分密度和剖分方式需要不断调整；**求解区域在变化**（地层电导率变化范围大）等等问题，可以很好的满足网格剖分需求，精简网格数量，很大程度上提高了计算效率；

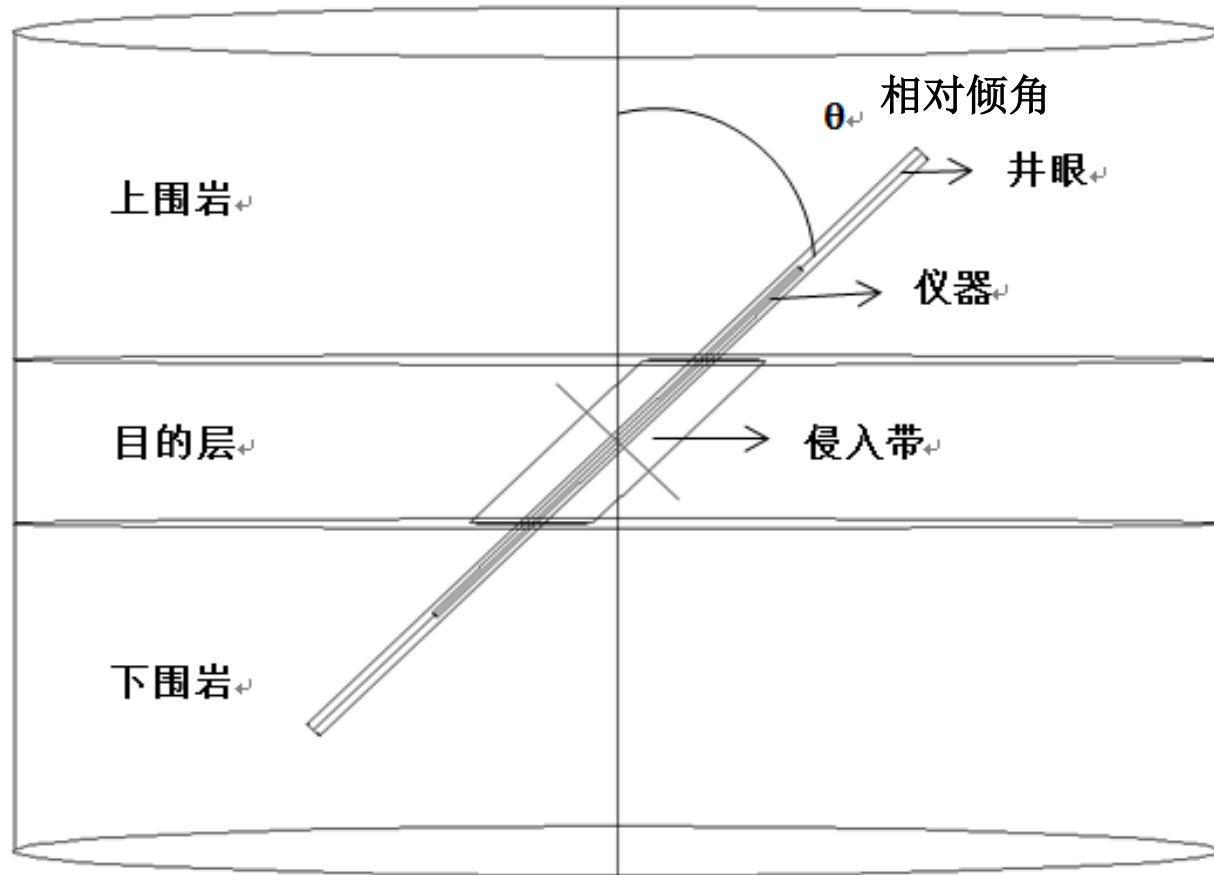
- **大规模计算能力**，具备Windows 系统下64位处理能力和并行计算功能；本课题主要在其Windows系统下64位处理能力和并行计算功能，在实验室HPZ800工作站上有高效的计算能力，对我们建立多种模型的数据库提高了工作效率；
- **丰富的后处理功能**，可根据需要进行各种数据、曲线、图片及动画的输出与分析。对课题中的后续机理研究提供有力的支持，极大缩短研究周期。

四、构建模型与仿真



仿真流程图

三维三层大倾角井侵入模型设计



仿真计算内容

模型一： $C_s > C_t > C_{xo} (R_{xo} > R_t > R_s)$, 低围侵入大于地层模型。低到高孔隙度岩石中的含油层，且具有咸的原生水和相对淡的泥浆。

模型二： $C_s > C_{xo} > C_t (R_t > R_{xo} > R_s)$, 低围侵入小于地层模型。咸泥浆淡原生水地层或者咸泥浆低含水饱和度油气层。

模型三： $C_t > C_s > C_{xo} (R_{xo} > R_s > R_t)$, 低目的层侵入大于围岩模型。Gulf Coast典型淡泥浆水层。

模型四： $C_t > C_{xo} > C_s (R_s > R_{xo} > R_t)$, 低目的层侵入小于围岩。泥浆比模型三咸的水层。

模型五： $C_{xo} > C_s > C_t (R_t > R_s > R_{xo})$, 低侵地层大于围岩。咸泥浆油气层。

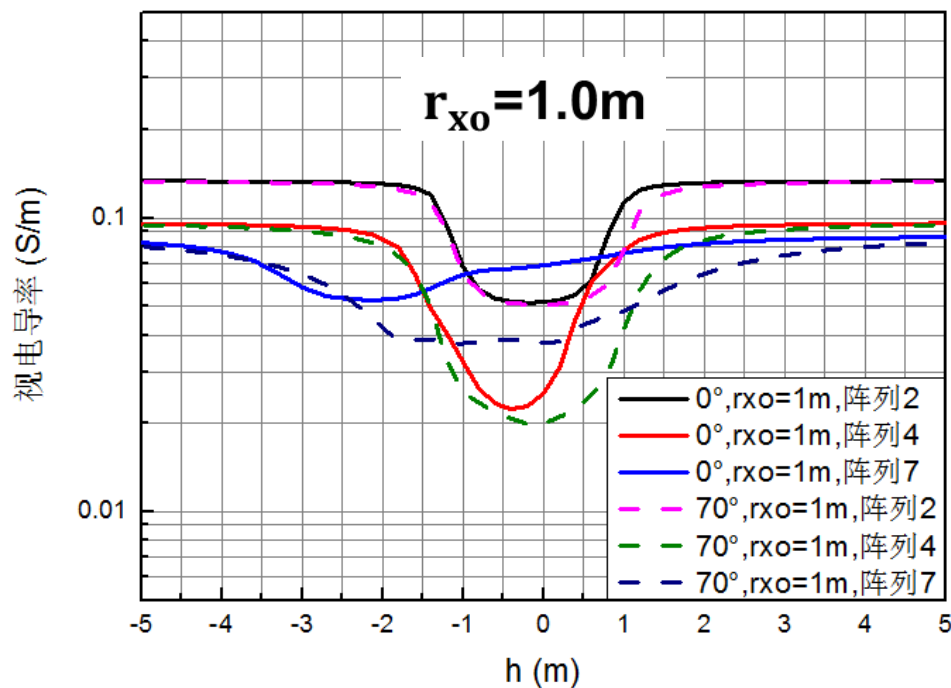
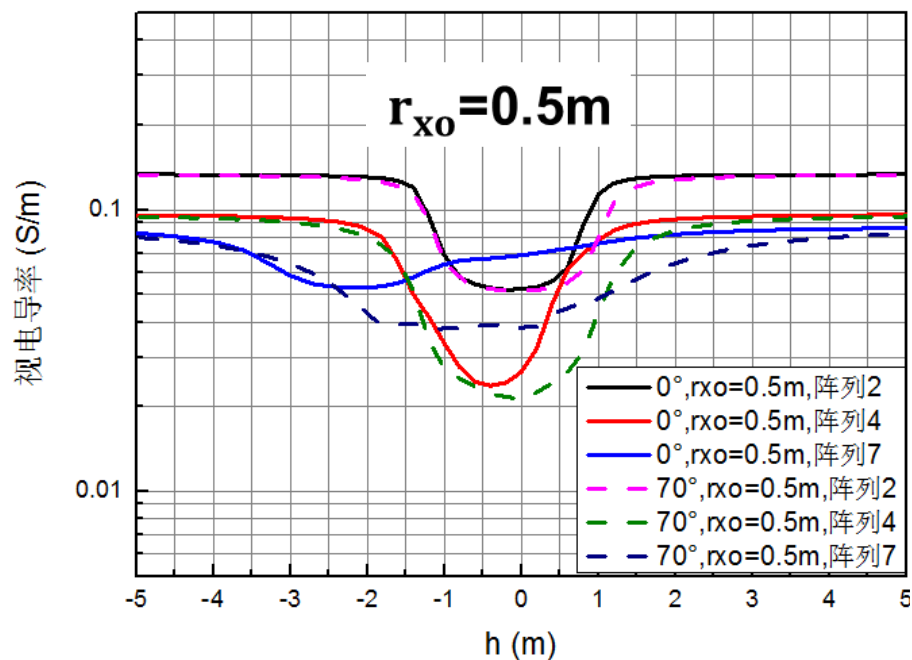
模型六： $C_{xo} > C_t > C_s (R_s > R_t > R_{xo})$, 低侵地层小于围岩。高阻围岩咸泥浆油气层。

说明：

为了清楚分析响应特征，在大量三维数值计算基础上总结出以下情况时的相应特征。

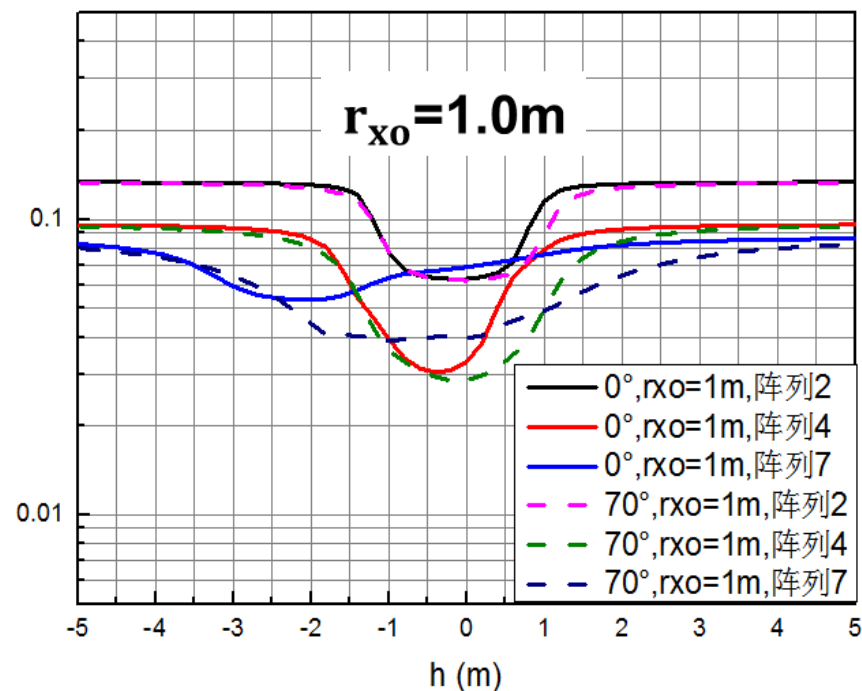
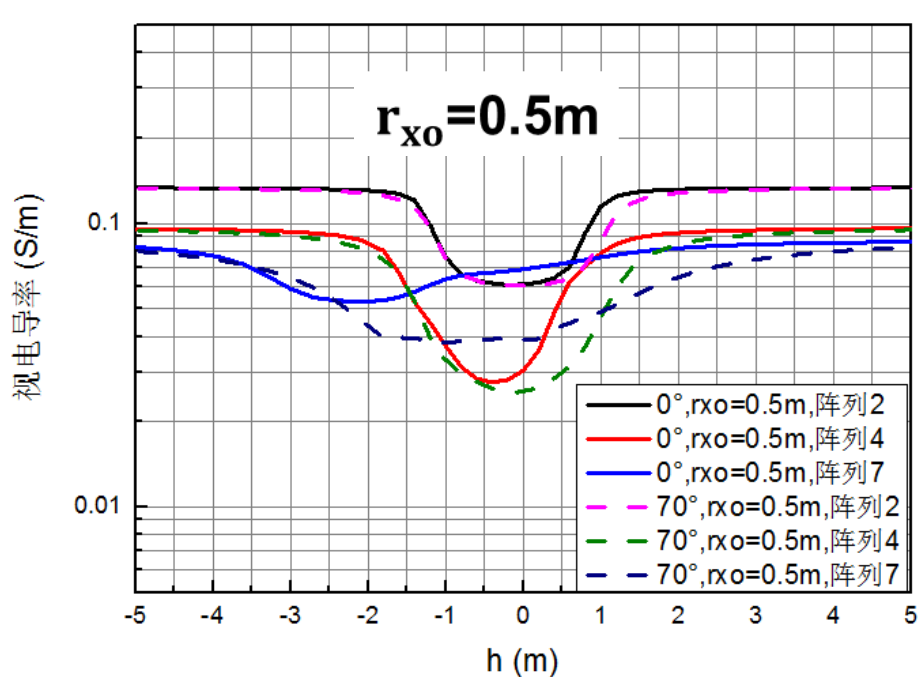
- 1、两种侵入深度：**0.5m和1m**
- 2、两种倾角：**0度和70度**
- 3、3个阵列：**2、4和7**
- 4、1个频率：**10kHz。**

模型一： $C_s > C_t > C_{x0}$ 。 $C_s = 0.1S/m$, $C_t = 0.01S/m$, $C_{x0} = 0.005S/m$ 。



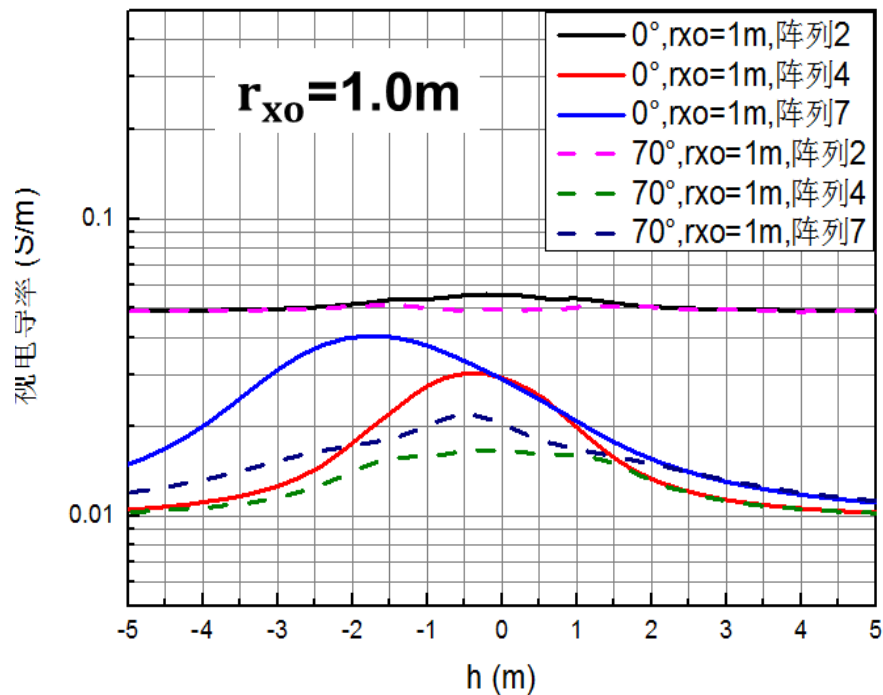
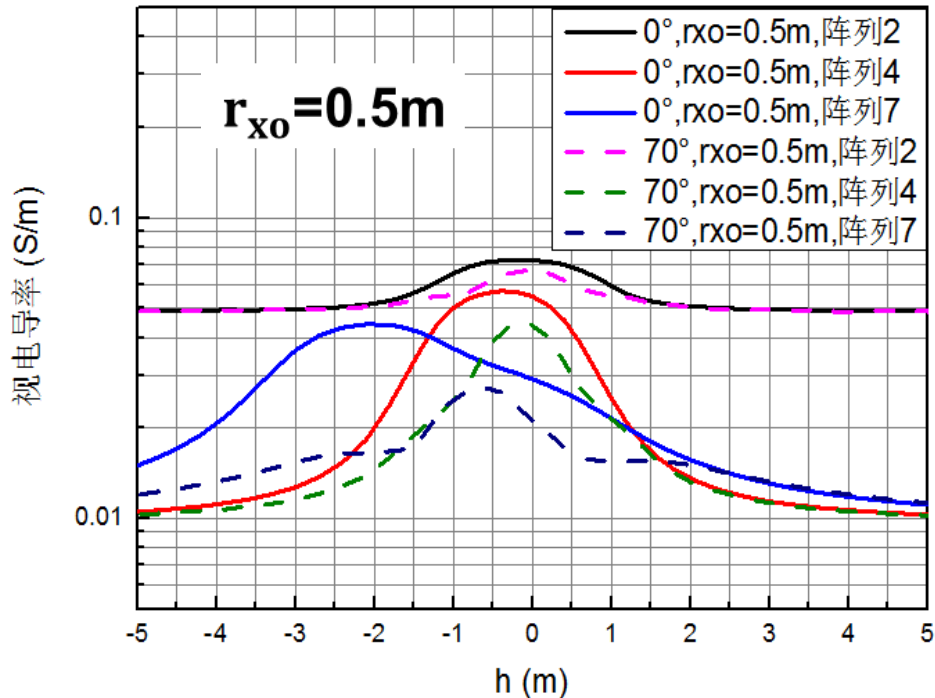
可忽略侵入影响。对比 $\theta = 0^\circ$ 和 70° 的响应，倾角影响使右侧曲线展宽，记录点向右移动，倾角和间距越大，移动量越大。对于层厚2m地层，移动量= $Ltb \cdot \cos(\theta)$ 。

模型二： $C_s > C_{x0} > C_t$ 。 $C_s = 0.1\text{S/m}$, $C_{x0} = 0.02\text{S/m}$, $C_t = 0.01\text{S/m}$ 。



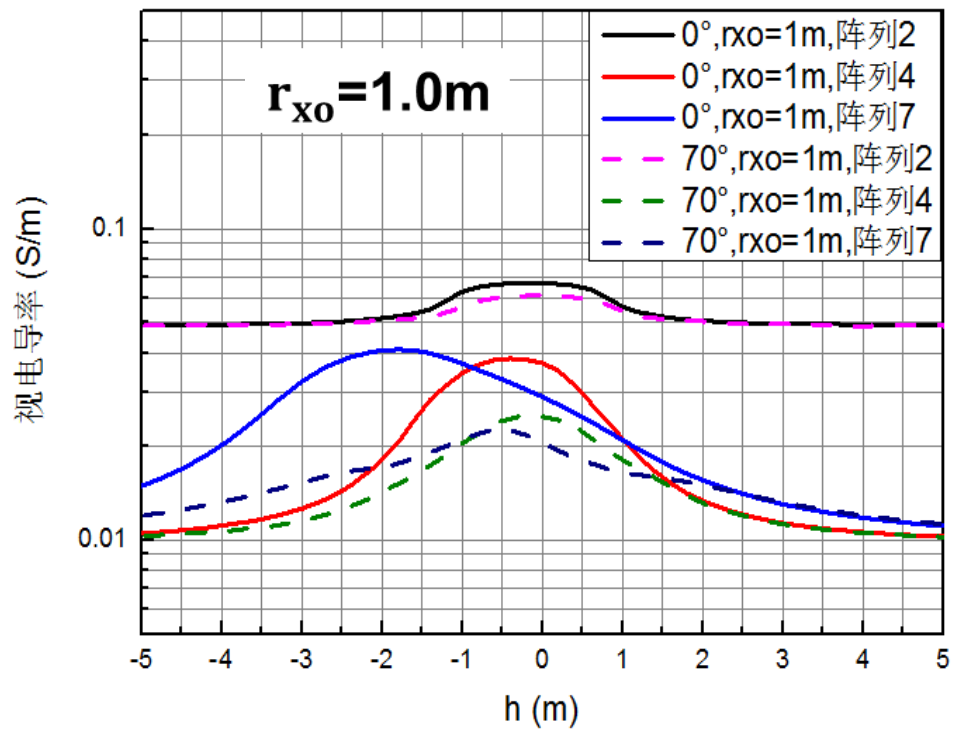
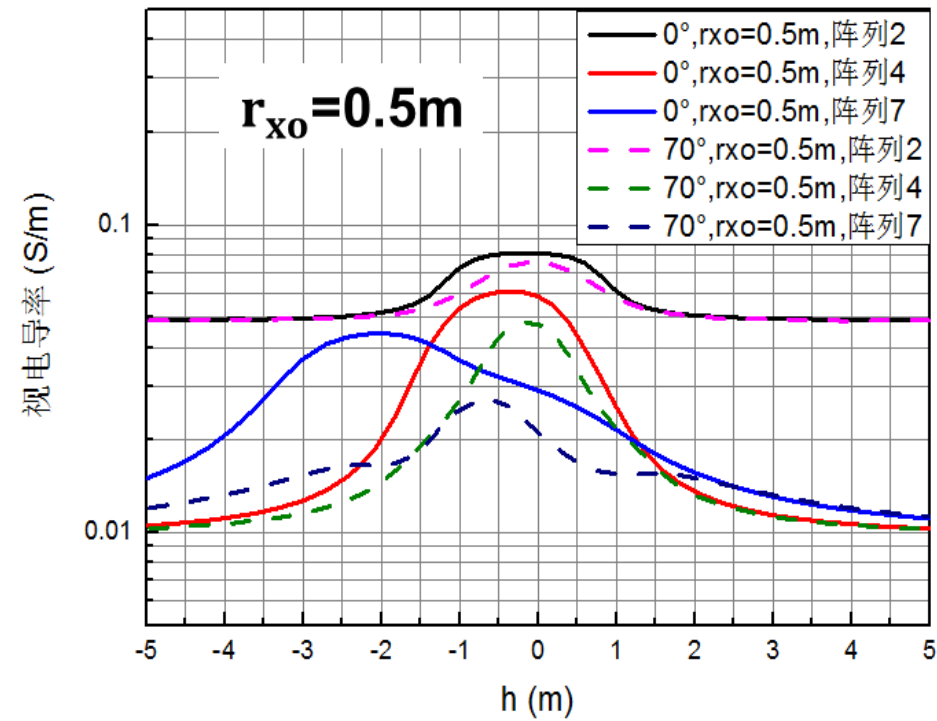
与模型一比较：测井曲线的形态相同，地层倾角影响规律也相同，但是侵入影响不一样。阵列4的深侵入数值略大于浅侵入，阵列2和阵列7几乎没有影响。由于侵入电导率大于模型一，因此，目的层中短阵列2和4的值增大。

模型三： $C_t > C_s > C_{x0}$ 。 $C_t = 0.1S/m$, $C_s = 0.01S/m$, $C_{x0} = 0.005S/m$ 。



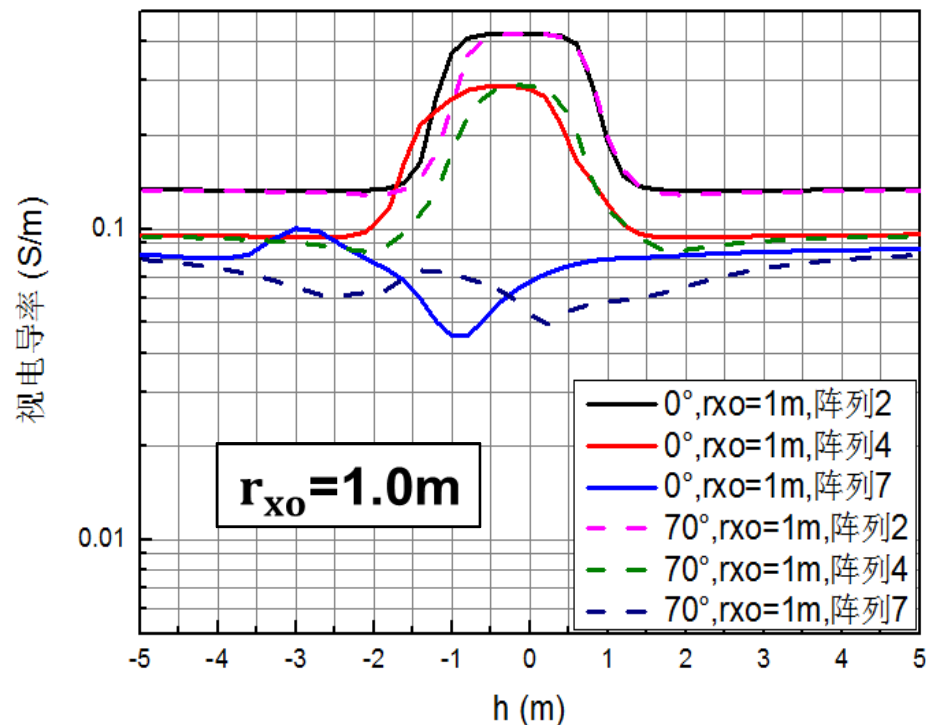
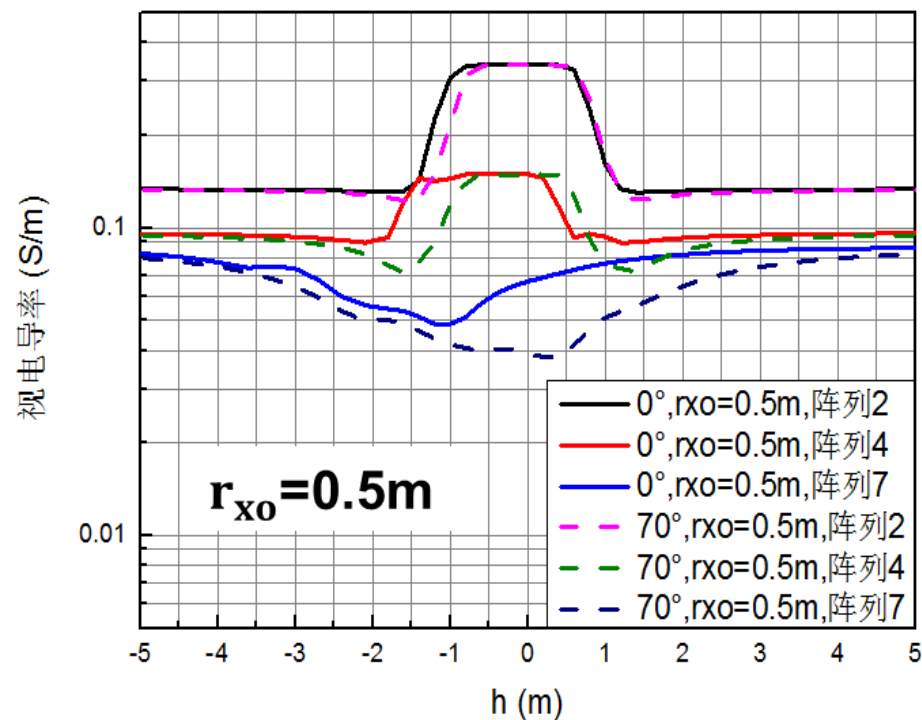
侵入和倾角影响明显与模型一和二不一样，侵入对所有阵列均有影响。浅侵入时，倾角增大，曲线的左右两侧均出现压缩现象，右侧大于左侧，中间目的层读数下降，长子阵列形态变化最明显。深侵入时，侵入影响进一步降低数值。倾角增大使数值减小同时，曲线比浅侵入更平坦。侵入与倾角影响不可分离。

模型四： $C_t > C_{x0} > C_s$ 。 $C_t = 0.1S/m$, $C_{x0} = 0.02S/m$, $C_s = 0.01S/m$ 。



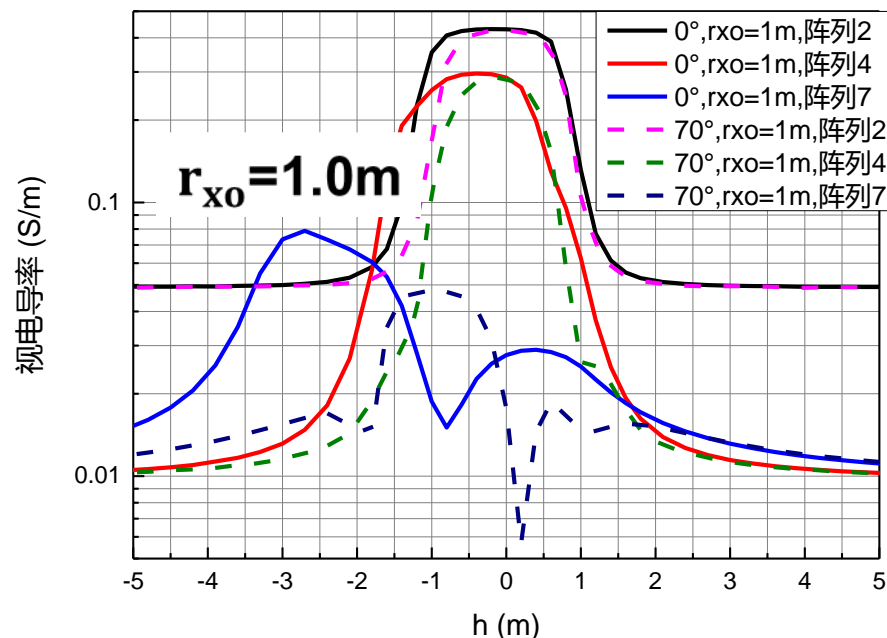
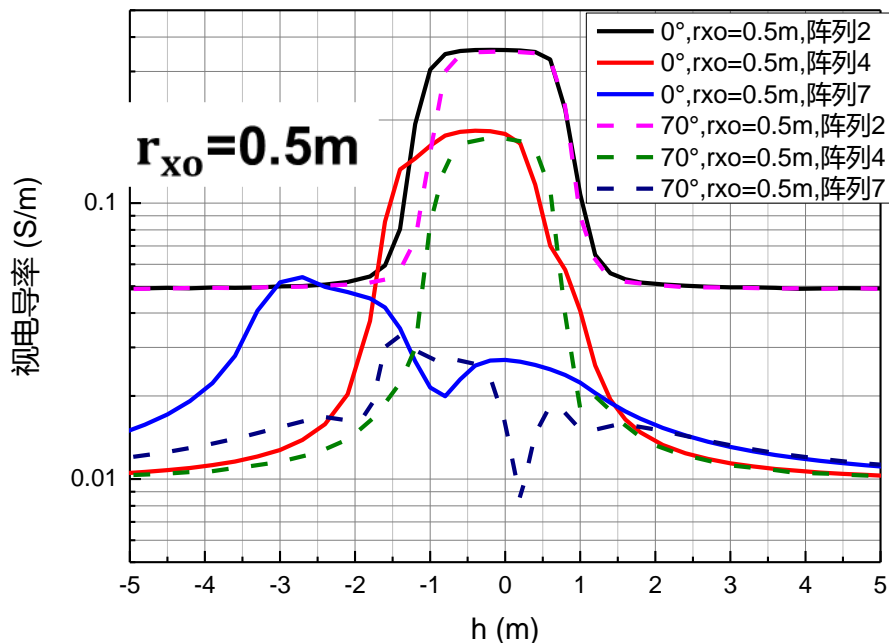
与模型四比较，侵入对短阵列的影响增大；倾角影响产生的相对数值变化基本一致；侵入与倾角影响同样不可分离。

模型五： $C_{x0} > C_s > C_t$ 。 $C_{x0} = 0.5S/m$, $C_s = 0.1S/m$, $C_t = 0.01S/m$ 。



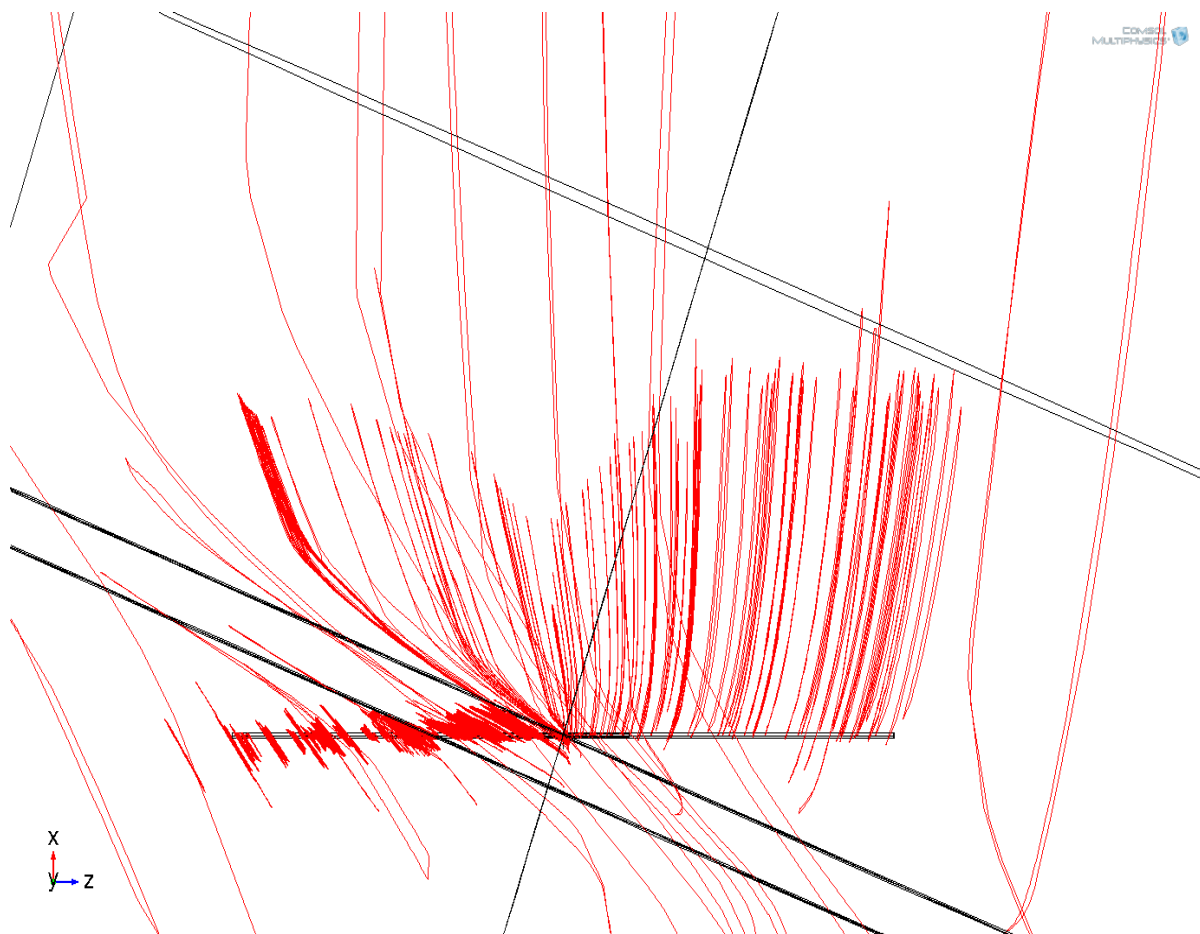
浅侵入时，倾角增大，阵列2的测井曲线在左侧压缩，阵列7的测井曲线右侧展宽且数值降低；深侵入时，高电导率侵入使所有阵列读数增大；阵列2和4的倾角影响与浅侵入类似；阵列7的侵入影响使曲线变形，倾角影响使变形减弱。**侵入与倾角影响不可分离。**

模型六： $C_{x0} > C_t > C_s$ 。 $C_{x0}=0.5S/m$, $C_t = 0.1S/m$, $C_s=0.01S/m$ 。



浅侵入时，侵入使目的层电导率读数增大。倾角增大，曲线左侧压缩，阵列7出现明显“犄角”现象。深侵入时，侵入影响进一步增大，读数上升；倾角增大，阵列2和4的曲线形态与浅侵入类似，阵列7的“犄角”更明显。表明，短阵列，侵入不改变倾角影响产生的记录点移动量；长阵列，侵入也有影响，由于层厚小于长阵列的主间距，高电导率侵入使响应出现类似“犄角”特征，倾角增大“犄角”效应。

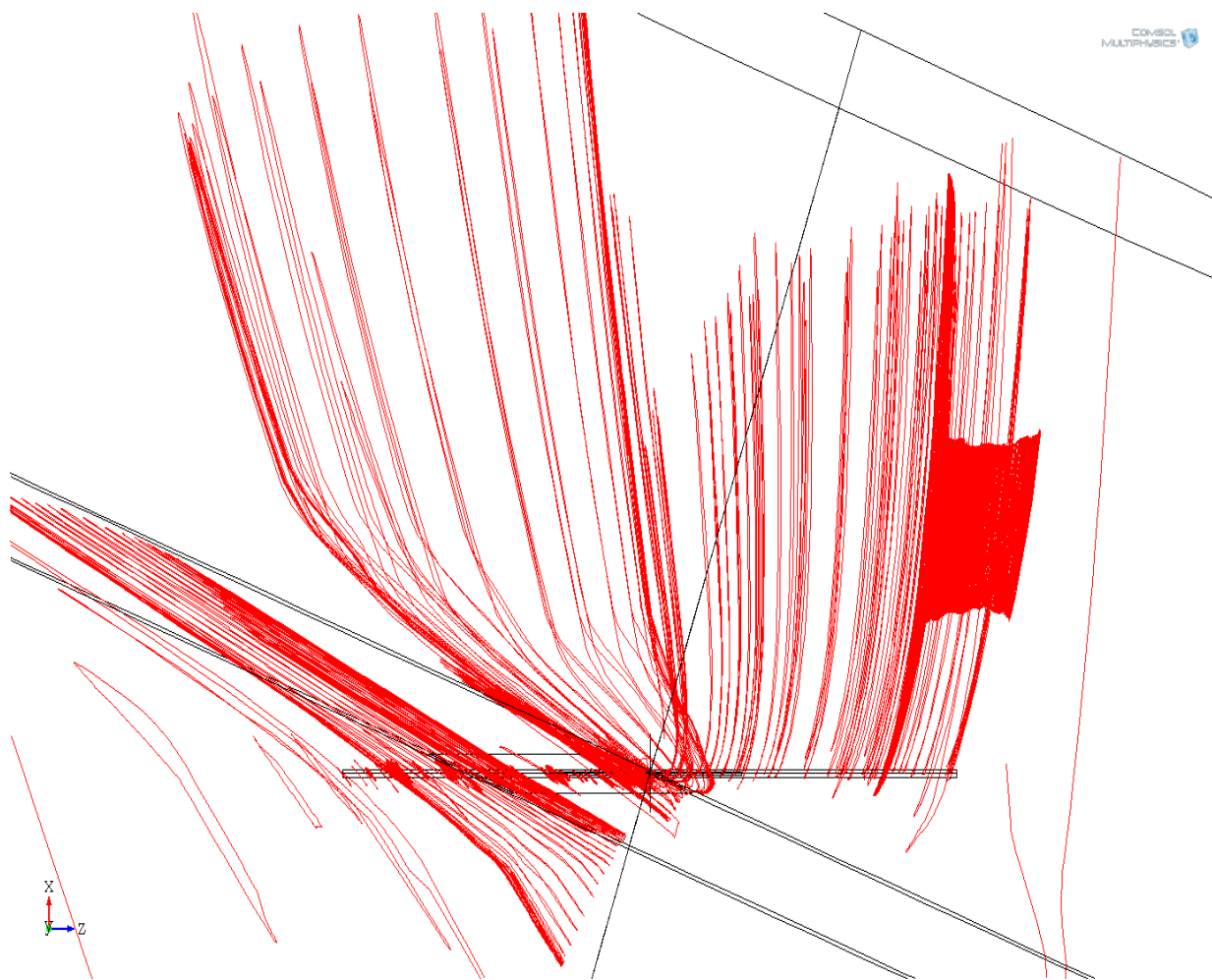
五、响应机理研究



涡流在井眼中旋转对称，导致短阵列井眼影响大；井眼外，在目的层和围岩交界面形成近似平行界面的涡流，对长阵列产生较大犄角效应。

高倾角有井眼无侵入时层界面附近的涡流分布

五、响应机理研究



对应模型六

高倾角有井眼无侵入时层界面附近的涡流分布

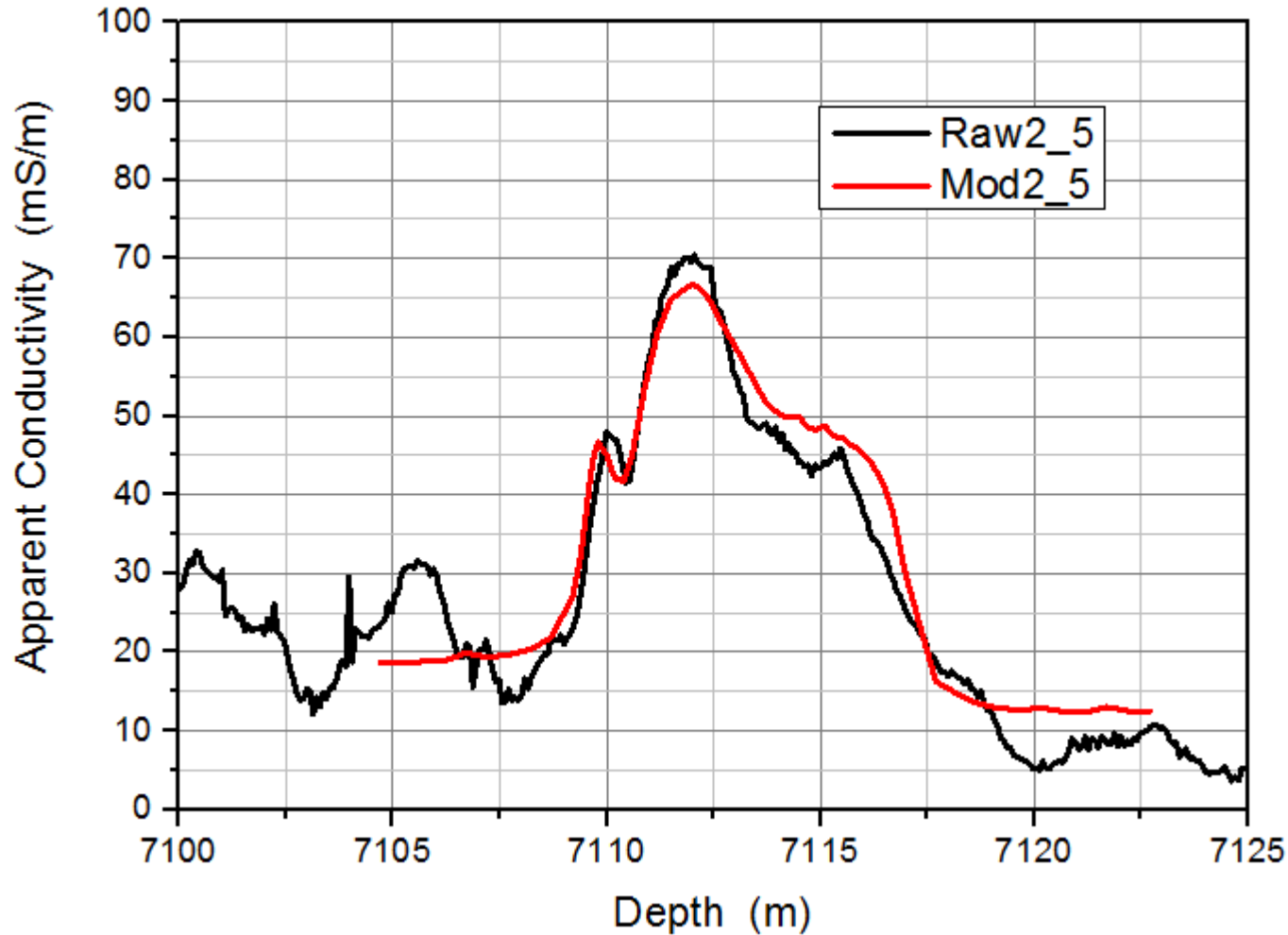
井眼和侵入区的电导率大于地层和围岩，涡流强，对所有阵列产生影响，尤其是短阵列；在侵入和目的层与围岩交界面，高电导率侵入加强了沿界面的涡流，导致界面附近的犄角更明显。因此，**涡流空间分布特性揭示了侵入模型六中犄角效应明显的机理。**

六、实际测井数据中的应用分析

建立数值模拟模型：经过测试和试算确定模型参数如下表。对于倾角，最后确定为**55°**，小于估计值**65°**。因原始测量信号中**10kHz**和**30kHz**有问题，因此我们计算比较**50kHz**曲线。

层号	深度段 (m)	井径 (m)	泥浆 ($\Omega.m$)	侵入半径 (m)	侵入电阻 率($\Omega.m$)	地层电阻 率($\Omega.m$)
1	7105.0-7109.5	0.20	3.88	0.00	0.00	60.00
2	7109.5-7110.2	0.20	3.88	0.00	0.00	15.00
3	7110.2-7110.7	0.20	3.88	0.00	0.00	50.00
4	7110.7-7112.9	0.20	3.88	0.50	30.00	9.00
5	7112.9-7116.6	0.20	3.88	0.50	30.00	16.00
6	7116.6-7120.0	0.20	3.88	0.00	0.00	100.00

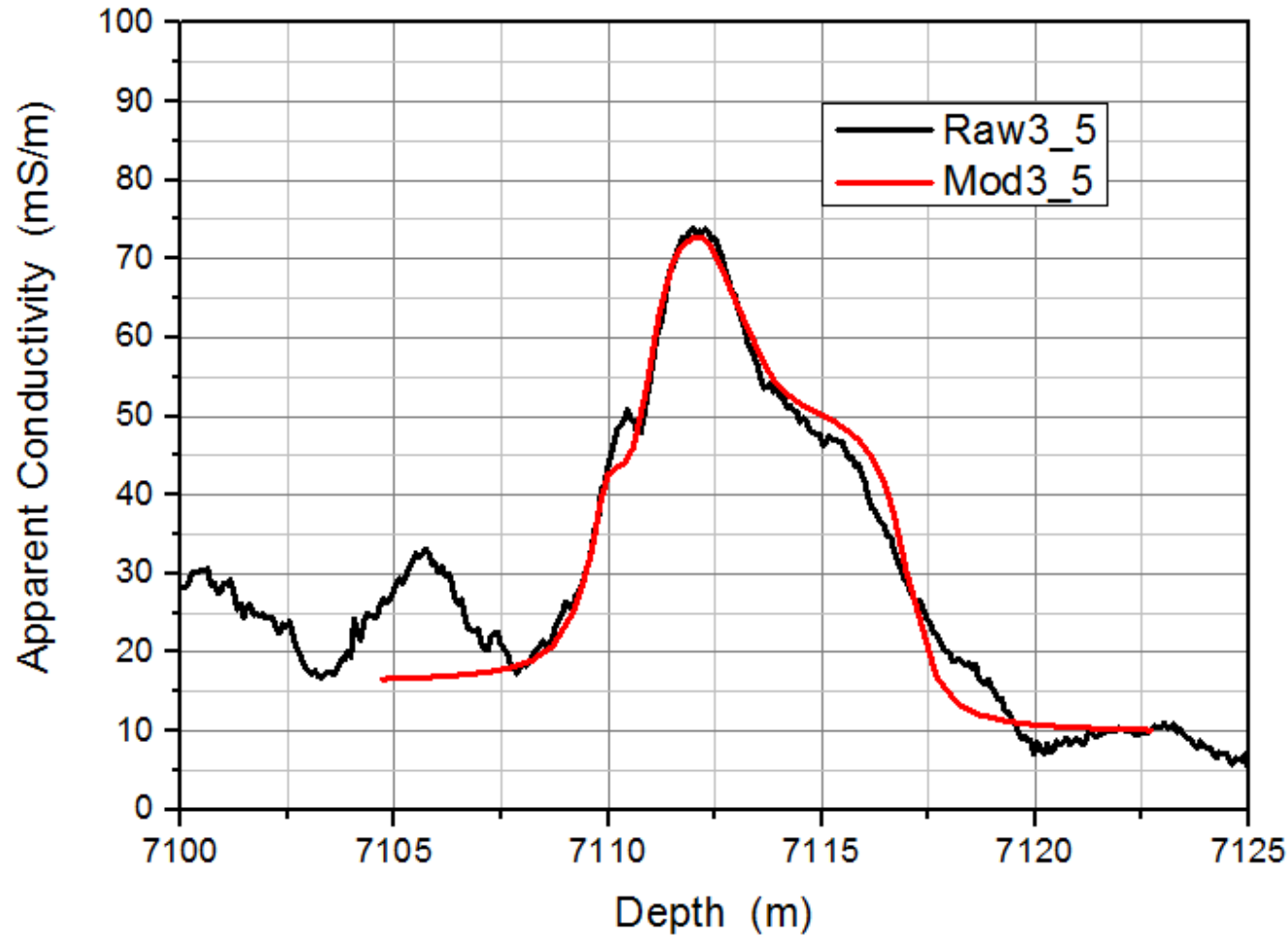
六、实际测井数据中的应用分析



阵列2的模拟和
实测形态基本
一致，数值一
致。

阵列2测量与模拟比较

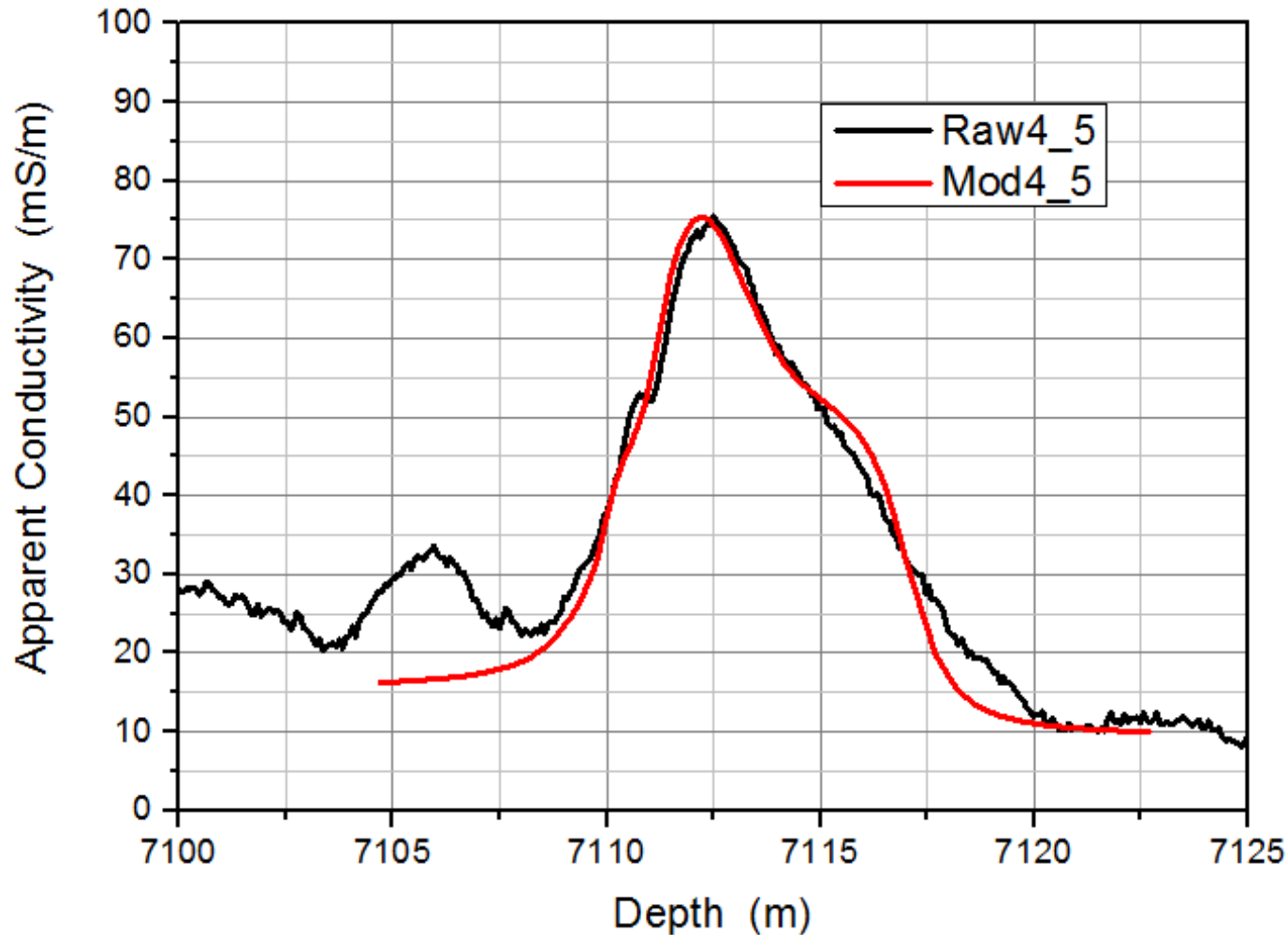
六、实际测井数据中的应用分析



阵列3的模拟和实测在高电导率处几乎重合，曲线特征相似；薄层响应有点差别。

阵列3测量与模拟比较

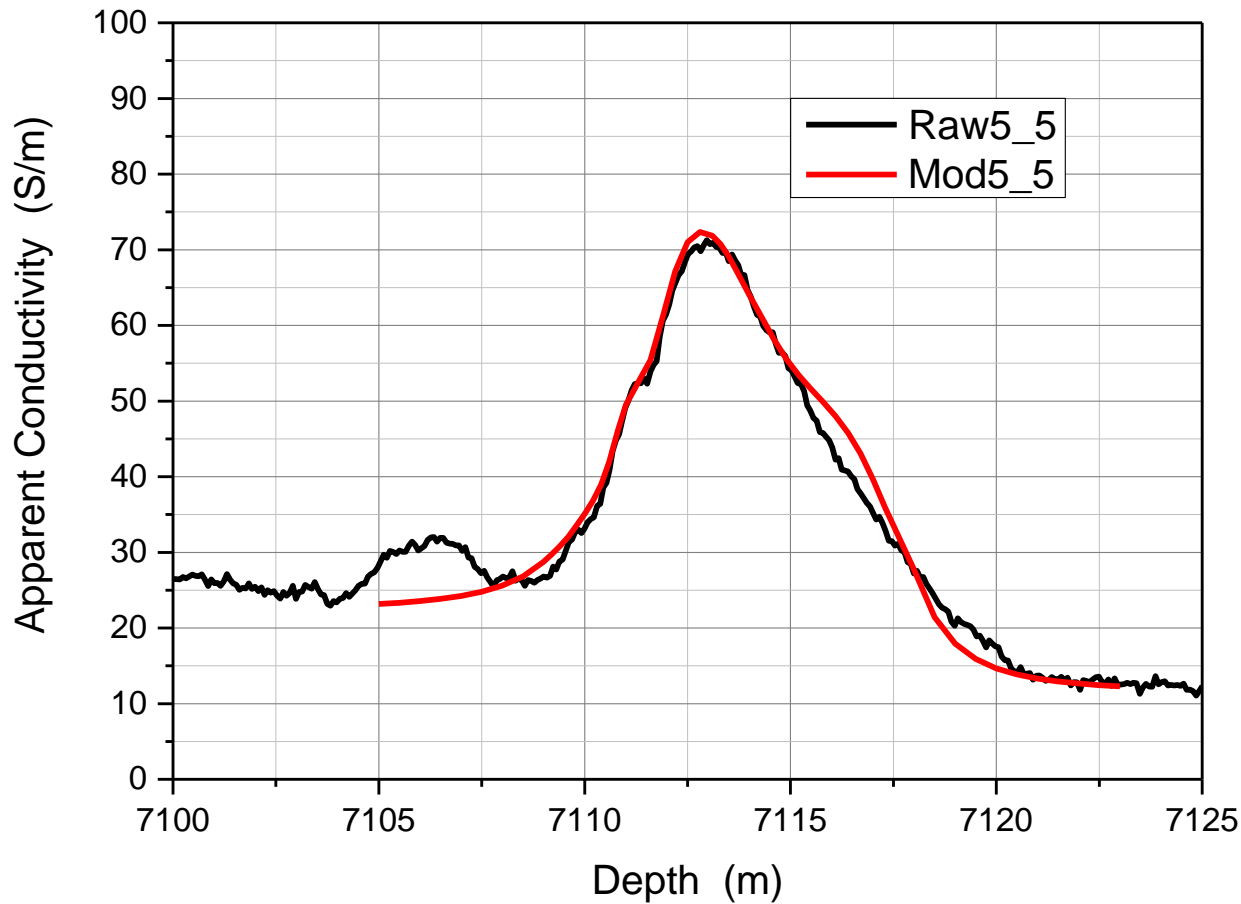
六、实际测井数据中的应用分析



阵列4的模拟和测量，在高导区域也一致，右侧几乎重合。左侧偏低，这是因为模拟时，左侧没有考虑侵入，实际地层存在侵入。

阵列4测量与模拟比较

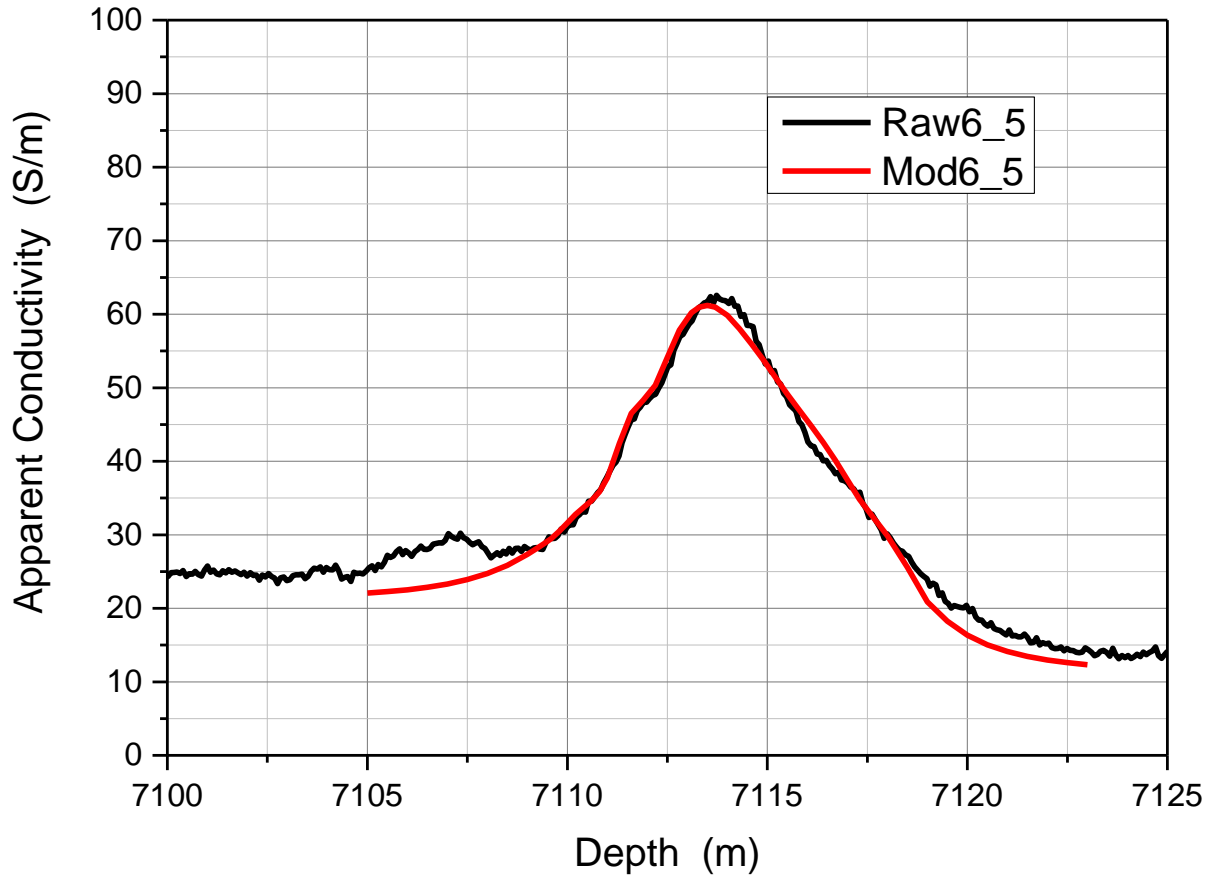
六、实际测井数据中的应用分析



阵列5的模拟和测量，
在高导和低导均一
致一致，吻合很好。

阵列5测量与模拟比较

六、实际测井数据中的应用分析



阵列6的模拟和测量，在高导区域几乎完全重合，低到部分也一致。

阵列6测量与模拟比较

七、总结

- ◆ 侵入模型一时，阵列感应测井响应受侵入影响小，高倾角导致响应记录点向右移动。
- ◆ 侵入模型二时，侵入影响短阵列响应数值，高倾角影响记录点向右移动，倾角影响与侵入影响可以分开校正。
- ◆ 侵入模型三和侵入模型四，侵入导致测井响应数值降低，高倾角使目的层的响应曲线变窄，幅度减小，阵列间距越短，侵入和倾角影响越明显，侵入和倾角影响无法分离。

- ◆ 侵入模型五和侵入模型六，侵入对所有子阵列均有明显影响，长阵列出现“犄角”现象。高倾角时，短阵列测井曲线，仅产生左侧压缩，记录点移动；长阵列测井曲线，不但记录点移动，而且产生明显“犄角”现象，侵入越深，“犄角”现象越明显。短阵列的侵入和倾角影响可分离，长阵列无法分离。
- ◆ 高倾角有侵实际地层的数值模拟结果与侵入模型四的结果一致，验证了**COMSOL**数值仿真结果的有效性。

谢谢!