

COMSOL在井下动液面声波反射特性研究中的应用

作杰¹, 王轲¹

1. 西安石油大学光电油气测井与检测教育部重点实验室, 电子二路18号, 陕西省, 西安市

简介: 动液面深度 (图1) 是油气井开采检测的重要参数, 应用COMSOL声学模块三维数值计算分析套管中的声波反射特性, 揭示动液面的反射规律, 为实际测量和分析提供理论依据。

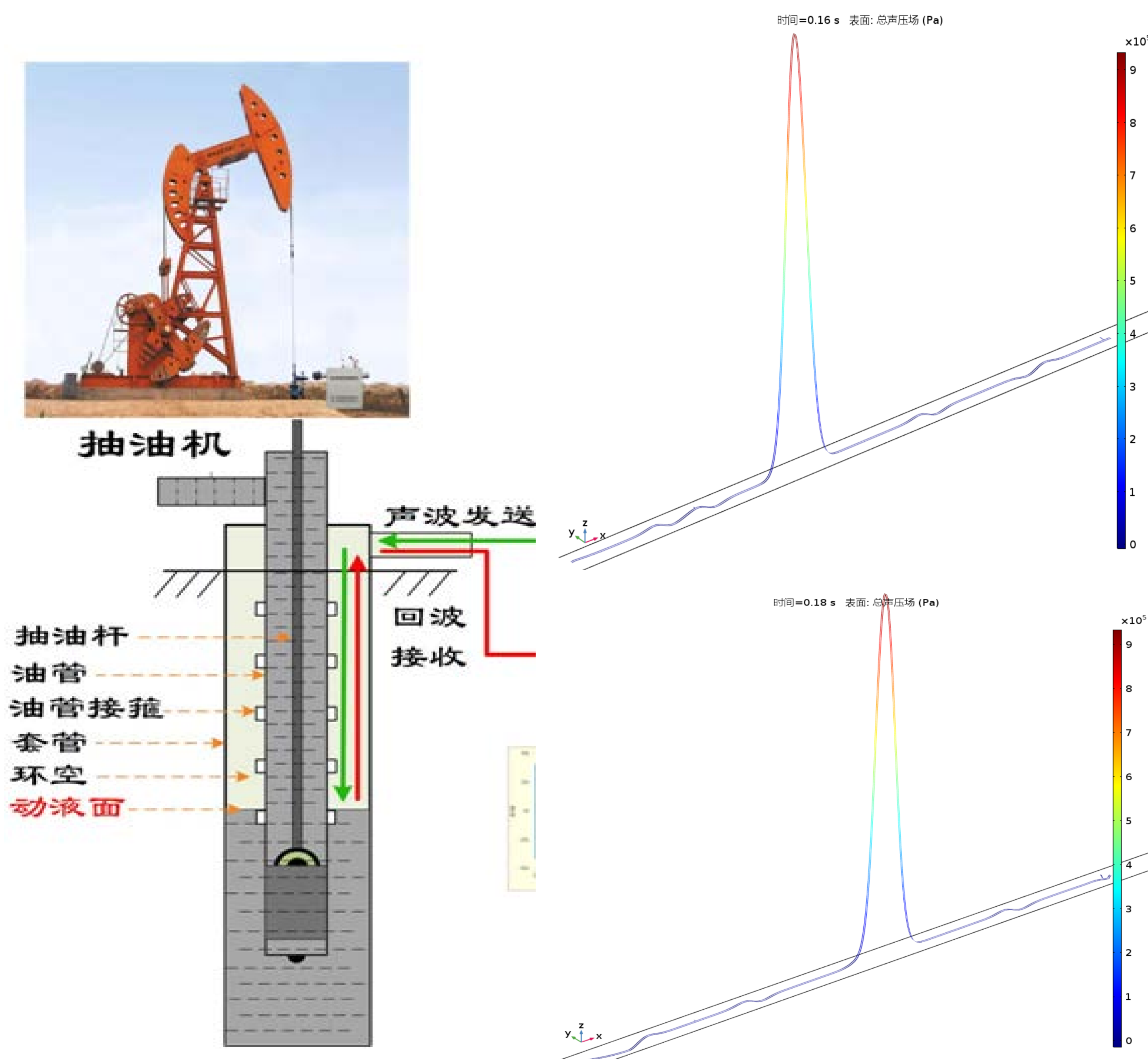


图1 动液面监测模型

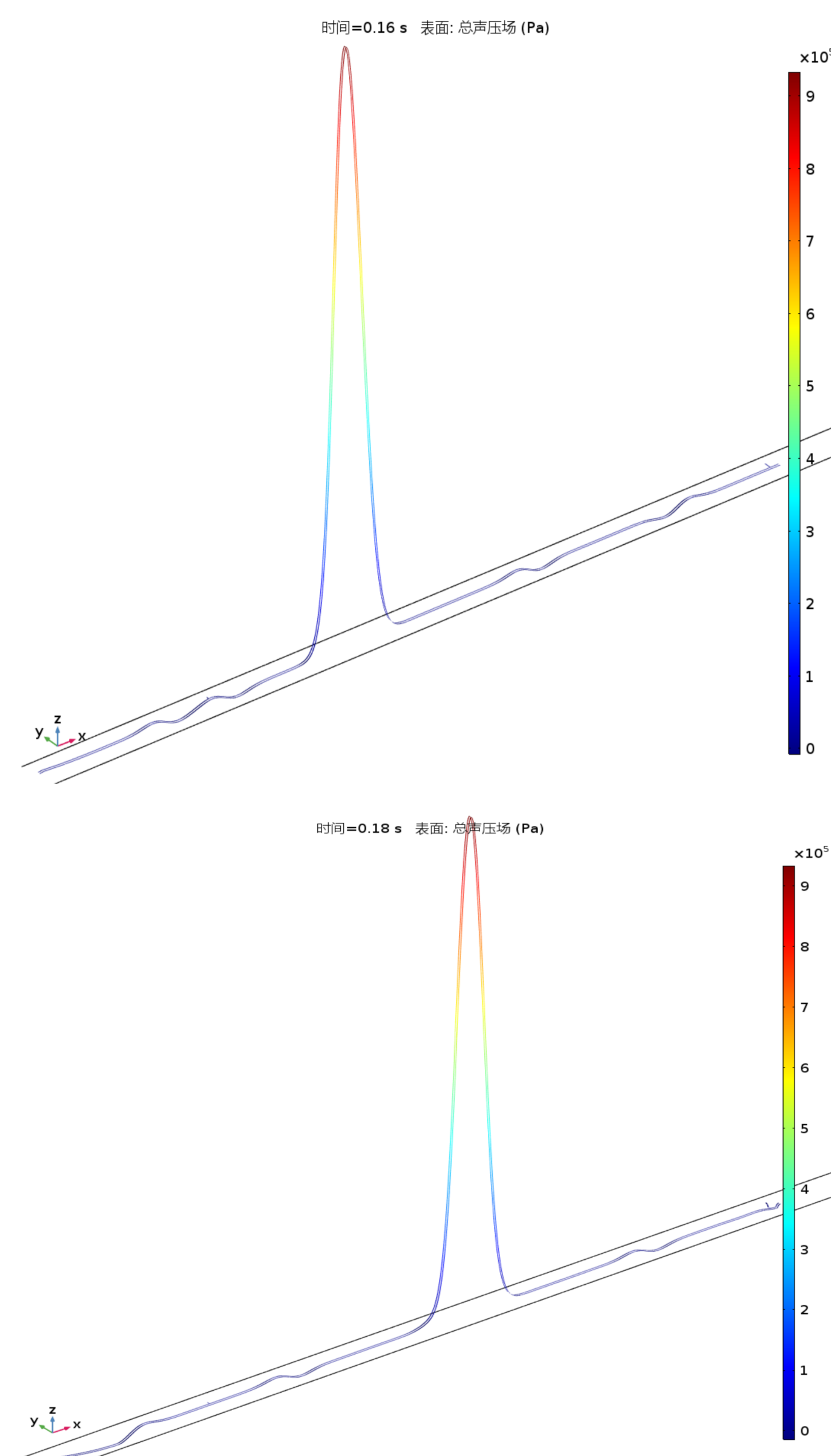


图2 不同时间环隙中的声压场分布

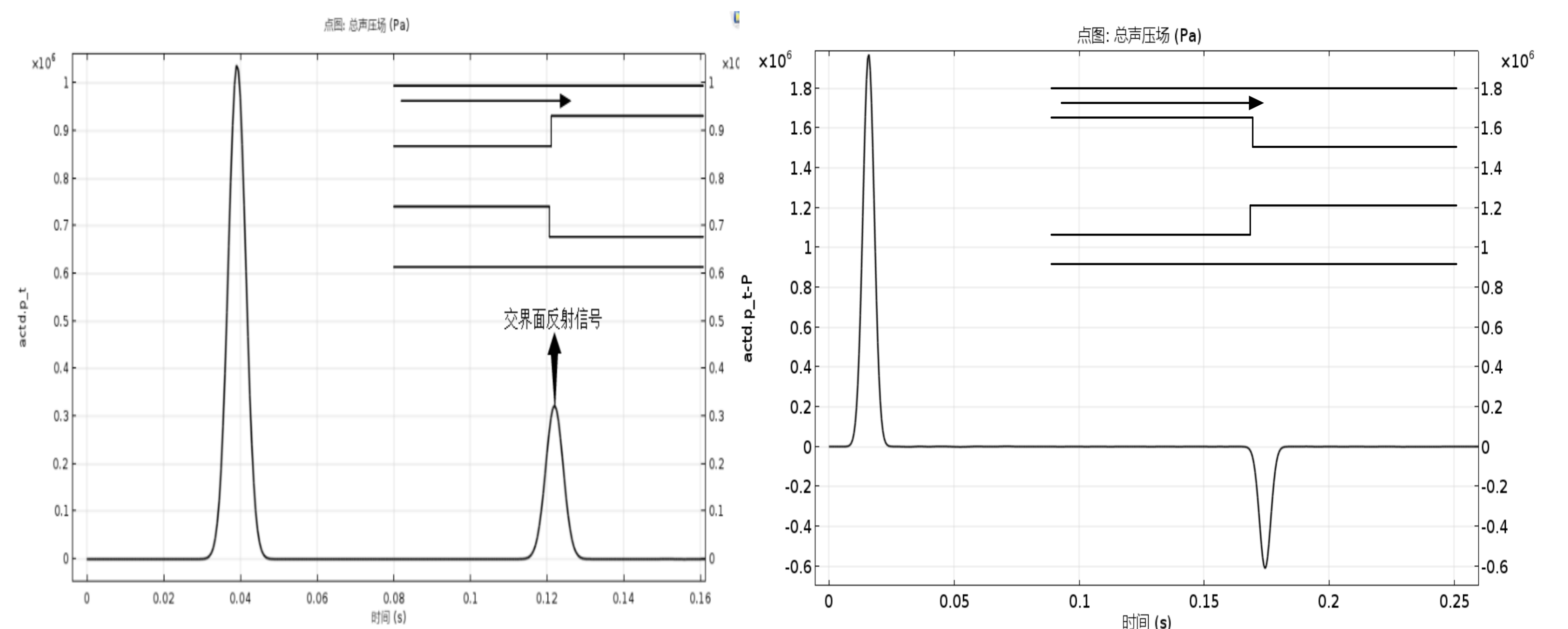
计算方法: 用COMSOL Multiphysics®中的压力声学瞬态模块求解式(1)描述的声波基本方程, 三维数值计算脉冲声源在图1问题中的瞬态声波传播特性, 研究动液面和接箍反射规律。

$$\frac{1}{\rho c^2} \frac{\partial^2 P_t}{\partial t^2} + \nabla \cdot \left(-\frac{1}{\rho} (\nabla P_t - q_d) \right) = Q_m$$

$$P_t = P + P_b \quad (1)$$

结果: 1.图2分别给出了0.16s、0.18s时的环隙中不同位置的声压场分布情况。

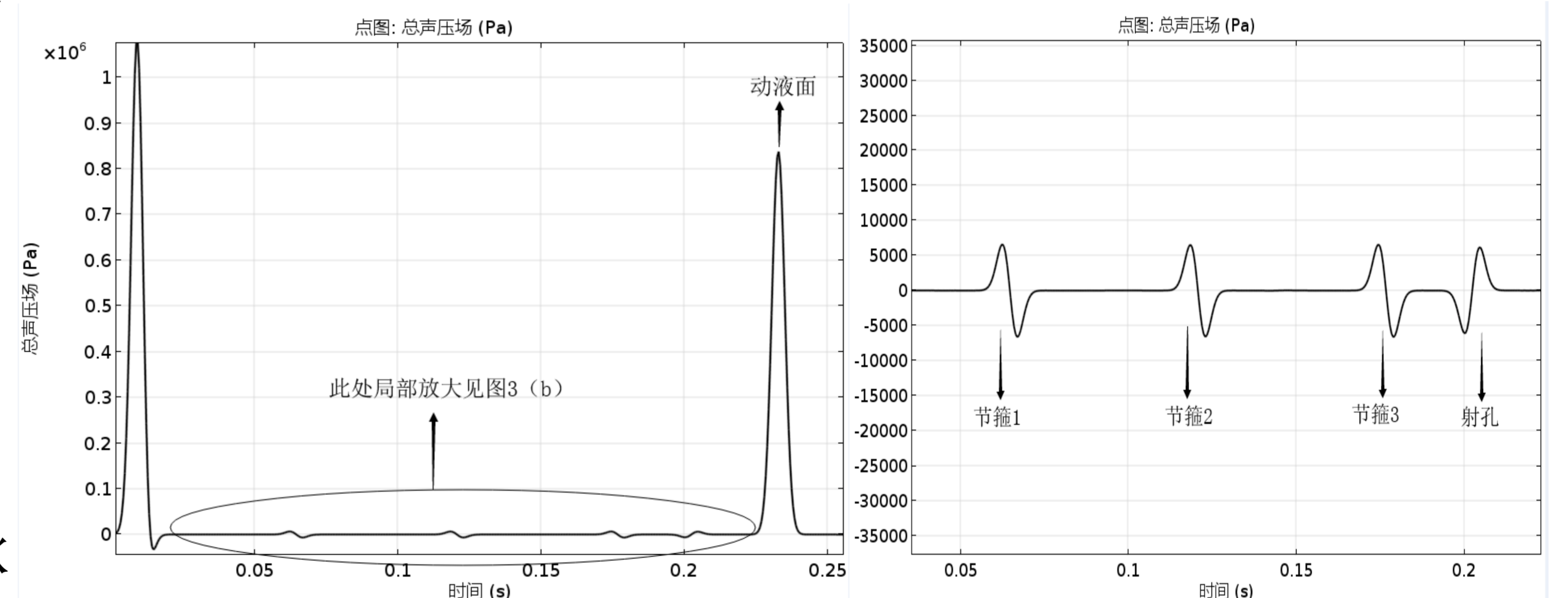
2. 图3表明: 当套管截面不变, 油管横截面积由小变大时, 交界面处反射信号形态与入射信号一致, 即两者声信号同极性 (图3a), 反之, 横截面积由大变小, 界面产生负反射声波信号, 即与入射信号极性反向 (图3b)。



(a) 油管截面由小到大变化时的反射信号 (b) 油管截面由大到小变化时的反射信号

图3 油管横截面突变时的声波反射现象模拟

3.仿真同时存在节箍、射孔和动液面时的声波传播特性。 图4表明: 接箍反射信号先正再负, 而射孔反射信号却完全相反, 先负后正, 动液面反射信号与发射同极性。可用图3解释图4中的现象。声波到达接箍时, 相当于截面积由大到小, 反射信号极性与入射相同; 当声波信号离开接箍下界面时, 截面积由小到大, 反射信号极性与入射相反。声波经过射孔时, 面积从小到大, 然后再从大到小, 与接箍相反, 两者尺寸接近, 因而反射信号刚好相反。



(a) 回波接收信号

(b) 节箍和射孔声波反射信号

图4 存在接箍、射孔和动液面时的声波反射现象模拟

结论: 1.数值模拟验证压力声波在环形空间传播时突然变大和突然变小界面反射波极性相反的基本规律。

2. 同时存在接箍、射孔和动液面时的脉冲声源传播特性模拟揭示接箍、射孔和动液面的反射特性, 为实际动液面检测仪接收信号特性分析提供理论依据。

参考文献:

- [1]杜功焕 朱哲民 龚秀芬, 声学基础
- [2]张海澜 王秀明 张碧星, 井孔的声场和波
- [3]周家新, 王长松, 汪建新, 姚耕耘, 李枝梅, 抽油井套管内声速变化规律分析