

利用COMSOL仿真复杂情况下的海洋声传播模型

朱军¹, 朴胜春², 宋扬², 祝捍皓³, 杨春梅⁴

1.船舶与机电工程学院, 浙江海洋大学, 浙江省, 舟山市

2.水声工程学院, 哈尔滨工程大学, 黑龙江省, 哈尔滨市

3.海洋科学与技术学院, 浙江海洋大学, 浙江省, 舟山市

4.海洋环境与数值模拟重点实验室, 国家海洋局第一海洋研究所, 山东省, 青岛市

简介:通过使用二维以及二维轴对称模型下的压力声学-频域模块。分别仿真了在点声源和线声源情况下, 复杂液态海底地形环境下的海洋声传播模型。为了能更好地观察出所仿真声场的声能量流动规律, 选用声能流这一物理量对海洋声传播特性来进行研究。同时通过其仿真结果中的声传播损失曲线与传统的抛物方程模型 (RAM)、耦合简正波模型 (COUPLE) 以及现今仿真准确度较高的全局耦合简正波模型 (DGMCM) 进行对比。

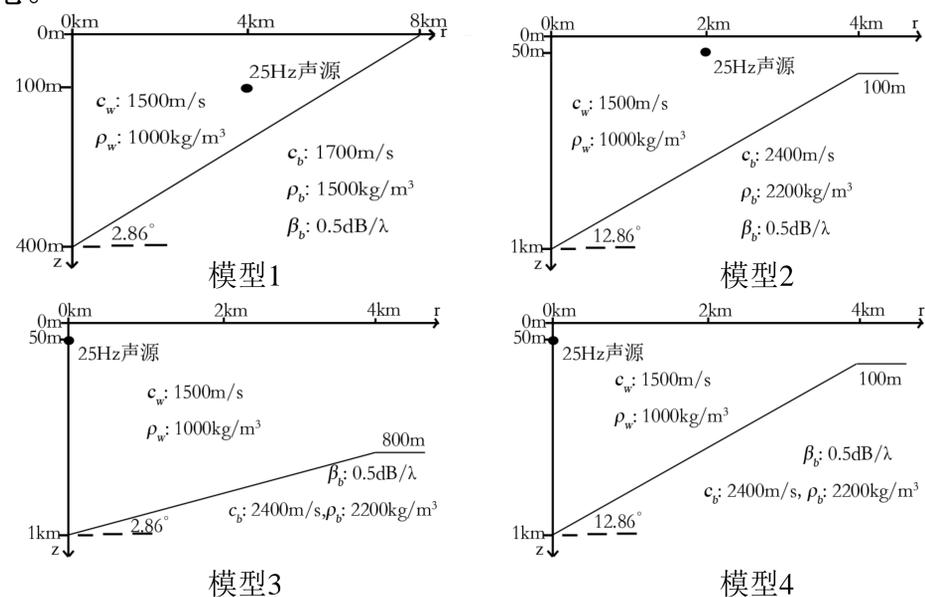


图1. 所仿真的四类海洋环境模型示意图

计算方法: 声传播损失计算公式如下公式(1)给出, 参考声压位置取距离声源处1m的。

$$TL_p = -20 \lg \left| \frac{p(r, z, \omega)}{p_{ref}} \right| \quad (1)$$

对于流体而言, 声能流密度在频域上的定义如下公式(2)给出。

$$I(\omega) = \begin{bmatrix} I_r(\omega) \\ 0 \\ I_z(\omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} pv_r^* \\ 0 \\ pv_z^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

声能量的强度与传播方向如下公式(3)所示:

$$I = \sqrt{\{ \text{Re} [I_r(\omega)] \}^2 + \{ \text{Re} [I_z(\omega)] \}^2} \quad (3)$$

$$\theta_i = \arctan \left\{ \frac{\text{Re} [I_z(\omega)]}{\text{Re} [I_r(\omega)]} \right\}$$

结果: 如下结果分别为上述四类海洋环境模型下的声能流伪彩图, 以及声传播损失曲线对比图。其中黑色实线为COMSOL仿真得到的声传播损失曲线; 红色、绿色虚线为COUPLE以及RAM模型仿真得到的声传播损失曲线; 蓝色虚线为DGMCM模型仿真得到的声传播损失曲线。结果如下所示。

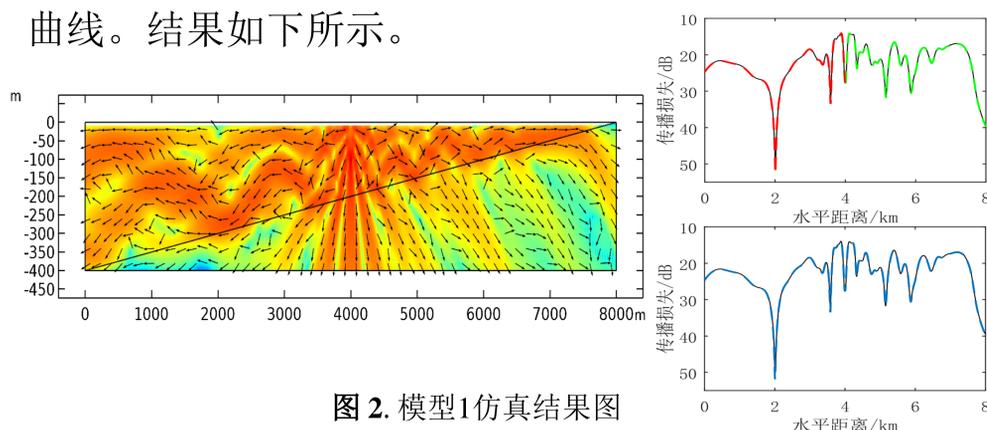


图2. 模型1仿真结果图

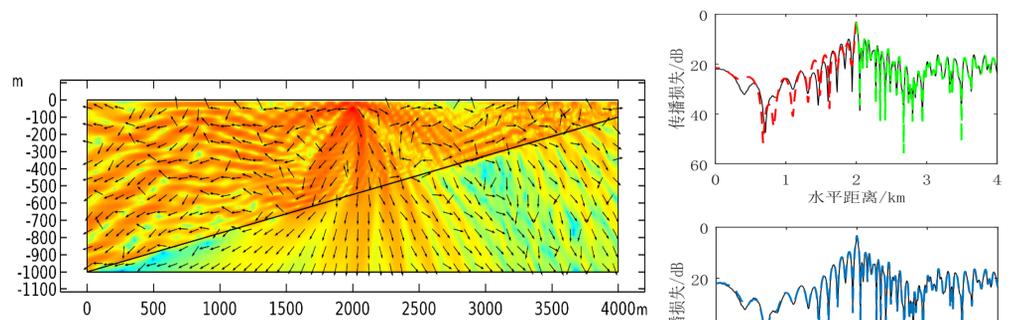


图3. 模型2仿真结果图

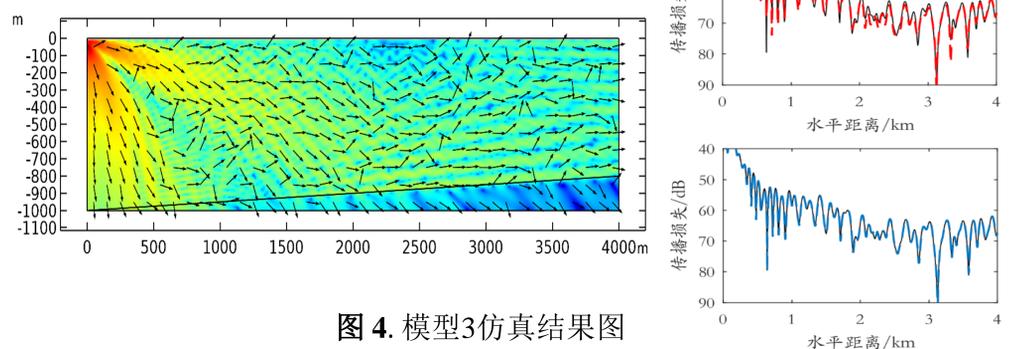


图4. 模型3仿真结果图

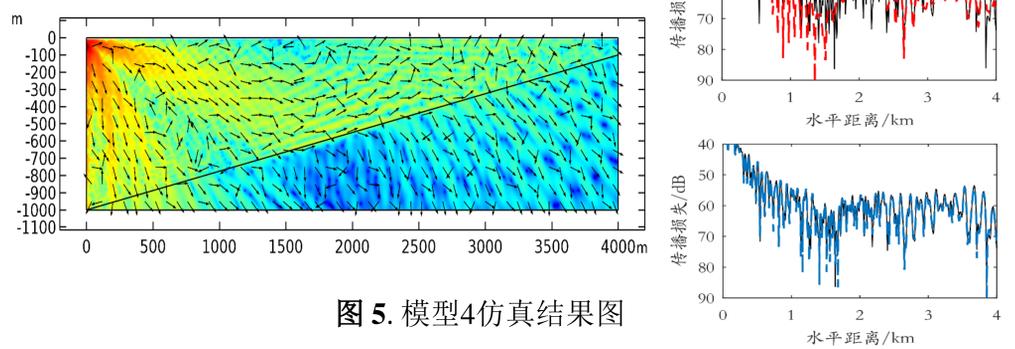


图5. 模型4仿真结果图

结论: 观察上述四类海洋环境模型的声能流伪彩图可以发现, 其结果与实际理论模型情况下的声传播轨迹完全吻合。同时通过声能流的方向矢量可以观察出, 合理的设置完美匹配层可以使声波在其层中得到完全的衰减, 使其不会受到因为边界的反射影响而影响仿真水层范围内的仿真结果。

而在声传播损失曲线的对比中, COMSOL计算得到的结果相对于使用传统数值仿真模型来说可以得到更加准确的数值解, 这是由于传统模型忽略了声场后向散射的影响, 使得特别在海水-海底阻抗大的情况下, 所得到的传播损失值比实际情况高很多。同时使用COMSOL计算得到的结果与全局耦合简正波方法计算得到的结果非常吻合。

参考文献:

1. 杨春梅, 全局矩阵耦合简正波方法与现有模型比较, 声学学报, 39, 295-30 (2014)