

浅海声场建模预报

刘佳琪¹, 朴胜春², 唐骏²

1. 哈尔滨工程大学, 水声工程学院, 南通大街145号, 哈尔滨市, 黑龙江省, 150001
2. 挪威科技大学, 电子和通信学院, 特隆赫姆, 挪威

引言: 海洋覆盖了地球表面百分之七十以上的面积, 声波作为海水中传输信号的唯一载体, 研究复杂的真实海洋波导中声场的传播形式对海洋的开发具有重要意义。把研究的浅海波导看成二维轴对称的矩形, 依据不同的边界条件在海水和海底的分界面上进行划分, 由海底的不同底质可分为液态海底和弹性海底, 进行不同物理场的模型仿真。进一步研究含有沉积层海底情况、浅海中不同类型声速剖面对声传播的影响并计算倾斜海底情况下的声场。截取真实的海底地形数据, 进行声场传播损失的仿真计算。

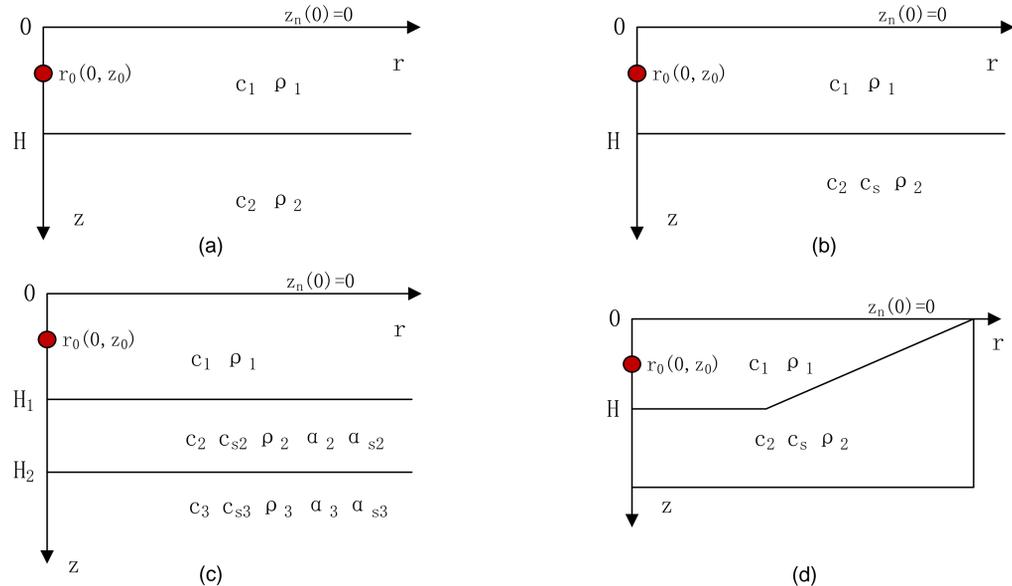


图 1. 不同边界条件下的浅海波导, 以上四图分别为液态海底、弹性海底、含沉积层海底和楔形海底的浅海波导模型

计算方法: 浅海的声传播问题基于波动方程和 HELMHOLTZ 方程, 讨论固定位置发射单一频率的声传播情况, 根据选取模型的条件不同设置相应的边界条件, 进行声场传播损失的计算。对于泥沙等非固态介质海底应用 COMSOL Multiphysics® 软件中频域压力声学接口, 对于弹性海底则应用 COSMOL Multiphysics® 软件中频域声固相互作用接口进行浅海声场的仿真建模。特别的含有声速剖面的海水部分则需添加声速剖面的方程或直接从列表文件进行声速文件的读取。

$$\begin{cases} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + k_1^2 \varphi = -4\pi \delta(r, z - z_0) \cdots 0 \leq z < H \\ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + k_2^2 \varphi = 0 \cdots H < z \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi_1}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial z^2} + k_1^2 \varphi_1 = -4\pi \delta(r, z - z_0) \cdots 0 \leq z < H \\ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi_2}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial z^2} + k_2^2 \varphi_2 = 0 \cdots H < z \\ \nabla \cdot \nabla \cdot \psi - \chi^2 \psi = 0 \end{cases}$$

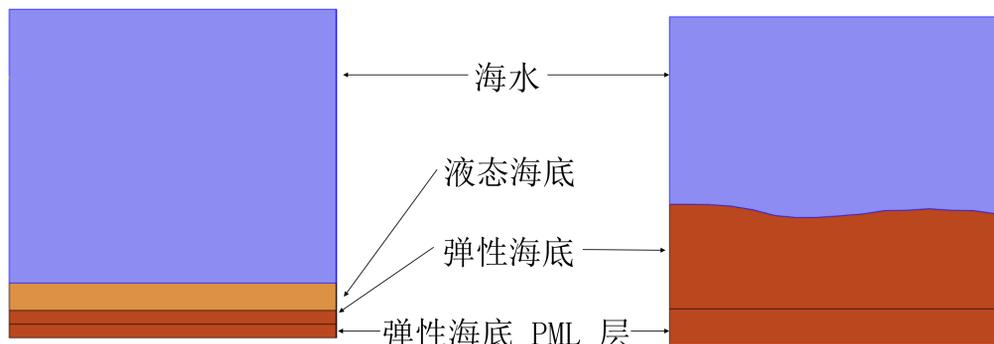


图 2. 简化后的含沉积层海底波导模型和真实海底地形数据下绘制的波导模型

结果: 对比不同声场计算方法 (有限元、简正波和快速场) 下液态半无限海底、弹性半无限海底、含沉积层海底、楔形海底及真实地形海底情况的声传播损失。通过传播损失曲线的对比, 发现计算较为准确, 曲线有较好的一致性。

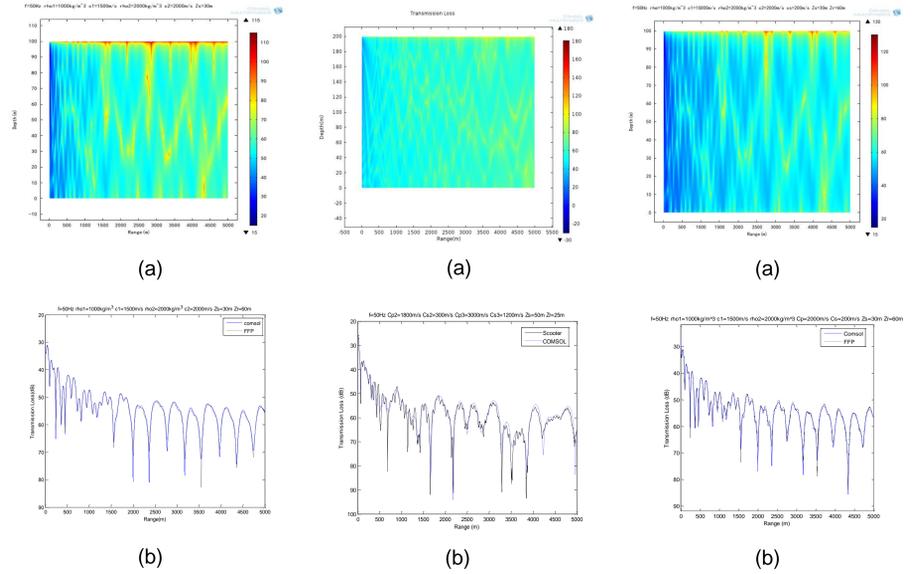


图 3. 液态半无限海底

图 4. 弹性半无限海底

图 5. 含沉积层海底

介质	深度 (m)	纵波声速 (m/s)	横波声速 (m/s)	密度 (kg/m ³)	纵波衰减系数	横波衰减系数
浅海	0-200	1500	0	1024	0	0
沉积层	200-220	1800	300	1800	0.5	1.5
基底	220	230	3000	2100	0.3	0.3

表 1. 含有沉积层海底的海底参数

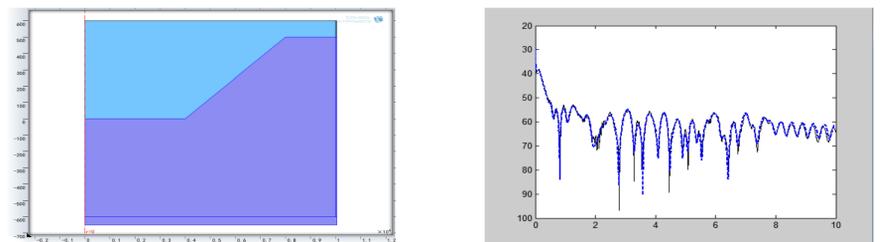


图 6. 楔形海底模型及声传播损失曲线

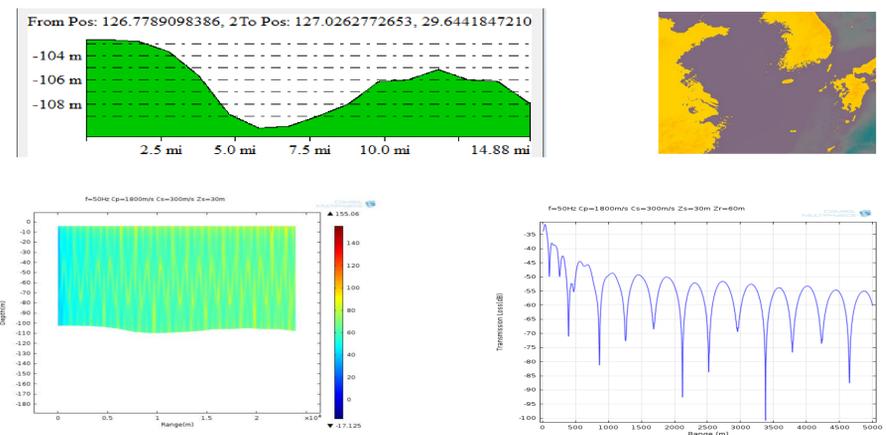


图 7. 实际海底模型及声传播损失曲线

结论: 通过对比不同的声场计算理论, 突出有限元理论计算浅海声场的正确性与优越性。有限元理论可以计算多种复杂边界条件的浅海声场, 计算准确度高、计算通用性强, 但是计算速度较慢。

参考文献:

1. 杨士莪, 水声传播原理, 哈尔滨工程大学出版社, 1 (1994)
2. 李景湧, 有限元法, 北京邮电大学出版社, 7-11 (1999)
3. 杜平安, 有限元网格划分的基本原则, 期刊, 2, 34-36 (2010)