基于有限元方法的频率域弹性波方程全波形反演研究

张丽娜

摘要

全波形反演是地震成像及油气勘探中一种重要的反演地下介质参数的方法，在地球物理油气勘探中有重要的理论和应用价值。本论文研究了频率域二维弹性波纵波和横波速度的全波形反演方法。主要内容包括：

基于有限元方法在频率域求解二维弹性波方程，推导了双线性矩形元及线性三角形元的有限元离散形式，计算区域的边界采用完美匹配层吸收边界条件，并利用多核并行解法器 MUMPS 求解有限元离散后的大稀疏线性代数方程组。对多个模型进行了数值计算，验证了方法和程序的正确性。

基于双线性矩形元在频率域对纵横波波速进行了全波形反演，详细推导了全波形反演的梯度公式并构造了相应的预条件子。全波形反演是一个典型的非线性病态问题，我们通过利用从低频到高频的逐级反演策略来避免反演陷入局部极小值点，增强反演的稳健性。对简单方块模型采用预条件最速下降法进行反演迭代，对国际标准复杂模型 Overthrust 模型采用非线性共轭梯度法进行迭代修正，得到了较好的反演结果，验证了反演的有效性和正确性。

在观测数据有噪音的情况下，基于 l2 正则化及 TV 正则化进一步克服全波形反演的不适定性，改善解的精度。对简单方块模型比较了这两种正则化方法的反演效果，针对 Overthrust 复杂模型采用 TV 正则化方法进一步改善了反演精度。

由于三角形元对非规则区域具有很好的适应性，论文最后基于线性三角形元进行了频率域纵横波波速全波形反演，详细推导了 Frechet 导数矩阵的计算方法。针对非规则区域模型，利用非线性共轭梯度法进行全波形反演，得到了较好的反演结果。在观测数据有噪声时，应用 l2 正则化方法进一步改善了反演精度。

关键词：弹性波方程，有限元，频率域，全波形反演，预条件子，数值方法，并行计算，正则化