声波方程单参数和双参数全波形反演研究

摘　要

蒋将军

2017.5

地震波全波形反演是勘探地球物理中的重要问题之一，也是目前国际上研究的热点问题。随着并行计算机性能的飞速发展及各类数值算法日趋成熟完善，全波形反演在石油勘探工业中也正在得到更好的发展和应用。在数学上，全波形反演等价于一个非线性最小二乘问题，它通过极小化地震波记录数据和模拟数据之间的残差来反演地下介质参数，具有精度高的优点，但由于问题的非线性和不适定性，也更为困难。本文主要对如下三个方面进行了二维声波方程单参数和双参数全波形反演的数值方法的研究和探索：

1.用有限差分法及小波方法进行了时间域波场模拟。理论上，推导了小波方法求解声波方程的算法，给出了求解声波方程稳定性的一般方法；数值上，结合完美匹配层吸收边界条件，进行了并行计算，并对比了小波方法与交错网格差分方法的计算结果，结果表明小波方法比二阶交错网格法有更小的频散。

2.针对分片光滑小规模模型，应用多种优化方法进行了基于小波方法的并行全波形反演，其中包括最速下降法、共轭梯度法、牛顿法、LBFGS法和信赖域方法。通过详细数值计算详细比较了各种方法的收敛性，说明了基于小波方法进行全波形反演的有效性和可行性。

3.基于Marmousi大规模复杂模型，研究了单参数及双参数声波方程的全波形反演。利用共轭算子法及矩阵技巧详细推导了目标函数的梯度计算方法，两种方法可得出相同的结果，但基于矩阵的推导结果有利于差分算法的构造。由于局部优化方法常常使得解陷入局部极小，本文采用频率多尺度策略来增强反演的稳健性。对国际标准复杂模型Marmousi模型进行了单参数速度及双参数密度速度的并行反演计算，结果表明了基于小波算法及交错网格法单双参数全波形反演的有效性。本文的方法将可进一步推广到弹性波方程的反演。

关键字：声波方程，速度，密度，小波方法，有限差分，时间域，全波形反演，数值优化，频率多尺度，并行计算