

弹性波粘滞边界元法地震模拟

陈阳璞^{1*} 符力耘²

1 中国科学院地球化学研究所 贵阳 550081; 2 中国石油大学(华东) 青市 266580

1. 引言

弹性波波场正演模拟越来越受到地球物理学者的重视, 随着正演模拟技术的发展, 反演技术在地震勘探应用中的准确性也得到提高, 因此正演模拟技术的地位变得越来越重要。众所周知, 地球介质并非完全弹性介质, 它的粘滞性导致地震波在传播过程中会发生衰减和频散。大多数粘滞弹性波数值模拟是基于有限差分法和有限元法进行的, 迄今为止, 几乎没有使用边界元法对粘滞弹性波模拟的文章发表。本文使用边界元法进行均匀层状介质中的粘滞弹性波数值模拟。边界元法属于半解析方法, 与有限元法和有限差分法相比, 在不规则界面的反射/透射模拟中有更高的精度, 将常 Q 模型的波动方程转换为对应用格林函数表示的边界积分方程, 从而将传统的频率域弹性波边界元法地震模拟推广到粘弹性介质中, 可以得到一种更高效的层状粘弹性介质地震模拟方案。

2. 正文

开尔文 (Kelvin) 模型是一种典型的常 Q 粘弹性模型, Q 为品质因子。其频率域波动方程如下:

$$\begin{cases} (\lambda_k + \mu_k) \nabla \nabla \cdot \mathbf{u}(\mathbf{r}, \omega) + \mu_k \nabla^2 \mathbf{u}(\mathbf{r}, \omega) + \rho \omega^2 \mathbf{u}(\mathbf{r}, \omega) = -\mathbf{f}(\mathbf{r}, \omega) \\ \mathbf{u}|_{\Gamma_1} = \mathbf{u}_0 \\ \mathbf{t}|_{\Gamma_2} = \mathbf{t}_0 \end{cases}$$

其中 λ_k, μ_k 是对应开尔文模型拉梅系数, \mathbf{u} 是位移矢量, ρ 是密度, \mathbf{f} 是体力, \mathbf{u}_0 是边界 Γ_1 上的位移矢量, \mathbf{q}_0 是边界 Γ_2 上的应力矢量。

对应的边界积分方程如下:

$$\begin{aligned} & \int_{\Gamma} [\mathbf{t}(\mathbf{r}') \mathbf{G}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') - \mathbf{u}(\mathbf{r}') \Sigma(\mathbf{r}, \mathbf{r}')] d\Gamma(\mathbf{r}') + \int_{\Omega} \mathbf{f}(\mathbf{r}', \omega) \mathbf{G}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') d\Omega(\mathbf{r}') \\ & = \begin{cases} \mathbf{u}(\mathbf{r}), \mathbf{r} \in \Omega \\ \mathbf{C}(\mathbf{r}) \mathbf{u}(\mathbf{r}), \mathbf{r} \in \Gamma \\ 0, \mathbf{r} \notin \Omega + \Gamma \end{cases} \end{aligned}$$

G 和 Σ 分别是位移矢量和应力矢量的基本解, Ω 为边界 Γ 内区域, C 取决于边界 Γ 上 \mathbf{r} 的位置。

开尔文模型的速度有如下对应关系:

$$\begin{aligned} v_{kP}^2 &= \frac{\lambda_k + 2\mu_k}{\rho} = v_P^2 \left(1 - \frac{i}{Q_P}\right) \\ v_{kS}^2 &= \frac{\mu_k}{\rho} = v_S^2 \left(1 - \frac{i}{Q_S}\right) \end{aligned}$$

v_{kP} , v_{kS} 和 Q_P , Q_S 分别为 p 波, s 波的开尔文介质速度表达式和品质因子。开尔文模型对地震波振幅的衰减可以用品质因子 Q 来度量, Q 越大, 能量的衰减越小。

参考文献

- 1、Guan X.Z. Acoustic viscoelastic modeling by frequency-domain boundary element method. Earthq Sci. 2017. 30(2):97 - 105
- 2、Fu L.Y. Seismogram synthesis for piecewise heterogeneous media. Geophys J Int. 2002. 150:800 - 808
- 3、Fu L.Y. Boundary element method for elastic wave forward modeling. Acta Geophys Sinica, 1994. 37:521 - 529