

压力作用下裂缝性储层弹性波传播机制与散射特征分析

李泱颖¹ 刘宁^{1*} 符力耘² 徐晓艺³

1 北京化工大学 北京 100029; 2 中国石油大学(华东) 山东青岛 266580; 3 中国科学院地球化学研究所 贵阳 550081

1. 引言

埋深 6000-10000 米以下古生界-中新元古界为主的超深层系, 是我国油气资源战略接替的现实领域, 其中裂缝性储层占有主导地位。基于地震资料的裂缝识别与预测是一个热点研究方向。深层-超深层裂缝系统处于异常高压环境之中, 应力变化会对岩石基质和裂隙材料的弹性性质造成重要影响。数值模拟是在理论上加深对深层-超深层裂缝性储层地震波传播规律认识的有效途径。本文基于数值模拟的优点, 采用商用有限元软件 COMSOL 模拟弹性波在含裂纹介质中的激发及传播方式, 分析围压对弹性波传播机制与散射特征的影响规律。

2. 有限单元法

波在介质中传播是动力学研究的重要领域, 主要研究短暂作用于介质边界或内部的载荷所引起的位移和速度的变化在介质中向周围传播、散射规律, 在抗震设计、人工地震勘探、无损探伤等领域都有广泛应用。连续介质理论中的动力学基本方程为^[1,2]:

$$M\ddot{a}_i + C\dot{a}_i + K a_i = Q_i,$$

这里采用中心差分方法, 有

$$M\ddot{a}_i + C\dot{a}_i + K a_i = Q_i,$$

为满足中心差分稳定条件, 时间步长需小于临界时间步长, 近似估计为,

$$\Delta t_{cr} = L / v_p,$$

$$\Delta t \leq \Delta t_{cr}.$$

其中 v_p 为纵波波速, L 为最小单元的最小边长。

3. 数值模型与结果

图 1 为裂缝纵横比为 0.1 规则排布裂缝介质纵波波速比值随围压的变化曲线。

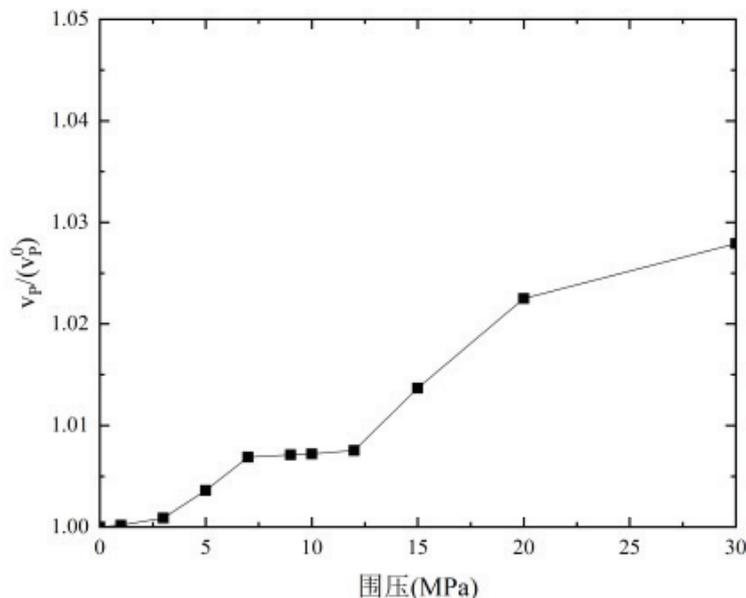


图 1 纵横比 0.1 规则排布裂缝介质纵波速比值随围压变化

图 2 为 1MPa 条件下不同时刻的竖直方向的位移场云图，从该图中可以看出弹性波在含裂缝介质中的传播路径及散射特征。

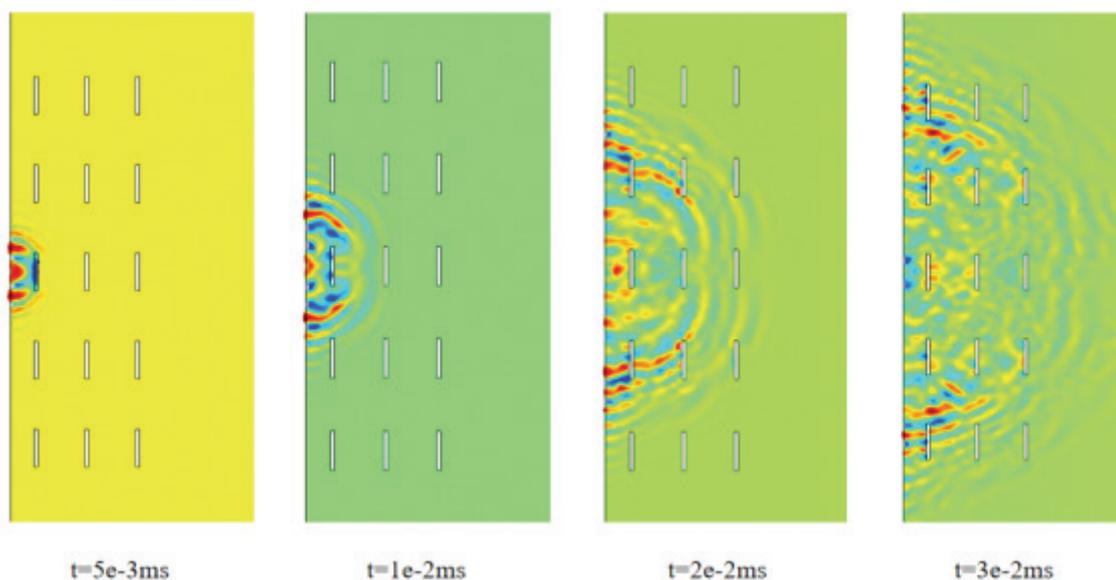


图 2 不同时刻裂缝介质竖直方向位移场

4. 结论

本文建立规则排布裂缝介质有限单元模型，模拟弹性波在该介质中的激发及传播方式，总结了不同围压作用下的波速变化规律；基于不同时刻的位移场图谱，进一步分析了压力作用对裂缝性储层弹性波传播机制与散射特性的影响。

致谢：感谢国家自然科学基金青年科学基金(41804134)及中央高校基本科研业务费专项(ZY2009)联合资助。

参考文献

[1] 刘宁, 李敏, 陈伟民. 基于 EMT 采用 FEM 研究含裂纹介质中弹性波传播机制[J]. 北京航空航天大学学报, 2015, 41(009):1686-1692.

[2] 朱伯芳. 有限单元法原理与应用[M]. 中国水利水电出版社, 1998.