

页岩微波加热致裂的多尺度耦合数值模拟研究

崔光磊¹, 于洪雯¹

1. 深部金属矿山安全开采教育部重点实验室, 东北大学, 沈阳, 辽宁, 中国 cuiguanglei@mail.neu.edu.cn

简介: 在微波加热致裂中, 加热过程在样品尺度进行, 而致裂机理控制在矿物尺度。因此, 如果用单一模型对这两个过程进行模拟, 就会产生尺度失配问题。为了解决该问题, 实现模拟过程中样品尺度和矿物尺度上的全耦合, 提出了一种改进的模拟方法来研究非均质多矿物集合体的电磁加热-应力损伤过程。

借助Comsol仿真软件, 使用亥姆霍兹方程在样品尺度上模拟了微波加热过程; 使用建立的微尺度损伤过程的数学模型, 在矿物/微尺度上对应力损伤过程进行模拟。其中, 建立的数学模型采用的是两种具有相反介电/热膨胀特性的矿物薄片堆叠结构, 而不是已有工作中的嵌套几何结构。

仿真过程的全耦合方法:

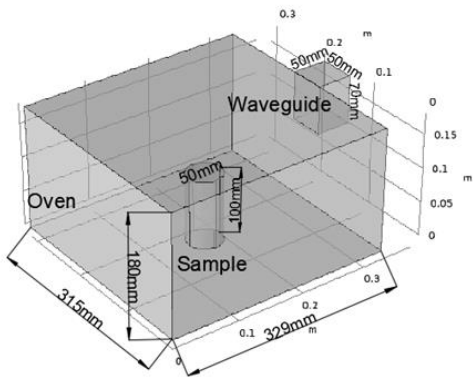
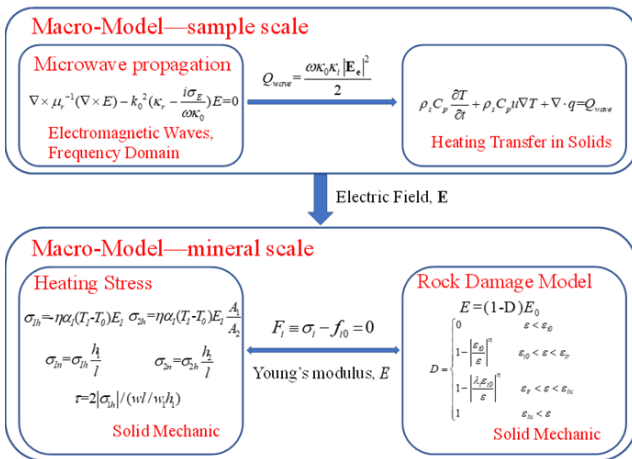


图 1. 宏观尺度几何模型

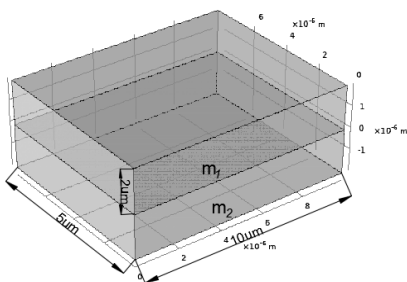


图 2. 微观尺度几何模型

结果:

1. 宏观模型结果分析

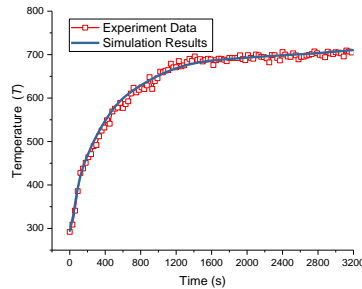


图 3. 温度随时间变化的数值计算结果与实验结果对比

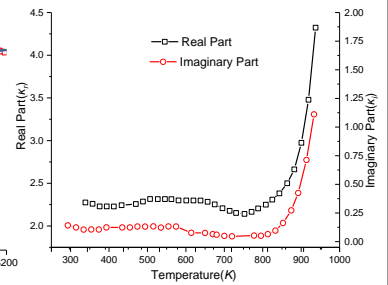


图 4. 页岩介电常数随温度变化的关系

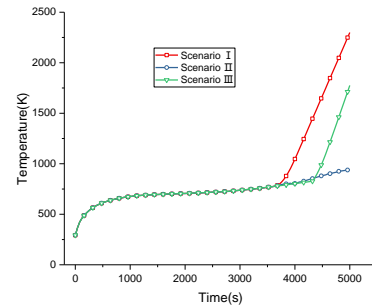


图 5. 介电常数随温度变化的关系; Scenario I:采用图4中介电常数随温度变化关系; Scenario II:采用图4中介电常数随温度变化关系, 但不考虑800K以后虚部的变化; Scenario III:采用图4中介电常数随温度变化关系, 但不考虑800K以后实部的变化。

2. 微观模型结果分析

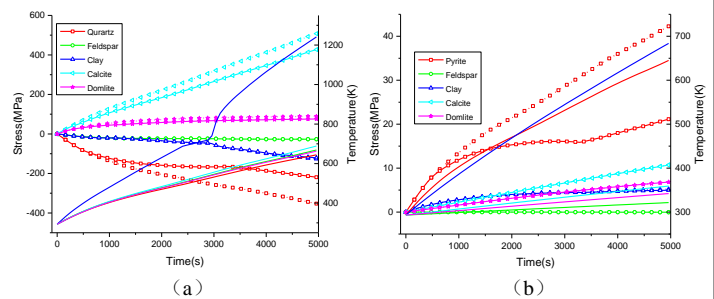


图 6. m1分别为黄铁矿 (a) 和石英 (b) 时, m1的水平应力及温度随加热时间变化的关系。带标记的实线表示考虑损伤效应的应力; 带标记的虚线表示未考虑损伤影响的应力; 无标记的实线表示不同情况下的平均温度; 不同的矿物 (m2) 由不同的颜色来定义。

结论: 本文提出的模拟方法为岩石破坏的宏观尺度表征和加热与微观机制之间的联系提供了一种强有力的方法。这种模拟方法也可以应用于岩石中的其他物理过程, 如气体流动或岩石破坏过程。这项工作还提供了矿物分类和标准, 以确定微波处理页岩和其他矿物集料效果的先验评价。

文献:

Guanglei Cui, et al. Coupled multiscale-modeling of microwave-heating-induced fracturing in shales, *Int J Rock Mech Min Sci*, Available Online