

(G-R 关系), 构造在 10 年尺度内样本量从 300 到 5 000 的若干组模拟地震数据, 计算分析各种样本条件下的加卸载响应比的 Y 时间进程变化。结果表明, 计算样本的震级上限 M_t 相对于 G-R 关系中拟合线性外推最大震级 M_T 的变化对 Y 的异常分布有一定影响, 其影响随地震样本量从小到大而明显减小。在实际地震资料的 Y 计算中若注意 M_t 的选取后, 其结果的稳定性和异常的可信度将得到显著提高。结果还给出不同样本量条件下, 不同震级区间出现不同量级加卸载响应比值概率 (频度) 的统计, 为加卸载响应比的实际地震预测分析提供了异常信度分析的定量参考依据。

引入贝叶斯公式, 本文对加卸载响应比预测概率及预测概率增益进行了初步的分析讨论。

以新疆多达 25 次中强以上地震作为震例, 我们系统地研究了以震中为原点、不同空间尺度范围内加卸载响应比时间进程变化特征, 发现地震前出现高 Y 值异常变化的空间尺度随地震强度增大而变大, 震级 M (M_s) 与震前出现高 Y 值异常的最大半径 R (km) 之间存在以下关系:

$$M = 3.12 + 0.021R \quad (r = 0.93)$$

关键词 加卸载响应比理论; 地震预报; 研究; 进展

式中 R 的单位为 km。

这一结果为加卸载响应比预测实践中的地震震级预测提供了定量的分析依据。

在不同空间尺度加卸载响应比空间扫描结果的基础上, 综合研究中强以上地震前加卸载响应比时空演化特征, 结果发现, 不同强度地震前, 出现加卸载响应比异常区的最大空间尺度与未来地震的强度之间存在着与时间进程研究结果一致的正相关关系, 这一结果为地震要素综合判定提供了又一分析依据。

通过对新疆 82 次震群的加卸载响应比研究, 发现高 Y 值可以作为前兆震群的一种新的判定依据。

以新疆 8 次 6 级以上强震为震例, 借助 $R-t$ 图分析研究强震前加载地震的异常分布特征, 结果表明, 8 次强震中 6 次地震前在震中周围出现明显的加载地震相对集中分布区, 加载地震的相对集中区出现于震前 1 年到 1 年半左右, 集中区半径尺度为 50~90 km。

利用波速比和直达波振幅比数据作为响应量进行加卸载响应比研究, 震例研究表明, 以这两种参量为响应的加卸载响应比具有相当好的映震效果, 这为加卸载响应比应用研究拓展了新的领域。

地震孕育过程的宏-细观力学模拟

王裕仓

(中国科学院力学研究所, 北京, 100080)

由于多种原因, 地震预测仍然没有取得突破性进展。固体材料损伤破坏预测理论是固体力学中非常困难的问题之一, 这也正是地震预测困难的科学根源。随着计算机技术的发展, 用计算机进行数值模拟可能会加深对这类复杂现

象的理解。

本文重点研究了地震孕育和破坏的力学过程, 提出了适合于研究地震破坏的数值模型, 从细观及宏观的尺度模拟研究了材料破坏和地震的一些基本特征和起作用的因素, 得到了下面

的主要结果:

在链网模型的基础上, 我们研究了一种能模拟材料破坏各向异性特征的模型。该模型由几个不同方向的承载机制(纤维)构成, 在给出各方向的细观力学特征(弹性常数、屈服和断裂极限)后, 就可以得到宏观的力学特征, 并推导了本构关系与刚度矩阵。其主要的优点是, 宏观的本构关系与破坏准则由各方向的承载机制细观的本构关系与破坏准则决定, 而无需另外给出。我们用该模型初步研究了典型的破裂图像、损伤破坏的普遍特征及其影响破坏形态和过程的因素, 如均匀性、初始缺陷等。

我们用该模型模拟了以应变为响应的加卸载响应比, 所得结果与实验及实际地震预测很相似: 在弹性阶段(或无损伤阶段), 加卸载响应比大约在 1 附近; 邻近破坏前, 加卸载响应比上升。本文讨论了影响加卸载响应比的一些因素, 如脆性程度和均匀性, 结果是: 材料越呈韧性, 或者越不均匀, 加卸载响应比开始上升得越早、越缓慢; 而材料越呈脆性, 或者越均匀, 加卸载响应比开始上升得越晚, 越突然。

基于离散元法和分子动力学的基本原理, 本文给出了一个模拟脆性材料动态破坏(尤其是压剪破坏)的数值模型。考虑到地壳岩石中存在各种层次的非连续性, 该模型一开始就把所要研究的对象离散为大量有相互作用的圆形颗粒, 粒子间可传递径向力、横向力和扭矩。只要给出了相邻粒子间连接状态“破坏”的条件、破坏后的相互作用和状态的变化规则等, 就能够利用差分方法一步一步求解各粒子的运动方程, 从而可以在细观-宏观尺度上模拟材料从完整到破坏和已有裂纹的材料裂纹的扩展过程。由于可以得到任意时刻各粒子的位置、速度和

加速度, 故能够模拟动态破坏。该模型考虑了粘滞与摩擦作用, 采用了新的粘滞迭代法和计算静摩擦力的方法, 最后编制了全部计算程序。

考虑到地震发生处常有很大的压应力, 我们模拟了脆性岩石在压应力作用下的破坏过程, 得到了单轴压缩时岩石的 X 型破坏(均匀材料)和劈裂现象(有一定比例的随机初始缺陷); 讨论了围压对破坏方式的影响, 即: 围压越大, 越呈韧性破坏, 破坏应力也越大, 剪切带变宽、变多, 且剪切带之间的夹角也增大; 另外, 还模拟了一个研究得比较多的闭合斜裂纹的动态扩展规律。这些都和岩石力学实验结果相似。

我们用离散元模型初步得到了地震破坏过程和地震活动的一些基本特征, 如震中分布图、 $M-t$ 图、 b 值、频次、能量释放等; 还观察到了时空的非均匀性、丰富的前震和余震; 最后讨论了影响 b 值的因素。结论是: 非均匀性是影响 b 值的主要因素, 非均匀性越强(裂纹越多, 或者长短裂纹之间数目越悬殊), b 值越大。

我们用离散模型模拟了以地震(声发射)能量为响应的加卸载响应比理论, 结论是: 在地震活动的增强阶段或地震序列的“主震”前, 加卸载响应比上升, 这进一步验证了以往用该理论预测地震的正确性。

我们在中国科学院力学研究所的材料试验机(MTS)上做了岩石压缩破坏的加卸载试验, 模拟了材料破坏之前, 以应变或弹性模量为响应的加卸载响应比理论, 验证了该理论的正确性, 并指出预测地质材料破坏(地震)的指标——加卸载响应比, 用来预测材料的破坏也可能是适用的。

关键词 地震孕育过程; 地震破坏过程; 力学模拟; 加卸载响应比; 地震预测