

文章编号: 0253-3782(2006)03-0295-10

双向压缩条件下非均匀断层标本变形过程中的声发射活动特征^{*}

蒋海昆^{1),*} 马胜利²⁾ 周焕鹏¹⁾
侯海峰¹⁾ 戴 磊¹⁾ 郑建常¹⁾

1) 中国济南 250014 山东省地震局

2) 中国北京 100029 中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室

摘要 在双向压缩条件下, 研究了一种非均匀断层模型标本在变形过程中的声发射(AE)时空特征. 结果表明, 随侧向应力 σ_2 的增大, 断层破裂强度提高, 自加载至破坏的时间延长, 破坏形式由突发失稳逐渐转变为渐进式破坏. 预制断层及其非均匀性对标本变形过程中 AE 空间分布图象起明显的控制作用. 预制断层, 特别是预制断层上的强度不均匀部位及高强度段落, 控制着微破裂空间分布的总体格局. 破裂局部化均起始于断层上强度不均匀部位, 随侧向应力 σ_2 的增大, 微破裂密集区域从预制断层强度不均匀部位逐渐扩展到整个高强度区段. 侧向应力 σ_2 的大小对 AE 时序特征具有显著影响. 较低 σ_2 条件下, 断层表现为突发失稳, 失稳发生在微破裂活动“增强—平静”的背景之上; 而较高 σ_2 条件下, 断层表现为渐进式破坏, 破坏前后 AE 频次持续增加, AER 呈指数增长. σ_2 对 b 值变化也具有一定影响. 当断层破坏表现为突发失稳时, b 值在弹性阶段后期至弱化阶段显示出“前兆”性降低; 而当断层表现为渐进式破坏时, b 值变化平稳.

关键词 非均匀断层 双向压缩 岩石变形实验 微破裂时空演化 b 值

中图分类号: P315.8 **文献标识码**: A

引言

岩石变形声发射(AE, 下同)是实验地震学的主要研究方向之一, 其内容涉及 AE 时间序列、空间分布、 b 值、波形频谱、破裂机制等(Lockner, 1993; 蒋海昆, 张流, 1998). 岩石变形过程中 AE 时空分布受岩石性质、加载方式、加载历史、温压条件、预存构造、流体作用等影响. 其中岩石标本的非均匀性及预存构造是影响 AE 时空分布的重要因素. 例如, 仅就 b 值而言, Mogi (1962a, b)早期的实验研究指出介质非均匀程度是决定 b 值大小的主要因素, 而 Scholz (1968)认为 b 值由岩体所处的应力状态所决定, 之后 Mogi (1985)通过蠕变实验进一步论证了 b 值由介质性质决定的观点. 随后的实验表明, 障碍物、预存断层(裂纹)等对 b 值也有影响(耿乃光, 1986). 近来的研究则表明, 预存构造的差异比力学条件对 b 值有更重要的影响(蒋海昆等, 2002, 2003a, b). 标本非均匀性(各种预存裂缝、障

^{*} 地震科学联合基金项目(105076)、国家“十五”科技攻关计划延续项目子专题(2004BA601B01-04-02)共同资助. 2005-08-07 收到初稿, 2006-03-07 决定采用修改稿.

[†] 通讯作者. E-mail: jianghaikun@sohu.com

碍体或包体等)对声发射时间序列、空间分布的影响也很明显(刘力强等, 1986; 马瑾等, 1995; 马胜利等, 1995; Sobolev *et al*, 1987; 焦远碧等, 1989; 许昭永等, 1989, 1997). 马胜利等(2004)的结果表明, 含有大量微裂纹的花岗岩变形过程中 b 值具有降低趋势, 而几乎不含微裂纹的花岗斑岩变形过程中 b 值则随应力而增加. 雷兴林等(2004)认为, 应力速率也对 AE 时空分布和 b 值变化有明显影响.

由于断层分段差异在实际地壳中普遍存在(徐杰, 1986), 因而研究非均匀断层的群体微破裂特性, 有助于深入理解地震时序特征及空间分布图象的物理机理, 以及地震活动与构造和力学作用环境之间的可能关系. 本文在以往研究的基础上, 设计了一种非均匀断层模型, 在双向压缩条件下研究断层分段强度差异及侧向应力 σ_2 大小对断层变形过程中 AE 时空分布特征的影响.

1 实验条件及声发射数据处理

岩石标本为细粒花岗闪长岩, 标本形状为 500 mm×300 mm×50 mm 的长方体. 预制断层 AB 沿长方体对角线切割, 宽约 1 mm, 分为长度相等的 3 段, 中间 BC 段用硬石膏充填, 两端的 AB 段及 CD 段用建筑石膏充填(石膏与水的比例为 1:1)(图 1). 测试表明, 硬石膏的单轴压缩强度为 50 MPa 左右, 建筑石膏的单轴压缩强度为 10 MPa 左右. 因此, 预制断层模型在强度分布上具有非均匀性, 中段强度高、两端两段强度低, 断层上 B 点及 C 点为强度不均匀的分段部位.

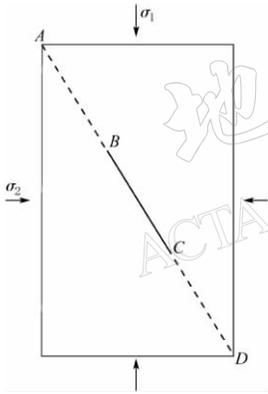


图 1 实验标本及加载示意图

实验在卧式双轴电液伺服控制加载系统上进行, 最大主压应力(简称轴向应力) σ_1 、侧向压力 σ_2 的方向分别垂直于长方体标本的两个侧面(图 1), σ_1 与预制断层面的夹角约为 29.5° . 实验过程中首先以相同的应力速率使 σ_1 和 σ_2 同步加载至预定的 σ_2 值, 之后 σ_2 保持恒定, σ_1 方向则以 0.5 mm/s 的位移速率加载直至实验结束. 分别在 σ_2 为 5, 7.5 MPa 和 10 MPa 的条件下进行了实验.

采用 16 通道声发射记录仪记录 AE 波形, 采样频率 10 MHz, 动态范围 12 bit, 采样长度 2 048 点. 实验之前对 AE 记录系统进行幅度和相位的一致性标定. 依据 AE 事件的 P 波初至到时进行 AE 三维定位并同时确定其发生时间(蒋海昆等, 1999). AE 强度 M_{AE} 的定义延续以往的定义方式(蒋海昆等, 2000), M_{AE} 为一无量纲量, 表征 AE 之间的相对大小, 仅涉及本组实验结果之间的相互比较. 由各次实验 AE 序列的强度-频次关系, 粗略确定记录完备的最小 M_{AE} 为 4.3, 因而本文所有分析均基于 $M_{AE} \geq 4.3$ 的 AE 数据进行.

根据实际实验结果, 声发射率(AER, 下同)取每 100 s 时间内发生的 AE 数量. 仿照地震学中的 G-R 统计关系, 以“ b 值”表征岩石破裂实验过程中大小微破裂事件的比例, 通过 $\lg N = a - bM_{AE}$ 由最小二乘法计算 b 值. 其中 N 为强度大于等于 M_{AE} 的 AE 事件的累计频次. 为保证有足够的计算样本及可接受的时间分辨率, 采用 50 次事件累加、5 次事件滑动的方式进行计算, 误差棒给出相应 b 值的计算误差. 以 $\sqrt{10^{M_{AE}}}$ 表征标本变形过程中通过微破裂方式所释放的“应变能”的相对大小, 同样采用 50 次事件累加、5 次事件滑动的方式进

行计算.

2 实验结果

2.1 σ_2 为 5 MPa 条件下的实验结果

标本的差应力-时间曲线(图 2)表现为 3 个阶段: 第一阶段为应变积累阶段(即弹性变形阶段); 第二阶段有一系列伴有明显应力降的小粘滑发生, 相当于扩容弱化阶段, 紧随后差应力明显下降(曲线上的负坡段), 标志着断层的破坏失稳; 第三阶段为断层破坏后的滑动阶段, 其间有一系列应力降很小的粘滑.

声发射时空分布表明, $60\% \sigma_0$ (σ_0 为弹性变形阶段的极限差应力, 下同)之前, 少数 AE 主要分布于标本边缘及表面(图 3a), 属于标本表面的小崩落, 预制断层及其附近基本上无 AE 活动. 大约自差应力达 $60\% \sigma_0$ 开始, 预制断层上介质强度差异大的 B, C 点附近开始发生局部破坏. 微破裂首先在 B 点附近丛集(图 3d), 之后一直到差应力达 σ_0 , AE 基本上集中于 B, C 点附近(图 3c~e). 这一阶段, AE 明显增多, AER 持续增长, 在 σ_0 附近达最高值(图 2a, b). 弱化阶段, AE 活动减弱, AER 明显降低, 显示频次上的相对平静, 直至预制断层发生破坏失稳(图 2a, b). 这一阶段 AE 主要集中分布于 C 点附近(图 3f).

从 b 值变化看, b 值自弹性变形阶段后期(约 $85\% \sigma_0$)开始明显降低, 之后的弱化阶段 b 值在相对低值区间波动, 直至断层发生破坏失稳, 失稳后 b 值回升(图 2c).

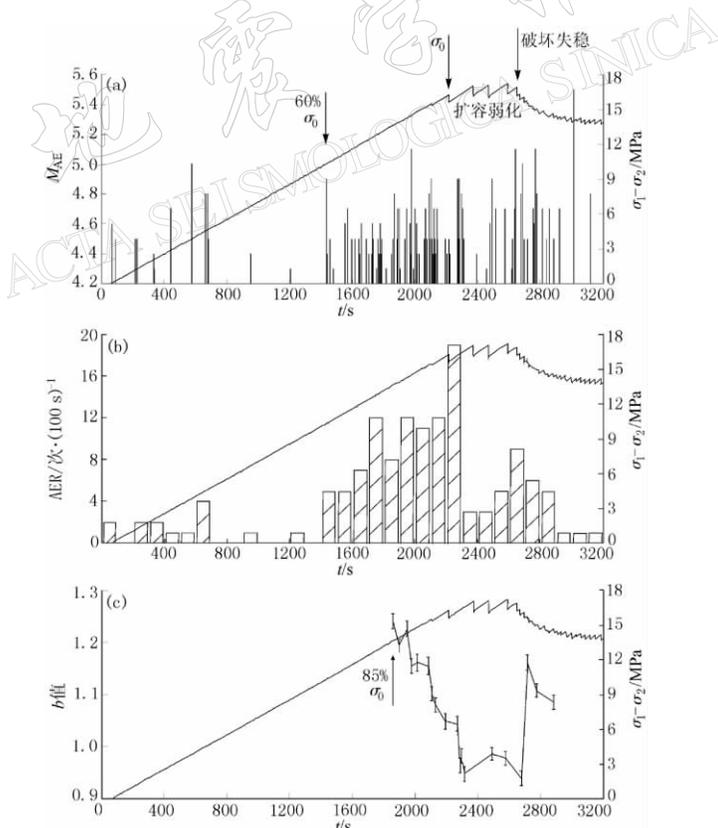


图 2 σ_2 为 5 MPa 条件下非均匀断层标本变形过程中的 AE 时序特征
(a) M_{AE} - t 图($M_{AE} \geq 4.3$); (b) AER- t 图; (c) b 值

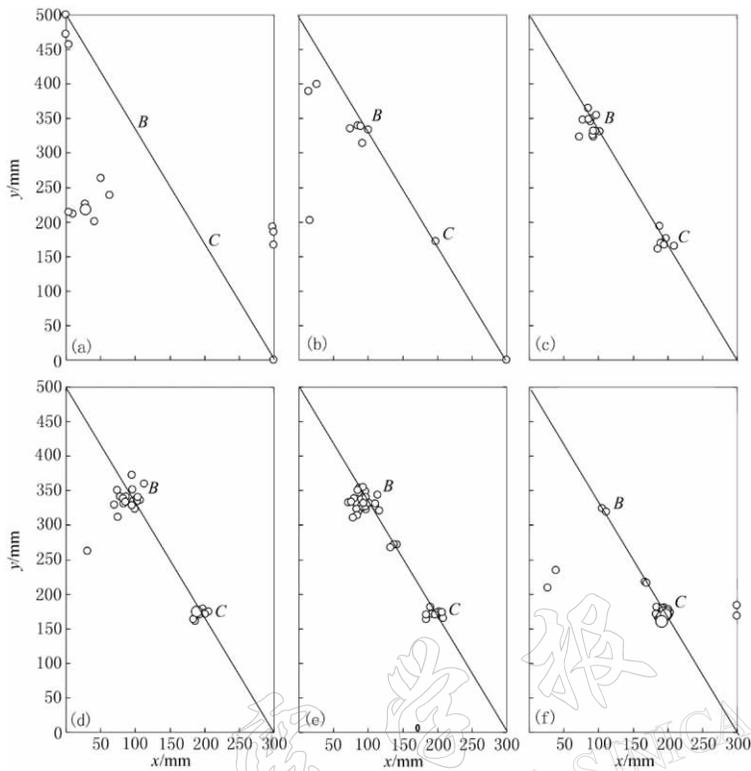


图 3 σ_2 为 5 MPa 条件下非均匀断层标本变形过程中的 AE 空间分布
 (a) $0 \sim 60\% \sigma_0$; (b) $60\% \sigma_0 \sim 70\% \sigma_0$; (c) $70\% \sigma_0 \sim 80\% \sigma_0$; (d) $80\% \sigma_0 \sim 90\% \sigma_0$;
 (e) $90\% \sigma_0 \sim 100\% \sigma_0$; (f) 弱化及破坏阶段

2.2 σ_2 为 7.5 MPa 条件下的实验结果

σ_2 为 7.5 MPa 的条件下, 差应力-时间曲线同样显示出明显的 3 个阶段, 其中扩容弱化过程伴随有应力降幅度较小的粘滑, 弱化之后的断层破坏同样引起应力下降, 但应力下降幅度较 $\sigma_2 = 5$ MPa 时小(图 4).

从 AE 时间分布来看, 在弹性变形阶段, 大约自 $73\% \sigma_0$ 开始, AE 数量增多、强度增大、应变释放相对较高(图 4a, b). 这一阶段 AE 首先在预制断层上两个强度不均匀区域之一的 B 点附近发生(图 5a). 在弱化阶段、特别是在弱化阶段后期, AER 显示一定的降低趋势(图 4c). 这期间预制断层上另一个强度不均匀部位 C 点及附近成为应变释放的主要区域. AE 在 B, C 两点附近丛集, 同时沿预制断层 BC 段有一系列 AE 发生(图 5b). 表明预制断层中部高强度段发生了破裂. 随预制断层中部高强度段 BC 的破裂贯通, 摩擦滑动成为主要的运动形式, 摩擦滑动初期(约 $3\ 200 \sim 3\ 600$ s) AE 数量急剧增加, 这可能与断层破裂面较为粗糙有关. 但由于对应时段的应变释放较低(图 4c, b), 这些 AE 事件的强度较低. 这一阶段 AE 空间分布延续弱化阶段的分布特征, 除强度不均匀部位 B, C 点附近外, 高强度的 BC 段同样成为微破裂密集发生、应变能集中释放的主要区域(图 5c). 随着时间的推移, 断层面上的粗糙部位被逐渐“铲平”, AE 事件逐渐减少(图 4a, c).

b 值变化尽管起伏波动较大, 但自弹性阶段后期(约 $87\% \sigma_0$) 开始, 经弱化阶段至断层

破坏失稳前，总体仍呈现起伏性降低趋势(图 4d).

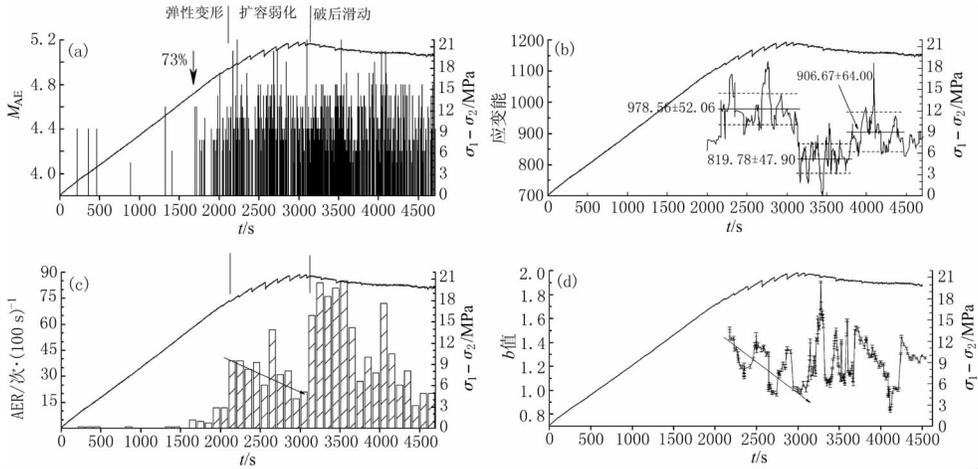


图 4 σ_2 为 7.5 MPa 条件下非均匀断层标本变形过程中的 AE 时序特征

(a) $M_{AE}-t$ 图($M_{AE} \geq 4.3$); (b) “应变能”释放(50 点累加、5 点滑动计算); (c) AER-t 图(全标本); (d) b 值

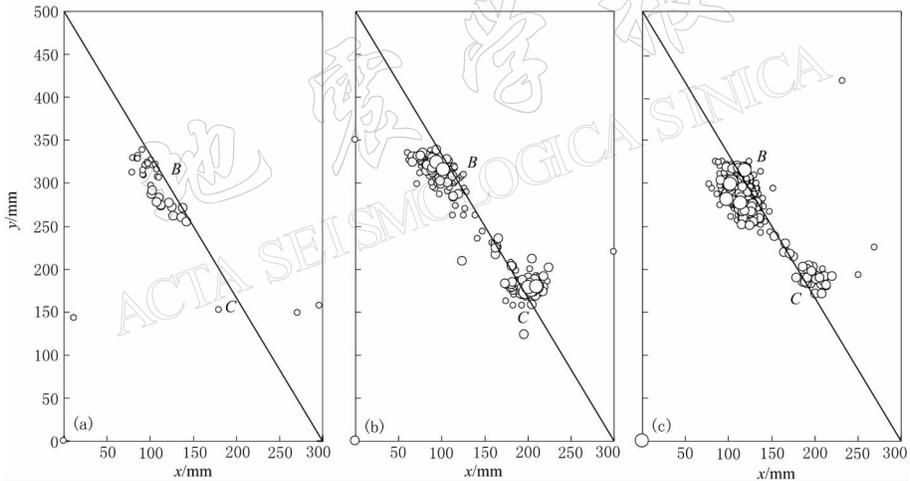


图 5 σ_2 为 7.5 MPa 条件下非均匀断层标本变形过程中的 AE 空间分布

(a) 弹性变形阶段; (b) 弱化阶段; (c) 破坏后摩擦滑动阶段

2.3 σ_2 为 10 MPa 条件下的实验结果

标本的差应力-时间曲线(图 6)与前述两个实验差别明显, 标本变形从弹性变形阶段平稳地过渡到滑动阶段, 在扩容阶段并未出现较低 σ_2 条件下所出现的伴有明显应力降的粘滑, 断层的破坏也没有引起差应力的明显变化, 表明断层的破裂和滑动是渐进式的.

实验初期大约 747.3 s 前较高水平的 AE 活动(图 6a~d 中点竖线左侧所示)主要由于标本边缘附近的岩石表面小破裂所致. 这从分时段的 AE 空间分布图象上也可看出, 747.3 s 之前的 AE 空间分布包含了图 7a, b 的全部及图 7c 的大部分时段(图 7c 大约截止于 770 s). 由图 7a~c 可见这一时段的较大事件主要分布于标本左上角及右侧中部边缘.

AE 三维定位结果显示这些 AE 事件大多分布于标本表面^①, 属于实验初期标本与加载系统之间相互调整过程中的边缘摩擦或表面崩落. 这部分数据不是我们所关注的内容.

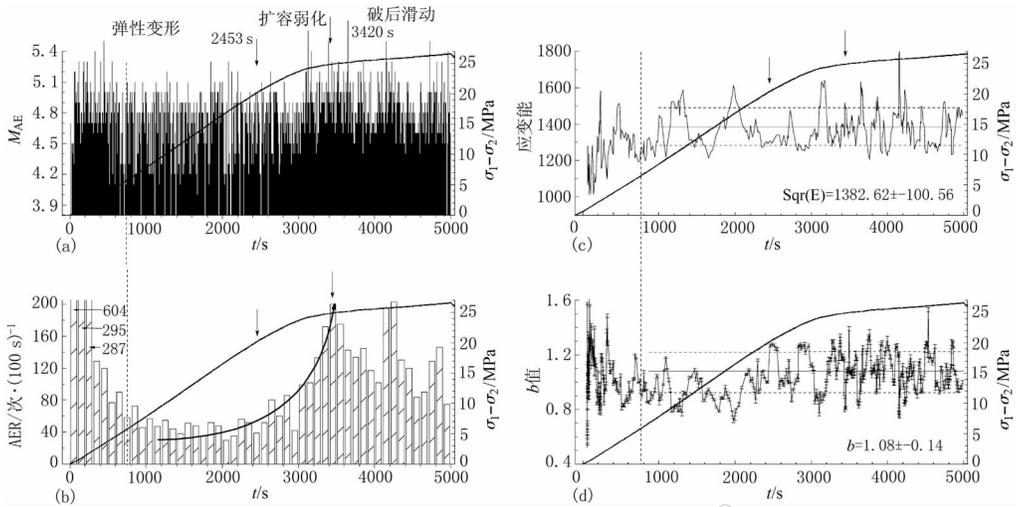


图6 σ_2 为 10 MPa 条件下非均匀断层标本变形过程中的 AE 时序特征

(a) M_{AE} - t 图 ($M_{AE} \geq 4.3$); (b) AER- t 图; (c) “应变能”释放 (50 点累加、5 点滑动计算); (d) b 值

在弹性变形阶段, AE 主要在主动盘活动(图 7d~i). 弹性变形阶段后期(约 90% σ_0 之后), 预制断层上 B, C 两个强度差异较大的区域才开始出现快速的局部破裂过程, 群体微破裂丛集(图 7j), 扩容阶段继续这一明显的局部化过程(图 7k). 从 AE 时序特征来看, 这一阶段微破裂数量急剧增加, AER 指数增长(图 6a, b). 断层渐进式破坏之后, 由于预制断层中段高强度区域强烈的摩擦滑动, 整个 BC 段被密集的 AE 所覆盖(图 7l). 这一时期 AER 仍保持较高水平, 但总体呈现有起伏的逐渐降低趋势(图 6b). 从微破裂的应变释放来看, 整个实验过程基本保持大体相当的应变能释放水平, 预制断层渐进式破坏前后无显著差异(图 6c).

b 值起伏波动较大, 但未显示趋势性的变化特征, 预制断层渐进式破坏前后 b 值无明显差异(图 6d).

3 讨论和结论

1) 非均匀断层标本的破坏形式(突发失稳或渐进式破坏)与 σ_2 大小有关. 当 σ_2 为 5 MPa 时, 变形过程表现为“弹性变形—弱化—失稳”, 弱化阶段伴随有粘滑活动, 预制断层的破坏形式为破裂失稳; 当 σ_2 为 7.5 MPa 时, 断层强度提高, 变形过程基本相似, 但破坏时的应力降减小; 当 σ_2 为 10 MPa 时, 断层的强度进一步提高, 但变形过程表现为“弹性变形—渐进式破坏”, 断层未发生明显的失稳, 而是表现为渐进式破坏. 这表明, 随侧向应力 σ_2 增大, 断层的强度逐渐提高, 但断层破坏形式由突发失稳逐渐转变为渐进式破坏.

2) AE 空间分布图象受预制断层的控制, 但不同 σ_2 条件下 AE 分布及活动强度有差异. σ_2 为 5 MPa 时, 微破裂仅发生在预制断层上两个强度不均匀部位, 高强度段落未发生

① 王健, 蒋海昆. 2005. 强震中期预测物理基础研究. 中国地震局“十五”重点项目专题(100501-05-09)研究报告.

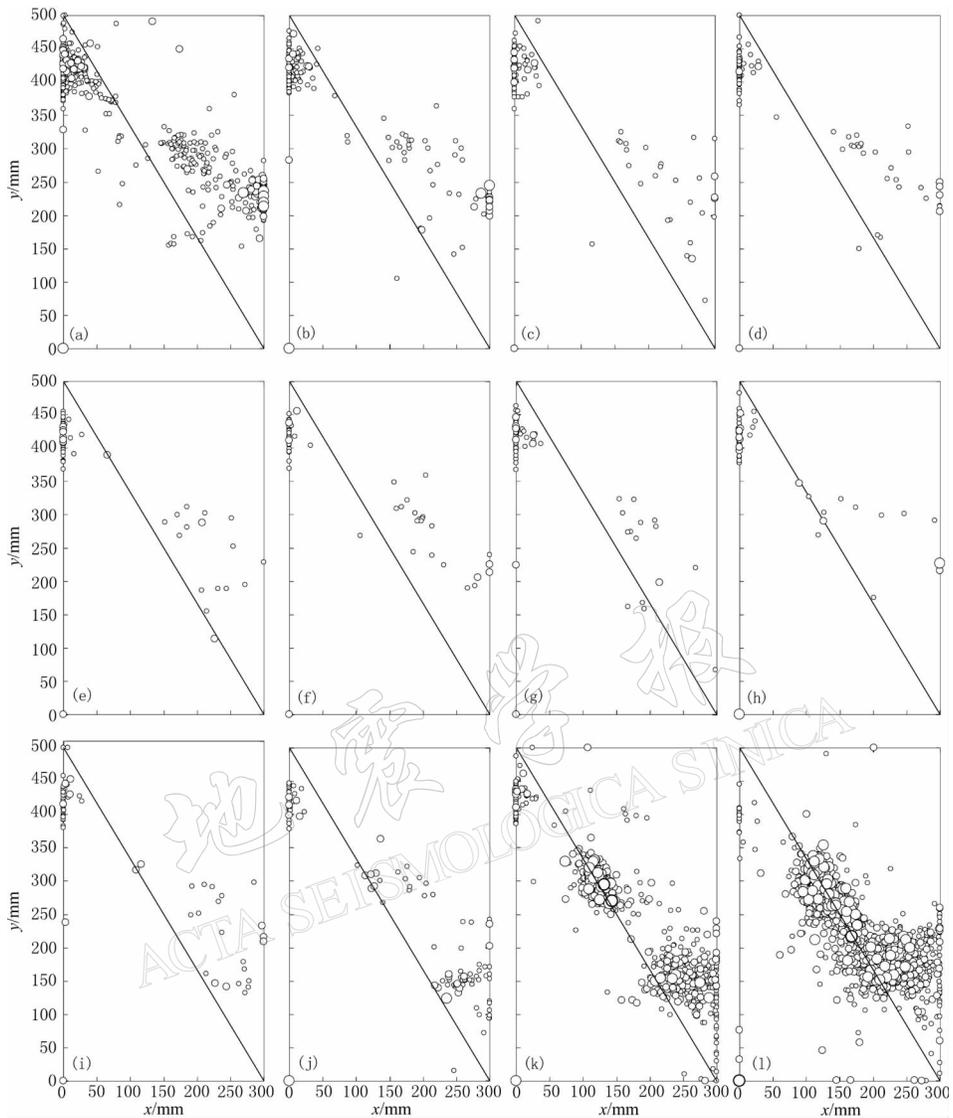


图7 σ_2 为 10 MPa 条件下非均匀断层标本变形过程中的 AE 空间分布

- (a) $0 \sim 10\% \sigma_0$; (b) $10\% \sigma_0 \sim 20\% \sigma_0$; (c) $20\% \sigma_0 \sim 30\% \sigma_0$; (d) $30\% \sigma_0 \sim 40\% \sigma_0$; (e) $40\% \sigma_0 \sim 50\% \sigma_0$;
 (f) $50\% \sigma_0 \sim 60\% \sigma_0$; (g) $60\% \sigma_0 \sim 70\% \sigma_0$; (h) $70\% \sigma_0 \sim 80\% \sigma_0$; (i) $80\% \sigma_0 \sim 90\% \sigma_0$;
 (j) $90\% \sigma_0 \sim 100\% \sigma_0$; (k) 弱化阶段; (l) 破坏后滑动阶段

明显破裂； σ_2 为 7.5 MPa 时，预制断层上两个强度不均匀部位和高强度段落均发生了破裂；当 σ_2 进一步提高至 10 MPa，预制断层上的高强度段落成为破裂的主要区域，并向断层附近扩展。可见，标本变形过程中微破裂始终起始于预制断层上的强度不均匀部位，并受控于强度较高的段落，反映出断层及其非均匀性对变形过程中微破裂空间分布的控制作用。但随 σ_2 的增大，微破裂密集分布区域逐渐扩展到整个高强度区段，并向断层带外扩展，表明断层的变形方式由局部化变形向分布式变形转变。变形方式的这种转变，是导致断层由非稳定破坏(失稳)转变到渐进式破坏的内在原因。

3) σ_2 大小对 AE 时序特征具有明显影响. σ_2 为 5 MPa 时, 大约自 $60\%\sigma_0$ 开始, AE 明显增多、AER 持续增长, 差应力达 σ_0 时达最高值. 弱化阶段 AE 活动减弱、AER 明显降低, 显示出频次上的相对平静, 直至断层破裂失稳. σ_2 为 7.5 MPa 时, 大约自 $73\%\sigma_0$ 开始, AE 增多、强度增大、应变释放相对较高. 弱化阶段后期 AER 则显示出一定的降低趋势. σ_2 为 10 MPa 时, 在弹性变形阶段后期及扩容阶段, AE 急剧增加、AER 指数增长, 约 $90\%\sigma_0$ 之后断层上两个强度差异较大的区域开始破裂, 断层渐进式破坏之后, AER 仍保持较高水平. 这表明, 在较低 σ_2 条件下, 非均匀断层的破坏失稳发生在微破裂活动“增强—平静”的背景之上. 随 σ_2 增加, 微破裂“增强”逐渐后移, “平静”现象逐渐消失.

AE 时间分布的另一个特点是, 随 σ_2 增大, 断层破裂成核过程(时间上显著密集、空间上局部丛集)的起始时间后延, 5, 7.5 MPa 及 10 MPa 条件下分别约是 $60\%\sigma_0$, $73\%\sigma_0$ 及 $90\%\sigma_0$. 同时, 断层上两个强度不均匀部位及附近区域的声发射还显示明显的交替活动特征. 从 σ_2 为 7.5 MPa 条件下的实验结果来看, B 区活动开始早、破坏后活动强烈、活动持续时间长(图 8a); C 区则主要集中于弱化阶段活动, 弱化阶段初期活动强烈, 后期则逐渐减弱(图 8b). 对照可见, B 区似乎是标本变形过程中一个应变主体释放区, 而 C 区微破裂活动对最终的破裂失稳似乎具有一定的“前兆”意义.

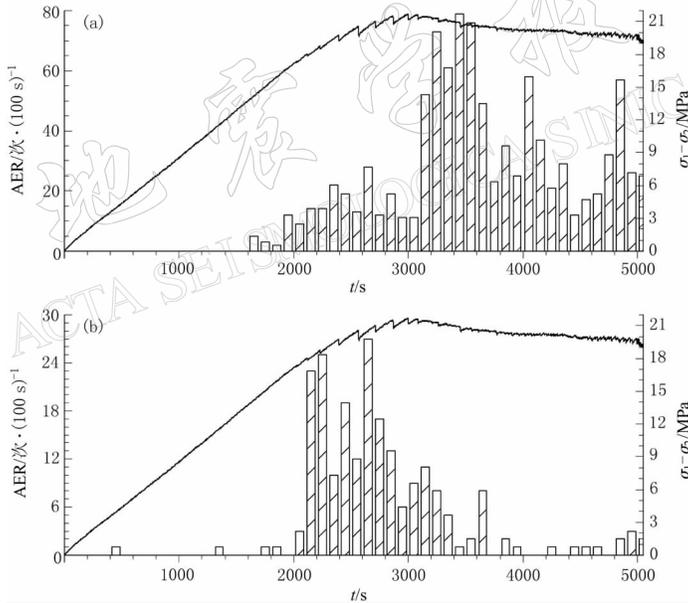


图 8 σ_2 为 5 MPa 条件下非均匀断层 BC 区域附近声发射率随加载过程的变化. (a) B 区域; (b) C 区域

4) b 值降低是标本突发失稳的一个可能“前兆”, 渐进式破坏前后 b 值变化不明显. 当 σ_2 为 5 MPa 时, 非均匀断层变形过程中, b 值自弹性阶段后期开始降低, 之后的弱化阶段中 b 值在相对低值区间波动, 直至断层破坏失稳; 当 σ_2 增加至 7.5 MPa 时, b 值显示出类似的变化, 弹性阶段后期(约 $87\%\sigma_0$)、弱化阶段至破坏失稳前, b 值总体趋势降低, 但起伏波动较大; 当 σ_2 为 10 MPa 时, 从弹性变形后期(约 $80\%\sigma_0$ 之后)直至断层发生渐进式破坏, b 值平稳波动, 看不出明显的趋势性变化.

5) 上述实验结果对分析实际断层的地震活动性具有参考意义. 由实验结果推断, 即使对于脆性断层, 随着深度(压力)的增加, 介质非均匀性的影响逐渐减弱, 变形方式将逐渐由局部化的破裂向分布式的破裂转变, 导致断层的力学行为从突发失稳向渐进式破坏转变. 与此相对应, 地震活动特征也将发生明显改变, 其中对地震预测有直接意义的一个特征是, 当断层最终的破坏表现为突发失稳(即发生了强震)时, 强震可能发生在小震活动“增强—平静”的背静之上, b 值在弹性阶段后期至弱化阶段将显示有一定“前兆”意义的降低过程; 而当断层最终表现为渐进式破坏(即无强震)时, b 值将不会表现出明显的趋势性变化特征.

实验工作得到地震动力学国家重点实验室开放基金的资助; 吴秀泉、刘天昌加工制作了实验标本, 实验在吴秀泉、刘天昌、巴金、陈云顺、扈小燕等协助下完成. 谨致谢意!

参 考 文 献

- 耿乃光. 1986. 值模拟实验的进展和我国 b 值模拟实验的开端[J]. 地震学报, 8(3): 330~333
- 蒋海昆, 马胜利, 张流, 等. 2002. 雁列式断层组合变形过程中的声发射活动特征[J]. 地震学报, 24(4): 385~396
- 蒋海昆, 马胜利, 张流, 等. 2003a. 共线不连通断层标本变形过程中群体微破裂事件的时空演化[J]. 地震, 23(3): 1~9
- 蒋海昆, 马胜利, 张流, 等. 2003b. 含障碍物平直断层标本变形过程中群体微破裂事件的时空演化特征[J]. 地球物理学报, 46(2): 209~216
- 蒋海昆, 张流, 王琦. 1999. 实验室三维定位及标本波速场各向异性研究[J]. 地震, 19(3): 245~252
- 蒋海昆, 张流, 周永胜, 等. 2000. 不同围压条件下花岗岩的声发射序列特征及其地震学意义[J]. 地球物理学报, 43(6): 812~826
- 蒋海昆, 张流. 1998. 岩石破裂过程的声发射研究进展[J]. 世界地震译丛, (3): 1~9
- 焦远碧, 吴开统, 张智. 1989. 断层面上的障碍物与地震序列中的强余震[J]. 地球物理学报, 32(增刊 I): 211~217
- 雷兴林, 佐藤隆司, 西泽修. 2004. 花岗岩变形破坏的阶段性模型——应力速度及预存裂纹密度对断层形成过程的影响[J]. 地震地质, 26(3): 436~449
- 刘力强, 马瑾, 吴秀泉. 1986. 雁列式断层变形与失稳过程的实验研究[J]. 地震学报, 8(4): 393~403
- 马瑾, 马文涛, 马胜利, 等. 1995. 5° 拐折构造变形物理场的实验研究与数值模拟[J]. 地震地质, 17(4): 318~326
- 马胜利, 邓志辉, 马文涛, 等. 1995. 雁列式断层变形过程中物理场演化的实验研究(一)[J]. 地震地质, 17(4): 327~335
- 马胜利, 雷兴林, 刘立强. 2004. 标本非均匀性对岩石变形声发射时空分布的影响及其地震学意义[J]. 地球物理学报, 47(1): 127~131
- 徐杰. 1986. 中国大陆地区浅源地震的构造分类研究[A]. 见: 国家地震局地质研究所编. 地震地质论文集[C]. 天津: 天津科学技术出版社, 1~17
- 许昭永, 舒燕华, 包一峰. 1989. 单轴压缩下填充物胶灌切口样品的破裂特征[J]. 地球物理学报, 32(增刊 I): 269~274
- 许昭永, 王彬, 赵晋明, 等. 1997. 含硬包体试样微破裂图象演变过程的实验研究[J]. 地震学报, 19(3): 317~322
- Lockner D. 1993. The role of acoustic emission in the study of rock fracture[J]. *Int. Rock Mech Min Sci*, 30: 883~900
- Mogi K. 1962a. Study of elastic shocks caused by the fracture of heterogeneous material and its relations to earthquake phenomena[J]. *Bull Earthq Res Inst, Tokyo Univ*, 40: 125~173
- Mogi K. 1962b. Magnitude-frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes[J]. *Bull Earthq Res Inst, Tokyo Univ*, 40: 831~853
- Mogi M. 1985. *Earthquake Prediction*[M]. Tokyo: Academic Press, 127~131
- Scholz C H. 1968. The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes[J]. *Bull*

Seism Soc Amer, **58**: 399~415

Sobolev G, Getting C, Setzier H. 1987. Laboratory study of the strain field and acoustic emissions during the failure of a barrier[J]. *J Geophys Res*, **92**: 9 311~9 318

SPATIAL AND TEMPORAL CHARACTERISTICS OF ACOUSTIC EMISSION ACTIVITY DURING DEFORMATION OF ROCK SAMPLES WITH INHOMOGENEOUS FAULT UNDER BIAXIAL COMPRESSION

Jiang Haikun¹⁾ Ma Shengli²⁾ Zhou Huanpeng¹⁾ Hou Haifeng¹⁾
Dai Lei¹⁾ Zheng Jianchang¹⁾

1) *Earthquake Administration of Shandong Province, Ji'nan 250014, China*

2) *State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, China*

Earthquake Administration, Beijing 100029, China

Abstract: The spatial and temporal distribution of acoustic emission (AE) during the deformation of samples containing an inhomogeneous fault have been studied under biaxial compression condition. The results show that the fault strength and the loading time to failure increase and the failure mode changes from instability to gradual failure with increase of lateral stress σ_2 . The pre-setting fault and its heterogeneity play an important role in controlling AE spatial distribution during the deformation. The basic pattern of AE spatial distribution is controlled by the pre-setting fault, especially the parts with inhomogeneous strength and the strong segment, and the localization of microfractures starts from the positions with inhomogeneous strength. With increase of σ_2 , the dense AE distribution area spreads from the positions with inhomogeneous strength to the whole strong segment gradually. AE temporal sequence is significantly affected by σ_2 . The fault shows abrupt instability in final failure, which occurs on a background of "enhancement-quietness" in microfracture activity at lower σ_2 . At higher σ_2 , the fault shows gradual failure, and the frequency of AE events increases continuously and AER increases exponentially before and after the failure. The effect of σ_2 on b -value is also remarkable. b -value shows precursory decrease in the weakening stage when fault behavior is abrupt instability, but it shows balanced change when fault behavior is gradual failure.

Key words: inhomogeneous fault; biaxial compression; experimental rock deformation; spatio-temporal distribution of microfractures; b -value