

轻微的机械作用对断裂源形态的影响*

B. C. 库克欣科¹⁾ C. B. 叶利查罗夫²⁾ H. 托米林¹⁾ 尹祥础³⁾

1) 俄罗斯科学院约费技术物理研究所, 圣彼得堡

2) 俄罗斯因特尤利克 (Inter Unic) 公司

3) 中国科学院力学研究所

摘要 俄罗斯科学院约费技术物理研究所提出了固体断裂的两阶段模型, 该模型不随断裂尺度变化。第一阶段为裂隙的积累, 其大小受限于构造单元的特征尺度, 当达到其阈值密度时, 就形成局部的断裂源, 此时过程进展加速, 并完成宏观断裂。当过程进展缓慢时, 研究轻微的作用下断裂源的状态就具有意义。

中图分类号 P315.3⁺3 文献标识码 A

俄罗斯科学院约费技术物理所提出了固体强度的动力学处理方法, 广泛积累了有关裂隙产生与发展的实验资料, 从而可以表达出不受断裂尺度影响的非均匀物质的断裂模式。构造的非均匀性造成所加的外部负载分布的不均, 由此便产生“微弱”单元, 它的断裂概率要比整个物体的平均值高, 当这些在整个物体上随机分布的单元破裂时, 其所产生的裂隙留在非均匀体颗粒的边界上, 颗粒的大小确定为 $l \sim 1 \mu\text{m}$ 。这些互不作用的微裂隙的聚集, 进展得相当平稳, 并且不会导致物质内部某种显著的变化, 这就是样本断裂的第一阶段“准稳定”阶段 (图 1a)。

当微裂隙的密度超过某个极限时, 破裂过程的特性发生惊人变化, 该极限值由以下形式的破碎化过程密度参量的关系式来决定, 即

$$K = R/l \quad 3, \quad R = c^{1/3} \quad (1)$$

这里 c 为微裂隙的密度。

在微裂纹密度达到临界密度的区域, 可以观测到“源”的出现, 在外部条件不变的情

况下, 微裂纹间开始互相作用, 并雪崩式地汇合, 由此形成更大的裂隙, 有时好几个裂隙互相串通, 从而扩展至更高层次非均匀体的极限值 (图 1b)。如果该极限值与样品的几何尺寸可相比拟, 它就发生破裂。这里过程的弥散阶段持续时间 t_i 与断裂源阶段持续时间 $t_{\text{源}}$ 相对于过程生命的总时间 $t_{\text{总}}$ 的关系式具有特殊意义:

$$t_{\text{总}} = t_i + t_{\text{源}}, \quad t_i \gg t_{\text{源}}, \quad t_{\text{源}} \gg t_{\text{总}} \quad (2)$$

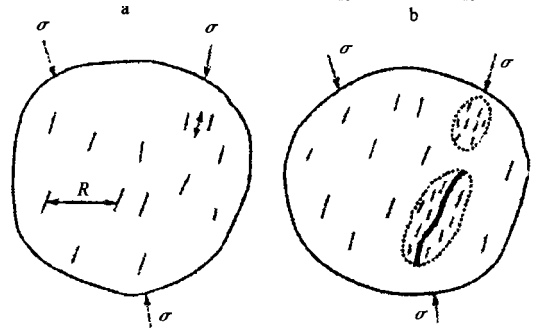


图 1 断裂“准稳定”阶段 (a) 与断裂源阶段 (b)

在此基础之上, 重要的一点就是应适时宣告作为破裂临近前兆的裂隙形成过程中断裂源阶段的到来。

破裂过程也可以用事件的序列来表示,

* 收稿日期: 2004-03-05。

其中的每个事件可用时间与空间的座标来描述，每个事件都是单个微裂隙的张裂。由此以弹性波形式释放的能量可以用声发射变换器或地震拾震器来记录，由此就可把声发射的事件序列与微裂隙的积累过程对应起来。声发射讯号的能级参数这时由断口的尺寸来决定。根据若干个转换器记录的声发射数据，当有了足够的这方面的基础后，就可以用定位方法计算出发射源的座标，从而由实验确定断裂源出现的位置与时间。除此之外，对声发射事件的序列作时间方面的统计分析，还可评估过程的非稳定的断裂源阶段到来的时间，它是根据按时间顺序依次排列的声发射事件之间的时间间隔 t 分布的泊松特性的变动作出的 (图 2)。

图 3 列出了实验取得的在断裂不同阶段的样品定位的图形。分散阶段的特性是声发射事件源大体均匀地分布于样品的整体 (图 3a)，而在图 3b 上，在孕育着断裂源的区域源密度的偏高表现得很明显，之后，可观测到断裂源区域增大至样品的尺度 (该图上未标示)。

以上所描述的测定断裂源阶段到来时刻的两种方法，十分广泛并成功地应用在材料内发生灾难性变故的时刻与起始位置的预测上，但它也有一系列重大缺陷。例如，尽管在声发射的测量技术领域取得了巨大的进展，但讯号的可靠定位问题与保障足够的统计数据问题仍然存在，这实际上就是假定了从构造物被加上负载的开始就能对断裂的发展过程进行监控，但在一系列大型与长期使

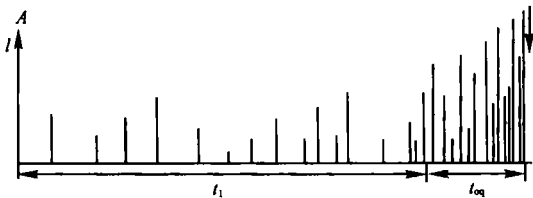


图 2 在断裂过程中所记录的声发射事件序列 (A 表示幅度，实线箭头指示断裂的开始)

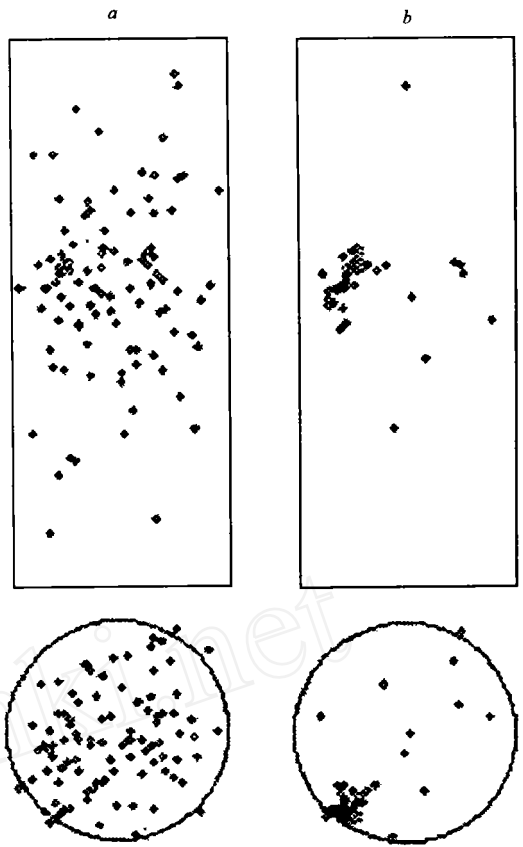


图 3 样品断裂时弥散阶段 (a) 与断裂源阶段 (b) 的定位图形

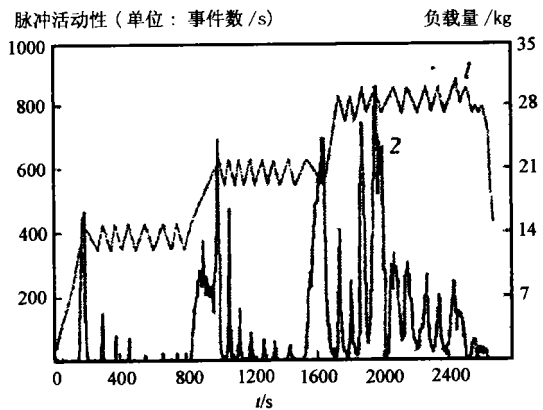


图 4 负载量随时间曲线图 (1) 以及声发射脉冲之活动性的时间进程图

用的工程结构监测问题上，没有这种可能。在这种情况下在监测的过程中构造物件往往加上巨大负载，由此不仅导致其提前老化，

而且从其整体性上看还存在危险。

可以作出本工作的基本结论，这就是证实了不均匀物质内若有断裂源在发育时它的状况与其原始的无断裂源时的状况显著不一样。

为了研究在各种负载情况下断裂源的状态，对岩石样品作了一系列实验研究。在藉机械压力机对样品施加负载的过程中，它的状况用记录声发射的快速反应的 10 道声发射综合仪来监测。分析了声发射脉冲的时间序列，计算了这些脉冲源的座标以及测定了其能级特性后，就能相当可靠地测定能影响样品完整性的危险断裂源出现的时间与地点。

若对样品施加不同大小与形态的负载，就可比较其裂隙生成时早期弥散阶段和断裂源阶段的特点。书馆图 4 列出了花岗岩样品的负载时间曲线图，该样品作成尺度为 $140 \times 70 \times 70 \text{ mm}^3$ 的正方体，以不同的负载量值总共对该样品作了 3 段时间，在每段时间区内样品每次受到了锯齿状周期性变化，其量值不超过所施加静负载的 10%，在同一图上还表示了所记录的声发射脉冲活动性的时间进程图。

从图上清楚看出，在第一步周期性加载期间，活动性的量值随着周期性加载的峰序号的增加而迅速减小，并且很快小于自然声噪音的背景。在第二步时段期间，图形在本质上是重复的。根据在这些阶段所作的声发射源的定位图形以及发射能级参数的状况，可以得出结论：其损伤为弥散性质。

下面的第三步，负载导致了过程向断裂源阶段过渡，在此时刻静负载保持不变，而与先前大体同一量值的周期性负载开始作用于样品，声幅射的响应曲线则根本地改变了其性质。

之后为了确定声发射活动性与周期性负载峰值的时间进程图之间的相关性，曾经根据 3 组测定序列的每个峰值在加载与卸载阶

段对该活动性的状态作了单独的分析。在图 5 上列出了根据第一组与第三组测定序列作出的声发射讯号平均活动性值，这些测定数据按周期峰值的持续时间与响应极大值作了归一化处理，时间的负半轴相应于加载，正半轴就相应于其卸载。

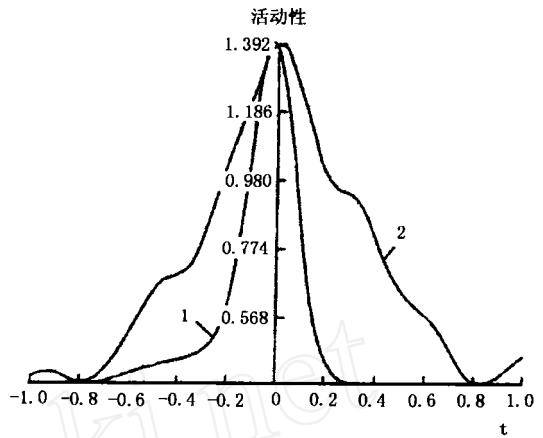


图 5 声发射活动性根据弥散阶段 (曲线 1) 和断裂源阶段 (曲线 2) 作的归一化峰曲线

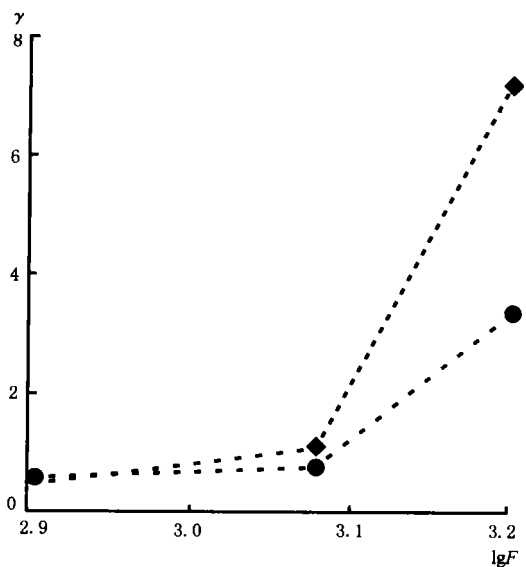


图 6 值与负载的关系曲线 (声发射脉冲的持续时间, 其能量)

第一组序列的活动性量值 (曲线 1) 基本集中在狭窄的时间区间内，即在负载峰值时刻附近的区域内。除此之外还可看到声发射

响应具有明显的非对称性，这是由于样品卸载阶段声发射快速下降所致。加载阶段的总活动性平均比卸载时活动性超过了二倍。破裂源阶段(曲线 2)的特点是响应具有宽广得多的时间分布，应注意到这里没有明显的声

发射响应曲线的非对称性：增负阶段的总活动性与减负阶段之比接近于 1。

声发射脉冲的其他参量也有其特别形态。图 6 示出了加载阶段的声发射脉冲的能级参量与其持续时间相对于卸载阶段的相应

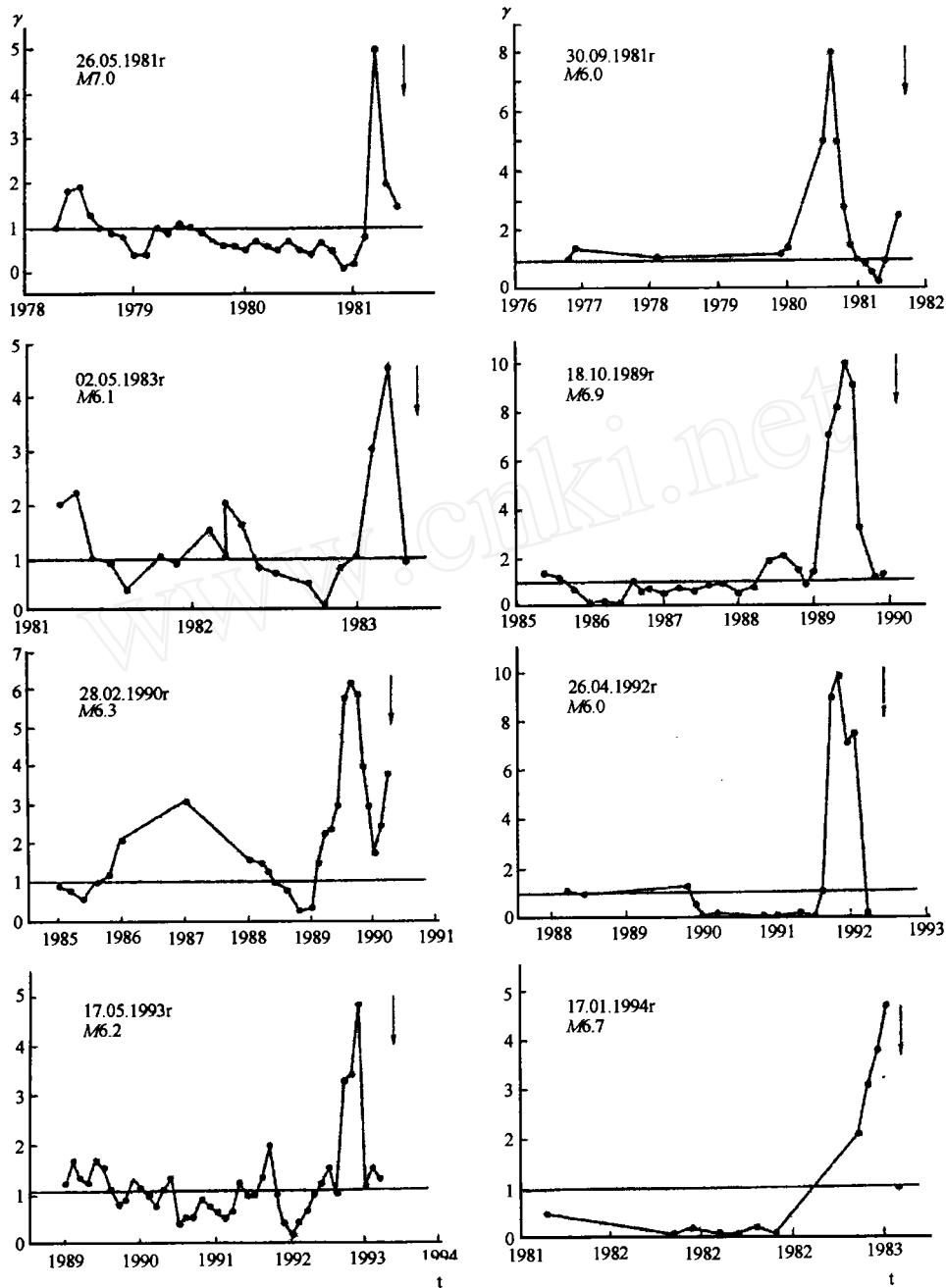


图 7 在 1980 至 1994 年期间一系列大地震发生时 参量的时间变化 (箭头指示地震的开始时刻)

数据之比 的图形 (对于所有三组序列的周期负载过程)。横坐标表示作用于样品的静负载, 前面两点对应于前两组序列, 其特点为断裂之弥散阶段, 接着便看到 参量的急剧增长, 其与断裂源阶段的起始相一致。

于是, 作为本工作的结果可以提出如下的设想。

(1) 材料中断裂源的出现能显著影响负载微弱变化下它的声发射响应曲线。

(2) 在微弱周期负载作用下对样品声发射响应所作的分析, 能够确定断裂的现行阶段 (即断裂源阶段或是弥散阶段), 这里不用显著增加静负载就可确定断裂源的存在。

(3) 当构件的材料中存在断裂源时, 很小的周期性负载就可推动断裂的发展。有意义的是可以用人为方法造成在十分短的时间内某个材料体的弛豫。

(4) 根据破裂的双阶段模式相对于自然现象尺度的不变性质, 可以推测, 上述研究

断裂源的处理方法对于天然地震的研究也是正确的。例如, 有一组中国学者在以月球在轨道上的运行 (也即潮汐互相作用) 所引起的重力微扰动期间从某些预报参量的状况这一观点出发分析了一系列大地震的震源状况。他们详细分析了这些参量的比值 在加载期间的卸载阶段的情况, 分析结果列于图 7 上。在平静时期 值的平稳特性状态在灾难性时刻到来之前的某段时间会发生剧烈变化, 由此说明可以利用其预报地震之可能。

本工作是在俄联邦物理所 () (资助号 Na 01-05-64893), 国际科技中心 (资助号 Na 1745) 以及中国的自然科学基金会 (资助号 Na 19732060, 40004002) 的支持下完成的。

(译自:

, 2003, 67, 6 c. 877-881。胡鸿翔译; 尹祥础校)

2005年减轻自然灾害研讨会在北京召开

由中国科协主办的, 由中国气象学会、中国地震学会、中国地球物理学会、中国地质学会、中国消防学会、中国海洋学会、中国消防协会等 18 个全国性学会和民政部救灾救济司等共同参加的 2005 年减轻自然灾害研讨会, 于 2005 年 3 月 1 日至 3 日在北京召开。来自与自然灾害相关学科的 109 位专家和学者参加了这次会议。会议围绕我国 2004 年度主要自然灾害的发生情况和 2005 年度的发生趋势展开了学术交流。张国民研

究员和张晓东研究员代表中国地震学会向会议提交了“2005 年中国大陆地震趋势”、“2004 年印度洋海啸的启示和建议”的报告。通过交流和讨论, 会议最终将我国自然灾害中的主要灾种 2005 年的发生趋势汇编成《2005 年减轻自然灾害白皮书》文件, 上报国家有关单位, 为政府防灾减灾提供科学依据。

(中国地震学会 郝记川)