

# 地震预报的新途径——加卸载响应比理论<sup>1)</sup>

尹祥础

(中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 北京 100080; 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036;  
email:xcyin@public.bta.net.cn)



尹祥础, 男, 1958 年毕业于清华大学工程力学研究班, 1984 年在美国圣路易大学作访问学者. 现为中国地震局分析预报中心研究员, 中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室特邀客座研究员, 中国地震局地球物理研究所博士生导师, 中国科技大学研究生院教授, 《地震学报》, 《中国地震》, 《地震》及《超级计算通讯》编委, 享受国务院“政府特殊津贴”. 连续两次主持国家自然科学基金委员会重点项目(脆性介质损伤累积统计和破坏预测非线性演化理论和非均匀脆性介质破坏的共性特征, 前兆与地震预测). 已发表学术论文一百多篇, 专著一部. 主要研究领域: 地震力学, 地震预报理论. 是新的地震预报理论——加卸载响应比理论的奠基人.

**摘要** 从力学角度看, 地震的孕育过程实质上是孕震区介质的损伤演化过程, 这个过程主要是一个力学过程. 但解决与地震预测有关的力学问题与工程中的力学问题有许多不同之处. 通常力学问题的解决需要知道其本构关系、边界条件、初始条件以及某些力学量的变化历史(如流变). 但是在地震孕育过程中它们却是未知的或者不完全知道的. 人们知道的只是地壳中某些物理量的变化. 由此提出了加卸载响应比作为一种地震预测的新途径, 并简述了加卸载响应比的基本概念、实际应用及一些最新结果.

**关键词** 地震预测, 加卸载响应比, 损伤演化

## 1 引 言

大地震是一种极其惨烈的自然灾害, 一个大地震的能量相当于千百个原子弹, 加上它的突发性, 一旦发生, 使人猝不及防, 因此常常导致巨大的人员伤亡及经济损失.

我国地处环球两大地震带(环太平洋地震带和欧亚地震带)之间(图 1), 是一个地震活动频度高、强度大、震源浅、分布广的国家(图 2). 1900 年以来, 中国死于地震的人数达 55 万之多, 占全球地震死亡人数的 53%; 20 世纪全球两次造成死亡 20 万以上的大地震都发生在我国, 一次是 1920 年宁夏海原 8.5 级地震, 死亡 23.4 万人; 另一次是 1976 年唐山 7.8 级地震, 死亡 24.2 万人. 1949 年以来, 100 多次破坏性地震袭击了 22 个省(自治区、直辖市), 造成 27 万余人丧生, 占全国各类灾害死亡人数的 54%.

因此我国是一个地震灾害极其严重的国家.

由于地震灾害的惨烈, 人类一直在寻求各种措施以减轻地震灾害, 其中地震预测是重要的一环. 长期以来, 人们梦寐以求地渴望能预测地震. 但地震预测至今仍是世界性的科学难题.

## 2 加卸载响应比理论

要对任何现象进行预测, 都必须对其机理和过程有规律性的认识. 地震预测也是如此. 钱学森先生在给笔者的信中指出: “正确地解决地震学的理论是个力学应用问题”. 笔者在多年的实践中越来越深切地体会到这一点. 地震孕育过程的物理实质就是震源区内介质的变形、损伤并导致失稳的过程, 所以地震的孕育过程就是震源区介质的损伤、演化、破坏过程. 这一过程主要是力学过程. 抓住这一点就抓住了问题的本质.

2004-08-23 收到第 1 稿, 2004-10-08 收到修改稿.

1) 国家自然科学基金委员会重点项目(NSFC19732060), 中国科学院知识创新工程信息化建设重大专项“超级计算环境建设与应用”(INF105-SCE-2-02), 中国地震联合基金(305016)及国家 973 项目(2002CB412706)资助.

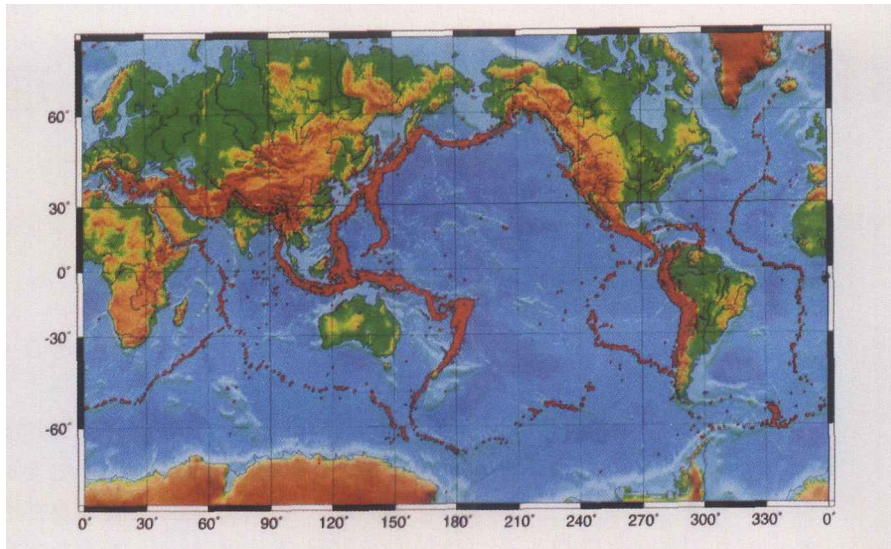


图 1 1977~1998 年全球地震分布, 明显显示全球两个主要地震带: (1) 欧亚地震带, (2) 环太平洋地震带

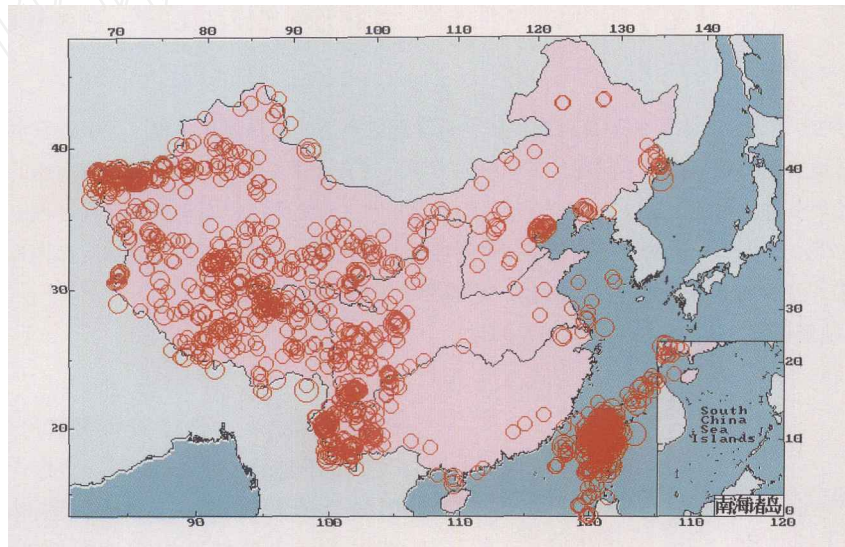


图 2 1978~2004 年全国 5.0 级以上地震分布

但是, 我们在研究地震预测时遇到的力学问题和通常的力学问题又有所不同. 通常力学问题的解决需要知道: 本构关系、边界条件、初始条件以及某些力学量的变化历史 (如流变).

但是在地震孕育过程中它们却是未知的或者不完全知道的. 我们知道的只是地壳中某些物理量的变化. 根据这一思路我们提出了一个定量地表征地震的孕育过程的参数——加卸载响应比.

众所周知, 本构曲线从宏观上比较全面地刻划了材料受力后全过程的力学性能. 如果使材料的受力单调增加, 材料将分别经历弹性变形、损伤、失稳等过程. 弹性变形的最本质特征为其可逆性, 即加载过程和卸载过程是可逆的, 因而其加载响应率和卸载响应率相同. 损伤过程的本质特征与弹性过程相

反, 具有不可逆性. 反映在本构曲线上, 其加载响应率大于卸载响应率, 这种差异反映了材料的损伤或劣化的程度.

加卸载响应比理论的出发点即基于此. 图 3 中, 设载荷增量为  $\Delta P$ , 相应地响应的增量为  $\Delta R$ , 定义

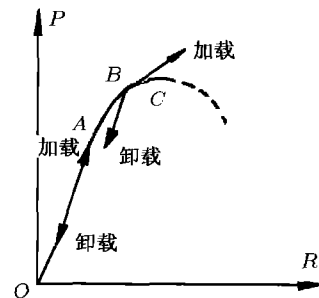


图 3 加卸载响应比概念与岩石材料本构曲线

响应率  $X$  为

$$X = \lim_{\Delta P \rightarrow 0} \frac{\Delta R}{\Delta P} \quad (1)$$

对系统进行周期性加载和卸载, 令  $X_+$  和  $X_-$  分别代表加载与卸载时段的响应率, 则加卸载响应比  $Y$  定义为

$$Y = \frac{X_+}{X_-} \quad (2)$$

对于弹性变形,  $X_+ = X_-$ , 因而  $Y = 1$ . 而对于损伤过程,  $X_+ > X_-$ ,  $Y > 1$ ; 当系统失稳时,  $Y \rightarrow \infty$ .

从上述定义不难看出, 加卸载响应比  $Y$  值可以定量地刻划岩体逼近失稳的程度. 地震及许多其它地质灾害, 如滑坡、岩爆及火山喷发等均为不同尺度岩体的失稳现象, 因此加卸载响应比理论可能为地质灾害的预测开辟出一条新的途径.

从损伤力学的角度看, 地震孕育过程就是震源区介质的损伤演化过程. 在损伤力学中, 损伤过程可以用损伤变量  $D$  来定量地刻划. 定义损伤变量  $D$  的方法有多种. 最直接的一种, 是选用弹性模量  $M$  的变化率来定义损伤变量  $D$ ,  $M$  为一四阶张量. 但对于简单的应力状态, 常选用某一标量弹性模量的变化率定义损伤变量  $D$ , 例如 Lemaitre 定义  $D$  为

$$D = \frac{E_0 - E}{E_0} = 1 - \frac{E}{E_0} \quad (3)$$

式中  $E_0$  为初始状态 (未受伤) 的模量,  $E$  为受损伤的模量. 材料未受损伤时,  $E = E_0$ ,  $D = 0$ ; 材料完全破坏时,  $E = 0$ ,  $D = 1$ .

由  $Y$  的定义, 式 (1) 及式 (2)

$$Y = \frac{X_+}{X_-} = \frac{\Delta \varepsilon_+ / \Delta \sigma_+}{\Delta \varepsilon_- / \Delta \sigma_-} = \frac{E_-}{E_+} \quad (4)$$

考虑到材料在卸载时的模量一般都近似等于初始模量, 即  $E_- = E_0$ , 而  $E_+ = E$ , 于是有

$$D = 1 - \frac{E}{E_0} = 1 - \frac{1}{Y} \quad (5)$$

当  $Y = 1$  时,  $D = 0$ , 说明材料未受损伤, 处于稳定状态; 当  $Y \rightarrow \infty$  时,  $D = 1$ , 说明材料完全损伤.

多数情况下, 当  $D = D_c < 1$  时, 材料已破坏,  $D_c$  称为临界损伤变量. 由式 (4) 可进一步导出

$$Y_c = \frac{1}{1 - D_c} \quad (6)$$

式 (6) 和式 (5) 说明加卸载响应比  $Y$  与损伤变量  $D$  之间存在着密切的关系, 加卸载响应比  $Y$  值可以从

宏观上定量地刻划孕震区岩石的损伤演化过程, 也就是地震的孕育过程.

具体应用加卸载响应比进行地震预测, 还必须解决如下 3 个问题:

(1) 如何进行加载和卸载. 我们研究的对象是整个孕震区, 其线尺度可达几百甚至上千公里. 对这样巨大的系统进行加卸载, 显然不是目前人力所能及的. 好在大自然正好为我们提供了这样的条件, 这就是日、月运行产生的引潮力. 引潮力使地球内部各处的应力不断周期性地变化, 也就是永不停息地对地球进行加卸载. 在前人研究成果的基础上, 我们编写的程序能准确计算地壳内部任一点在任一时刻由引潮力引起的应力张量.

(2) 判别加载与卸载的准则. 根据大量实验研究, 对于岩石材料, 库仑准则是最适宜的<sup>[1]</sup>. 根据库仑准则, 断层面上的库仑应力 (有效剪应力) 为

$$CFS = \tau_n + f\sigma_n \quad (7)$$

其中,  $f$ ,  $\tau_n$  和  $\sigma_n$  分别代表断层面的内摩擦系数、剪应力和正应力.  $\Delta CFS > 0$  时判断为加载, 反之,  $\Delta CFS < 0$  时判断为卸载.

(3) 如何选择响应量. 从固体力学的观点出发, 首先会想到采用应变作为响应. 但是震源处于地下深处 (几公里至几百公里), 人们至今还难以准确测量该处的应变及其它物理参数. 其实即使在室内实验中, 对破坏源处的情况进行观测也是一大难题. 近年来在岩石力学实验研究方面的巨大进展之一是声发射 (AE) 技术的提高与应用. AE 的突出优点在于: ①它是直接来自材料内部破坏时发出的信息; ②可以不用损坏试件, 不必停顿实验就可连续观测到材料内部的破坏过程, AE 已用于测定材料的断裂韧度等, 得到越来越广泛的应用. 地震学中的地震事件实质上也是一种声发射, 而且测量地震事件的时、空、强是地震学中最成熟的部分, 地震目录也是最容易得到的资料. 因此, 我们仿照岩石力学实验中的做法, 取地震能量作为响应, 定义加卸载响应比  $Y$  为

$$Y_m = \left( \sum_{i=1}^{N^+} E_i^m \right)_+ / \left( \sum_{i=1}^{N^-} E_i^m \right)_- \quad (8)$$

式中  $E$  为地震能量, “+”和“-”分别代表加载和卸载,  $m$  为一个 0~1 之间的常数,  $m = 1$  时,  $E_i^m$

是该次地震的能量;  $m = 1/2$  时,  $E_i^m$  即为地学中熟知的贝尼奥夫应变;  $m = 1/3$  及  $2/3$  时,  $E_i^m$  分别代表震源体的线尺度和面尺度;  $m = 0$  时,  $E_i^m$  即地震频次.  $N^+$  和  $N^-$  分别为所研究时段加载和卸载地震的总数.

式 (8) 与式 (2) 在形式上是不同的. 目前我们还难以选择震源区的宏观物理参量计算加卸载响应比, 因而以式 (8) 作为替代. 显然, 式 (8) 中的  $E_i^m$  属于微观统计量, 以下我们将从细观损伤力学的角度对其物理含义进行解释.

连续介质损伤力学是一种唯象理论, 损伤因子  $D$  的引入带有一定的经验性.  $D$  的定义没有唯一性, 也未必与损伤机制挂钩. 近年来, 细观损伤力学应运而生, 其任务之一是研究材料的细观损伤 (例如裂纹) 与材料宏观力学性质之间的关系. 它涉及众多裂纹组成的裂纹系的相互作用, 这个问题在断裂力学中至今尚未彻底解决. 借助于统计力学中的某些方法, 陆续发展了自恰方法、广义自恰方法、微分方法、Mori-Tanaka 方法等. 实际上脆性材料模量的减小是由于裂纹的产生, 因而许多科学家致力于研究材料模量与裂纹的关系. 按 Oda 的工作, 定义材料的柔性模量为

$$\varepsilon_{ij} = M_{ijkl} \sigma_{kl} \quad (9)$$

则材料的损伤因子  $D$  定义为柔性模量的变化

$$M_{ijkl} - M_{ijkl}^0 = (\Delta/4)(\delta_{il} F_{jk} + \delta_{jl} F_{ik} + \delta_{jk} F_{il} + \delta_{ik} F_{jl}) \quad (10)$$

其中,  $M_{ijkl}^0$  表示材料未损伤时的柔度张量,  $M_{ijkl}$  表示材料损伤后的柔度张量,  $\delta_{il}$  是 Kronecker 函数,  $\Delta$  是应变的函数.  $F_{ij}$  为组构张量, 它是定量地描述裂纹的一种工具, 其定义如下

$$F_{ij} = \frac{\pi N}{V} \int_0^\infty \int_\Omega a^3 D(n_k, a) n_i n_j d\Omega da \quad (11)$$

其中  $D$  为裂纹分布密度函数,  $n$  表示裂纹法线,  $\Omega$  表示球面方位角.

组构张量  $F_{ij}$  的计算十分复杂, 更加困难的是如何得到计算它的全部参数 (即全部裂纹的大小、位置、形状等). 但是它表明材料模量与裂纹的解析关系.

纵上所述, 利用介质对于加载与卸载响应的差异来度量介质损伤的程度或状态, 定义介质对加载的响应率与对卸载的响应率的比值为加卸载响应比

(load-unload response ratio—LURR)<sup>[2~6]</sup>. 当介质处于未损伤状态 (理想弹性状态) 时  $LURR=1$ ; 当介质发生损伤后  $LURR>1$ , 随着损伤程度的增大,  $LURR$  也增大, 所以  $LURR$  可以看成是在这种特殊条件下的一种可测量的损伤变量.

利用它作为地震前兆, 用已发生的上百例地震资料, 对这一设想进行检验, 80% 以上的震例效果很好<sup>[5,6]</sup>. 图 4 是一组典型的例子.

同时我们进行了多次岩石破坏的声发射实验研

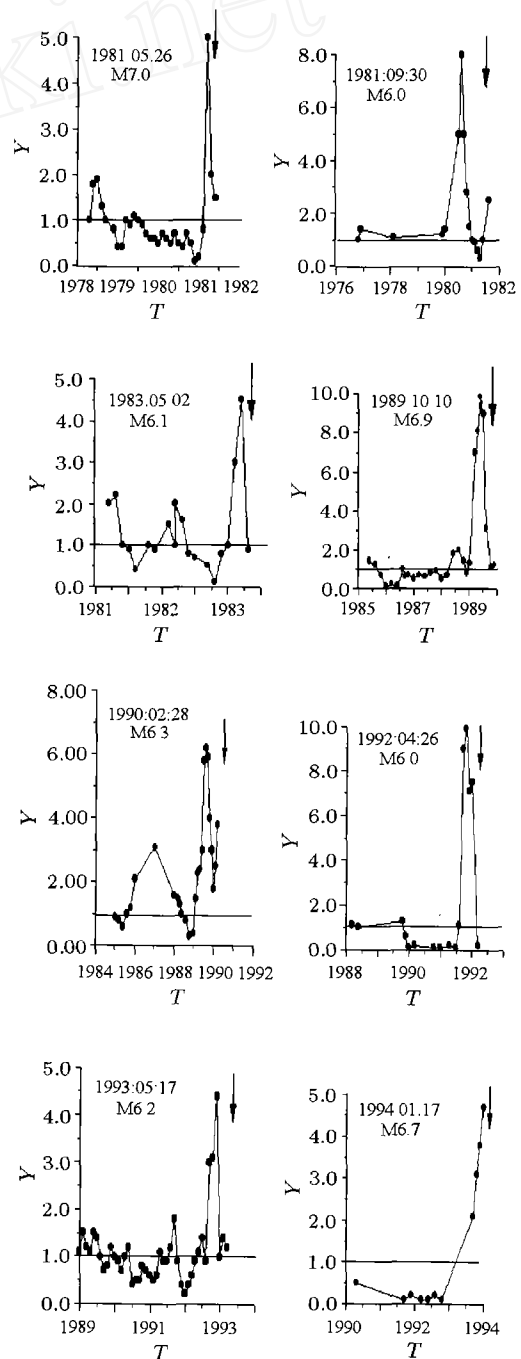


图 4 1980~1994 年美国南加州地震前加卸载响应比的变化

究 [7,8]。声发射是研究脆性材料损伤演化的有力工具，它能够连续、实时、无损地监测脆性物体内部微裂纹的产生与扩展时所发射的应力波，从而反映出岩石试件内每一个损伤（微裂纹）发生的时间、地点、强度、方向、及裂纹面间的相对位移，这是声发射方法独有的优势。实验中采用中尺度试件 (360 mm×300 mm×20 mm)。为了模拟地下岩石的复杂受力过程，采用双向压缩加载方式，从而得到三向应力状态。轴向采用循环载荷，以模拟潮汐力对地球进行的加载和卸载 (图 5)。

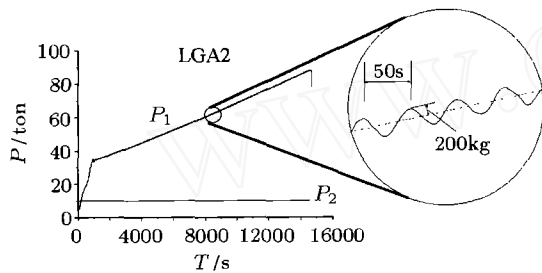


图 5 花岗岩试件的加载曲线

实验过程中，记录到大量的声发射事件 (达上百万个)，包括这些事件的发生地点、发生时间、能量、波幅、上升时间、波形等。实验结果进一步证实了加卸载响应比 (LURR)：在低应力下加卸载响应比 (LURR) 在 1 上下波动，在试件破坏前夕加卸载响应比急剧升高 (图 6)。

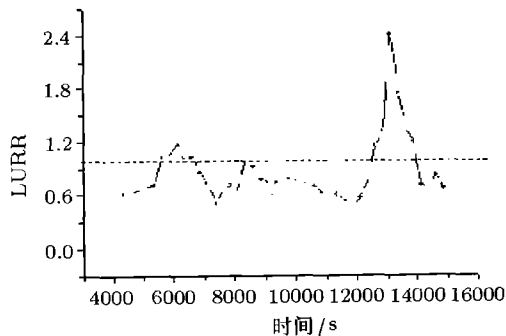


图 6 花岗岩试件的 LURR 随时间的变化曲线

澳大利亚的科学家用数值模拟方法也证实了加卸载响应比理论的正确性 (图 7)<sup>[9]</sup>。

### 3 LURR 在地震预报中的应用

加卸载响应比用于地震预测的实践也取得了较好的效果，不仅成功地预测过一些国内的地震 (中期

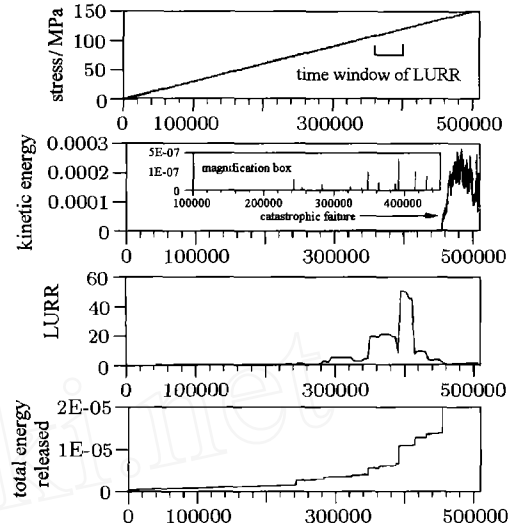


图 7 用 SLM 模型模拟的 LURR 变化规律

预测)，还成功地预测过一些国外的地震 (美国，日本，土耳其等)<sup>[6,7,10~12]</sup>。图 8 是用加卸载响应比预测北京地区地震的情况。在所研究的时段内，预测的准确率高达 80%。这与北京地区地震观测的水平有密切关系。

首都圈地区的响应比与  $M_L 4.5$  以上地震 (2002 年 12 月 26 日止)

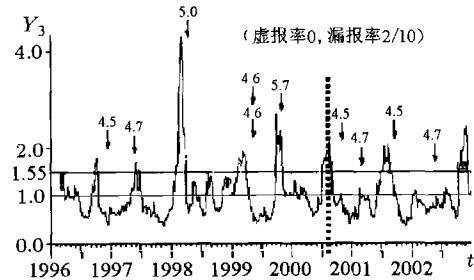


图 8 加卸载响应比预测北京地区地震

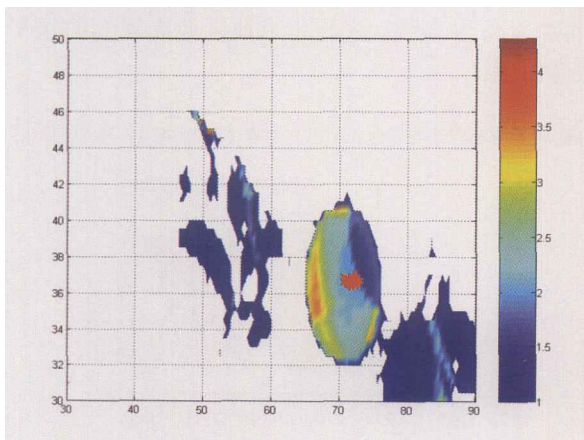
(箭头处表示发生地震，箭头上方的数字表示该地震的里氏震级)

以下举几个近期的例子：

例 1，2003 年 3 月 20 日海湾战争开始以后，美英联军对伊拉克进行了大规模的轰炸，这会诱发伊拉克及邻近地区发生破坏性地震吗？2003 年 4 月 5 日，我们撰写了短文“猛烈轰炸会诱发伊拉克地震吗？”(此文分别发表在两种内部刊物上：1. 尹祥础，张晖辉，余怀忠，猛烈轰炸会诱发伊拉克地震吗？震情研究，2003 (2)：96~99；2. 尹祥础，张晖辉，余怀忠，加卸载响应比计算程序的新进展。超级计算通讯，2003，创刊号：10~11)。从加卸载响应比理论的角度对此进行了初步的分析研究。根据研究结果，我们预测：“在以  $33.5^{\circ}N, 43.5^{\circ}E$  为圆心，半径为 600 km 的区域内 (包括伊拉克及其邻国

地区), 目前 LURR 远大于 1, 说明其地壳正处于不稳定状态, 对外界干扰敏感, 猛烈的轰炸可能导致破坏性地震的发生, 时间大致在几个月至 1~2 年内”。2003 年 5 月 1 日, 在我们预测区域——土耳其宾格尔发生里氏 M6.4 地震, 死亡一百多人。上述结果还曾在中科院力学所“创新论坛”(2003 年 4 月 15 日) 及中科院研究生院(2003 年 4 月 17 日) 进行过学术交流。

例 2, 2004 年 3 月我们作出了 2002 年至 2003 年欧亚地震带的 LURR 时空扫描结果(图 9)。据此我们预测: “图中阿富汗及其邻国的加卸载响应比持续为高值, 所以该地区未来 1~2 年内发生大地震的可能性很大”。有关结果发表在 2004 年 3 月出版的《超级计算通讯》Vol 2, No.1 上。2004 年 4 月 6 日就在预测区内(Hindu Kush Region, Afgha, Lat=36.59°, Lon=70.85°) 发生 6.8 级强烈地震。在预测区内还可能再发生强烈地震。



2002.1.1~2003.12.31,0.5/0.5,0.0-9.0, $R=200$ ,  $Y/Y_c > 1$

图 9 2002.1~2003.12 期间欧亚地震带的 LURR 空间扫描异常区

例 3, 图 10 是从 2003 年 7 月 1 日~2004 年 6 月 30 日的中国大陆的 LURR 空间扫描, 是 2004 年 9 月 1 日在中国科学院计算机网络信息中心超级计算机中心深腾 6800(全球计算机 500 强中排名 14) 上计算得到的结果。此结果 2004 年 9 月 11 日在中科院计算机网络信息中心超级计算中心“深腾 6800 应用成果交流会”上报告。图 10 中最引人注目的 LURR 异常区在广东阳江。报告之后的第 6 天(2004 年 9 月 17 日 2 时 31 分); 就在广东阳江发生了 M4.9 级地震。该地震虽然震级不大, 但是因为震中地处珠江三角洲, 又毗邻港澳, 而且与未来的核电站选址有密切关系, 所以受到广东省领导及有关中央部门的高度重视。这次阳江地震预测的时、空、强三要素

完全正确(我们预测的震级为 M5~M6 级, 实际震级为 M4.9, 只差 0.1 级, 这在震级测定的误差之内)。这次预测成功又为 LURR 再添一彩。

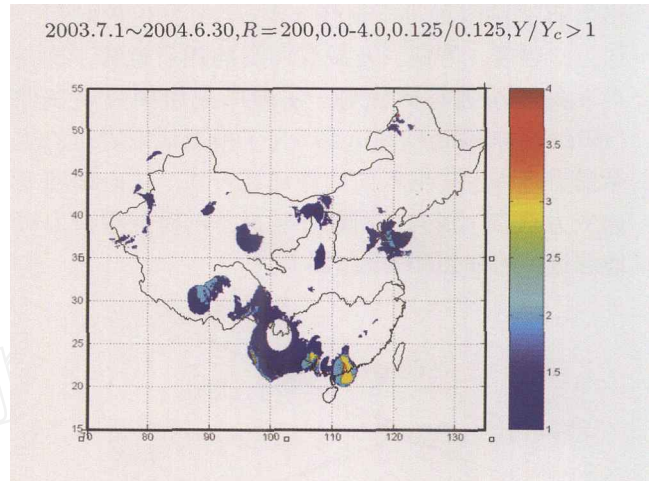


图 10 2003 年 7 月 1 日至 2004 年 6 月 30 日的中国大陆的 LURR 空间扫描

注: 2004 年 9 月 1 日计算, 2004 年 9 月 11 日在中科院计算机网络信息中心超级计算中心“深腾 6800 应用成果交流会”上报告。

## 4 展望

加卸载响应比方法还可能用于水库地震的预测和矿山地震的预测<sup>[13,14]</sup> 以及其它地质灾害的预测<sup>[15]</sup>, 以至于大型工程结构的健康检测。

加卸载响应比方法虽然取得一些成果, 但是还有许多问题没有解决, 其预测精度远不能满足社会的要求。它涉及在高温高压条件下, 固液气多相非均匀脆性介质的损伤演化问题<sup>[16~19]</sup>。这个课题的进展将会有助于地震预报科学的进步。在这个领域里力学工作者是大有可为的。

## 参考文献

- 1 尹祥础. 固体力学. 地震出版社, 1985 (Yin Xiangchu. Solid Mechanics. Beijing: Seismological Press, 1985 (in Chinese))
- 2 尹祥础. 地震预测新途径的探索. 中国地震, 1987, 3(1): 1~7 (Yin Xiangchu. Exploring new approach to earthquake prediction. *Earthquake Research in China*, 1987, 3(1): 1~7 (in Chinese))
- 3 尹祥础, 尹灿. 非线性系统的失稳前兆与地震预测. 中国科学, 1991 (5): 512~518 (Yin Xiangchu, Yin Can. The precursor of instability for nonlinear systems and its application to earthquake prediction. *Science in China*, 1991 (5): 512~518 (in Chinese))
- 4 Иин Ксянчу. Новый подход к прогнозу землетрясений. ПРИБОДА, 1993 (1): 21~27 (Yin Xiangchu. *Russia's Nature*, 1993 (1): 21~27 (in Russian))
- 5 Yin Xiangchu, Yin Can, Chen Xuezhong. The precursor of

- instability for nonlinear system and its application to earthquake prediction—the load-unload response ratio (LURR) theory. In: Naman WI, Gabrelov AM, eds. *Non-linear dynamics and Predictability of Geophysical Phenomena*. AGU Geophysical Monograph, 1994, 83: 55~60
- 6 Yin Xiangchu, Chen Xuezhong, Song Zhiping, et al. A new approach to earthquake prediction—the load/unload response ratio (LURR) theory. *Pure and Applied Geophysics*, 1995, 145(3/4): 701~715
- 7 Yin Xiangchu, Wang Yucang, Pang Keyin, et al. Development of a new approach to earthquake prediction—load/unload response ratio (LURR) theory. *Pure Appl Geophys*, 2000, 157: 2365~2383
- 8 Куксенко ВС, Ин Ксян-Чу. Влияние слабых механических воздействий на поведение очага разрушения. *Известия Академии Наук Серия Физическая*, 2003, 67(6): 877~881
- 9 Mora P, Wang Y, Yin C, et al. Simulation of load-unload response ratio and critical sensitivity in the lattice solid model. *Pure Appl Geophys*, 2002, 159: 2525~2536
- 10 王海涛, 彭克银, 张永仙等. 新疆伽师强震群过程中加卸载响应比变化特征. *科学通报*, 1998: 1109~1111 (Wang Haitao, Peng Keyin, Zhang Yongxian, et al. Characters of variation of LURR during the earthquake sequence of Xinjiang. *Chinese Sciences Bulletin*, 1998, 43(20): 1752~1755 (in Chinese))
- 11 Yin XC, Mora P, Peng KY, et al. Load-unload response ratio and accelerating moment/energy release. Critical region scaling and earthquake prediction. *Pure Appl Geophys*, 2002, 159: 2511~2524
- 12 尹祥础, 陈学忠, 宋志平等. 关东等地区加卸载响应比的时间变化及其预测意义. *中国地震*, 1996, 12(3): 31~335 (Yin Xiangchu, Chen Xuezhong, Song Zhiping, et al. The temporal variation of LURR in Kanto and other regions in Japan and its application to earthquake prediction. *Earthquake Research in China*, 1996(10): 381~385 (in Chinese))
- 13 陈学忠, 尹祥础. 水库地震主震前加卸载响应比的变化特征. *中国地震*, 1995, 11(4): 361~367 (Chen Xuezhong, Yin Xiangchu. Application of the theory of load/unload response ratio (LURR) to prediction of reservoir-induced earthquakes. *Earthquake Research in China*, 1995, 11(4): 361~367 (in Chinese))
- 14 尹祥础, 尹迅飞, 余怀忠等. 加卸载响应比理论用于矿震预测的初步研究. *地震*, 2004(1) (Yin Xiangchu, Yin Xunfei, Yu Huaizhong, et al. A primary study of application to mining earthquake prediction in terms of the theory of Theory of Load/Unload Response Ratio (LURR). *Earthquake*, 2004(1) (in Chinese))
- 15 许强, 黄润秋. 用加卸载响应比理论探讨斜坡失稳前兆. *中国地质灾害与防治学报*, 1995, 6(2): 22~31 (Xu Qiang, Huang Runqiu. A theoretical study of the slope instability using the theory of load/unload response ratio (LURR). *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 1995, 6(2): 22~31 (in Chinese))
- 16 Bai YL, Lu CS, Ke FJ, et al. Evolution induced catastrophe. *Phys Lett*, 1994 (A185): 196~199
- 17 Li HL, Bai YL, Xia MF, et al. Damige localization as a possible precursor of earthquake rupture. *PAGEOPH*, 2000, 157: 1929~1943
- 18 Wei Yujie, Xia Mengfen, Ke Fujiu, et al. Evolution induced catastrophe and its predictability. *PAGEOPH*, 2000, 157: 1945~1957
- 19 Xia MF, Ke FJ, Bai YL. Evolution induced catastrophe in a nonlinear model. *Nonlinear Dynamics*, 2000, 22: 205~224
- 20 Yin Xiangchu, Yu Huaizhong, Victor Kukshenko, et al. Load-unload response ratio (LURR), accelerating energy release (AER) and state vector evolution as precursors to failure of rock specimens. *Pure Appl Geophys*, 2004, 161 (11/12)

## A NEW APPROACH TO EARTHQUAKE PREDICTION—LOAD/UNLOAD RESPONSE RATIO (LURR) THEORY

YIN Xiangchu

(State Key Laboratory for Non-linear Mechanics (LNM), Institute of Mechanics, CAS, Beijing 100080, China;

Institute of Earthquake Prediction, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

email:xcyin@public.bta.net.cn)

**Abstract** From the viewpoint of mechanics, the essence of seismogenic process is the damage evolution of the focal media, so it is mainly a mechanical process. But the earthquake prediction is different from other mechanics problems in engineering. The constitutive law, boundary condition, initial condition and the history of some mechanics quantities (such as rheology) must be known in a resolvable mechanics problem in engineering. But in earthquake generation they are unknown or almost unknown, and only the variation of some physical quantities in the earth crust can be measured. From this consideration, the concept of load/unload response ratio (LURR) was proposed as a new approach to earthquake prediction. In this paper the basic concepts, case-examination and some new results of LURR are introduced.

**Key words** earthquake prediction, load/unload response ratio (LURR), damage evolution