

# 美国西部地区加卸载响应比的 时空演化及地震活动性分析<sup>\*</sup>

张浪平<sup>1,2</sup>, 尹祥础<sup>1,3</sup>, 梁乃刚<sup>1</sup>

(1. 中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 北京 100190;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100190; 3. 中国地震局  
地震预测研究所, 北京 100036)

**摘要:**美国西部地区位于环太平洋地震带, 该地震带是地球上地震活动最为强烈的地带, 为了研究该地区的地震活动性, 对该地区进行了加卸载响应比的时空扫描, 考察了该地区加卸载响应比异常区域的时空演化; 并用 2001—2006 年的扫描结果与次年实际发生的 5 级以上地震进行对比, 发现绝大部分的强震都发生在前一年的预测区域内。根据加卸载响应比的时空演化和该地区的最新扫描结果, 对未来地震活动性进行了分析。

**关键词:**加卸载响应比(LURR); 时空扫描; 地震活动性; 美国西部地区

**中图分类号:**P315.7      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-3274(2008)04-0029-10

## 引言

地震的孕育过程是极其复杂的, 从力学角度看, 其物理实质是震源区介质的损伤、失稳和破坏。尹祥础在地震力学、损伤力学、非线性科学等学科的基础上提出了加卸载响应比理论(LURR)<sup>[1]、[2]</sup>。该理论不仅可以应用于地震预测, 还可能应用于预测其他的地质灾害(滑坡、矿震、岩爆、水库地震等)。经过多年的地震预测实践, 加卸载响应比理论得到了比较广泛的研究和应用, 并不断取得新的进展。应用加卸载响应比作为地震前兆判定指标, 对上百例地震资料进行检验, 80%以上的检验效果良好<sup>[2~5]</sup>。最近 4 年对中国大陆地区做出的年度预测取得了良好的预测效果, 除去发生在地震资料匮乏不能计算加卸载响应比的地区的 5 级以上地震, 2004 年中国大陆地区发生的 5 级以上地震共 17 个, 其中 15 个发生在加卸载响应比的异常区域<sup>[6]</sup>; 2005 年中国大陆地区发生的 5 级以上地震共 13 个, 其中 12 个发生在加卸载响应比的异常区域<sup>[7]</sup>; 2006 年中国大陆地区发生的 5 级以上地震共 9 个, 其中 8 个发生在加卸载响应比的异常区域<sup>[8]</sup>; 2007 年中国大陆地区发生 5 级以上地震共 12 个全部发生在加卸载响应比的异常地区<sup>[9]</sup>。

美国西部地区地处环太平洋地震带, 环太平洋地震带是地球上地震活动最为强烈的地

\* 收稿日期: 2008-01-28; 修改回日期: 2008-04-18

基金项目: 国家 973 项目(2004CB418406), 国家自然科学基金项目(10721202, 10572140)

作者简介: 张浪平(1982-), 男, 湖南涟源人, 2006 年在读博士研究生, 主要从事地震力学和地震预测等研究。

带,全世界约 80% 的地震都集中在这条地震带上。对美国西部地区的地震活动性,前人进行了一系列的研究:尹祥础等研究了美国南加州地区 1980—1994 年中强度地震前加卸载响应比的变化情况,在所研究的地震发生之前加卸载响应比均出现了明显的异常变化<sup>[10]</sup>。张永仙等将美国南加利福尼亚州分成 11 个区域,利用该地区的断层机制解和应力场等数据,对发生在该地区 1980—2001 年 6.5 级以上的强烈地震进行了研究,结果发现该地区 6 个强烈地震中的 5 个在地震前 1~2 年时间内加卸载响应比出现了异常变化<sup>[11]、[12]</sup>。张晖辉等为了研究加卸载响应比理论是否适用于不同地质条件的地震预测,对美国西部地区(圣安德烈斯断层带及其周围地区)进行了加卸载响应比的时空扫描,得出了加卸载响应比具有普适性的结论<sup>[13]、[14]</sup>。张永仙等还用态矢量方法对 1980—2005 年发生在美国西部的 6.5 级以上地震进行了研究,发现在地震发生之前,态矢量参数会出现明显异常<sup>[15]</sup>。

为了研究美国西部地区的未来地震活动性,将该地区进行加卸载响应比的时空扫描,考察其加卸载响应比异常区域的时空演化情况,并与已经发生的 5 级以上地震进行对比,考察预测结果与实际发生的地震是否相吻合。最末根据该地区加卸载响应比的时空演化与最新扫描结果,对该地区未来的地震活动性进行了分析。

## 1 LURR 扫描的时空尺度

加卸载响应比的空间尺度就是使加卸载响应比值最高的临界区半径的尺度。尹祥础等<sup>[16~18]</sup>通过的震例研究和地震预测提出了不同震级地震( $M$ )及空间尺度(半径  $R$ )之间的关系为:

$$\text{Log}R(\text{km}) = 0.087 + 0.34M \quad (1)$$

加卸载响应比的时间尺度就是地震的孕育时间,对应不同的震级用不同的计算时间窗,  $T_w$  为时间窗的长度,根据研究张晖辉等<sup>[19]</sup>提出对于不同的震级,  $T_w$  的取值不同,如表 1。

以 1989 年 10 月发生在南加州的 6.9 级地震为例,图 1 是该地震发生前加卸载响应比随时间变化的典型曲线,在地震孕育早期,加卸载响应比  $Y$  在 1 附近波动,之后  $Y$  较快地上升至峰值,然后迅速回落,随之发生地震。 $Y$  从 1 附近波动快速上升至峰值的时段称为  $T_1$ ,从峰值到发震时刻为  $T_2$ ,  $T = T_1 + T_2$  代表整个加卸载响应比  $Y$  的异常时段。图 1 说明,如果某地区的  $Y$  值在  $t$  时刻为低值,仅仅根据这一点尚无法判定该地区的发震可能性。如果该地区处于图中的  $T_{F1}$  时段,则是安全的;但如果处于  $T_{B1}$  时段,则该地区“危在旦夕”,可能很快就要发生强烈地震。再者,如果某地区的  $Y$  值在  $t$  时刻为高值,仍需要判断该时刻是在峰值点之前还是之后( $T_{F2}$  还是  $T_{B2}$ ),才能更准确地预测未来地震的发震时刻。也就是说确定峰值点之后,地震将在峰值点之后的  $T_2$  时刻发生。张晖辉等对加卸载响应比异常的时间尺度进行了统计研究<sup>[20]</sup>,研究表明加卸载响应比异常的时间尺度( $T$ ,  $T_2$ )跟发震震级( $M$ )具有如下的关系:

$$T = 80(1 - 2.5 \times 10^{-0.09M}) \quad (2)$$

$$T_2 = 60(1 - 2.3 \times 10^{-0.08M}) \quad (3)$$

在地震预测实践中,主要根据式(3)来考察未来地震的发震时间,  $T_2$  的取值见表 1。所以要预测某地区未来地震的发震时刻,就必须研究整个孕震期间加卸载响应比的演化过程,只考察一个时间窗的加卸载响应比的空间扫描结果,不足以判定未来的地震趋势。

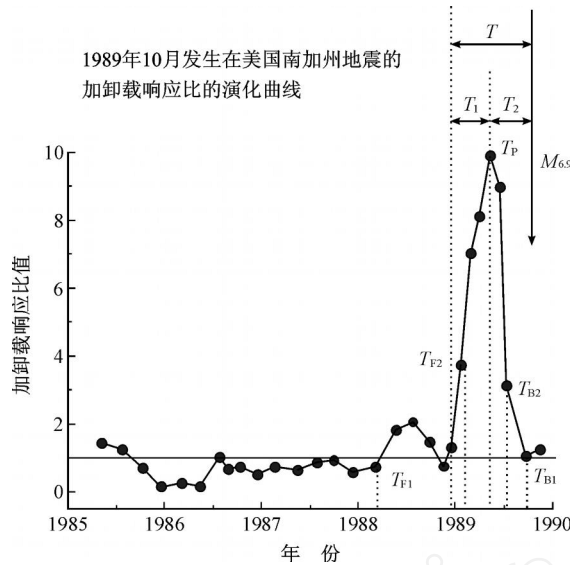


图 1 典型强震的加卸载响应比曲线

## 2 美国西部地区 LURR 的时空扫描

首先给出美国西部从 1930 年以来发生的 5 级以上地震的  $M-t$  图及震中分布图(图 2)，然后将美国西部地区按照  $2^\circ \times 2^\circ$  进行区域划分<sup>[20]</sup>，根据每个子区域内发生的主要强震的震源机制解确定出该子区域的主断层参数，再根据日、月引潮力所引起的库仑应力的变化判断出每个地震是处于加载阶段还是卸载阶段<sup>[21], [22]</sup>。再根据加卸载响应比的空间尺度(半径为  $R$  的圆形区域)以及与之相对应的时间窗长来计算加卸载响应比的扫描结果(表 1)，以 0.25 为空间滑移步长、1 个月为时间滑移步长，计算中取震级范围 0.0 ~ 4.0，扫描半径分别用 100 km、200 km、300 km。在文中只给出取扫描半径  $R = 100$  km 时从 2005 年 4 月至 2007 年 10 月每隔两个月的扫描结果(图 3)。

表 1  $T_w$ 、 $T_2$  与震级的关系

目标震级	圆形空间窗半径 $R$ / km	$T_w$ / 月	$T_2$ / 月
5	100	15	$5 \pm 2$
6	200	18	$14 \pm 4$
7	300	24	$22 \pm 5$

再根据日、月引潮力所引起的库仑应力的变化判断出每个地震是处于加载阶段还是卸载阶段<sup>[21], [22]</sup>。再根据加卸载响应比的空间尺度(半径为  $R$  的圆形区域)以及与之相对应的时间窗长来计算加卸载响应比

的扫描结果(表 1)，以 0.25 为空间滑移步长、1 个月为时间滑移步长，计算中取震级范围 0.0 ~ 4.0，扫描半径分别用 100 km、200 km、300 km。在文中只给出取扫描半径  $R = 100$  km 时从 2005 年 4 月至 2007 年 10 月每隔两个月的扫描结果(图 3)。

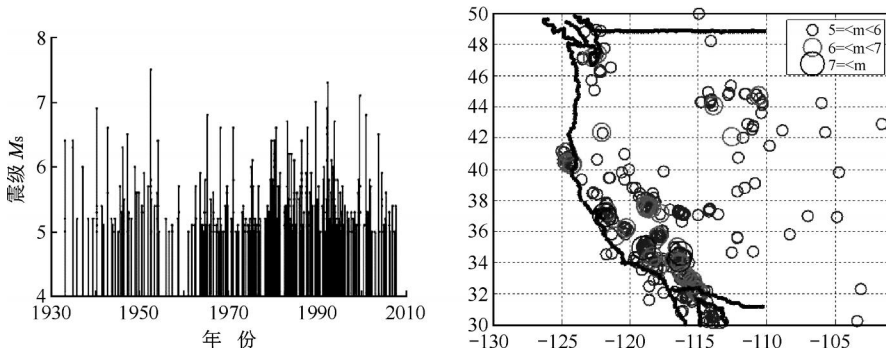


图 2 美国西部 1930 年以来发生的 5 级以上地震的  $M-t$  图及震中分布图

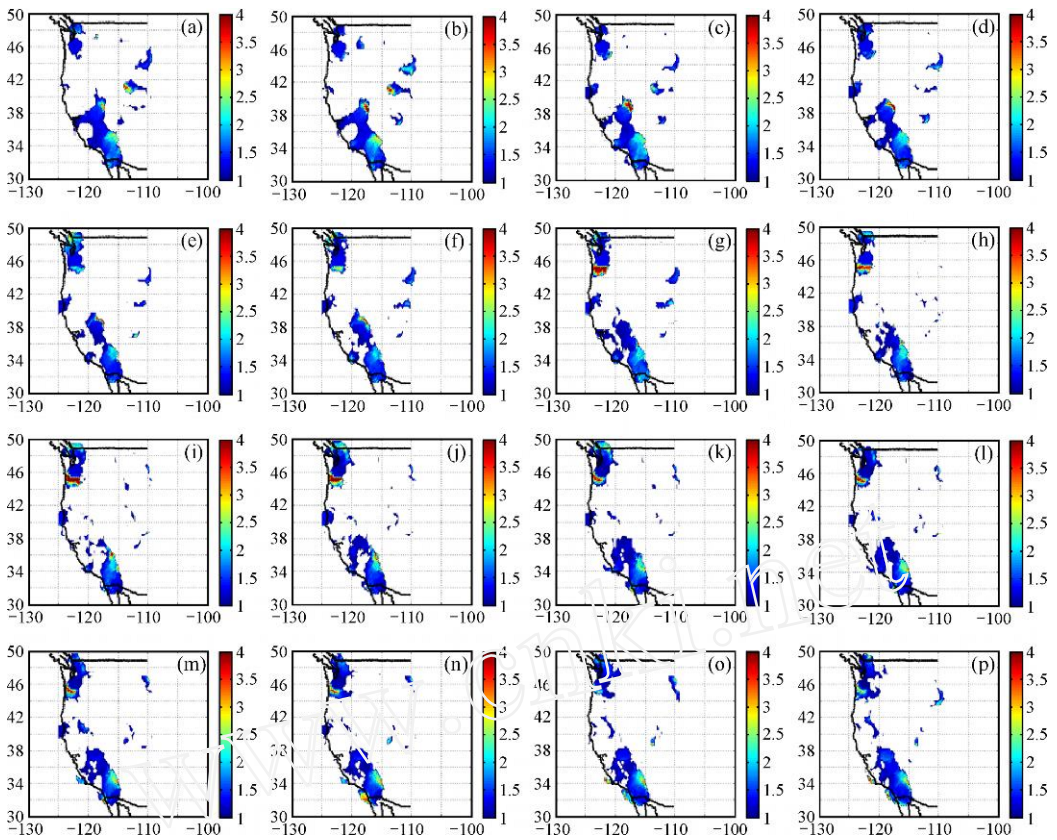


图 3 美国西部的加卸载响应比异常区域时空演化

对应的计算时间窗口分别为: (a) 2004.02.01 ~ 2005.04.30; (b) 2004.04.01 ~ 2005.06.30; (c) 2004.06.01 ~ 2005.08.31; (d) 2004.08.01 ~ 2005.10.31; (e) 2004.10.01 ~ 2005.12.31; (f) 2004.12.01 ~ 2006.02.28; (g) 2005.02.01 ~ 2006.04.30; (h) 2005.04.01 ~ 2006.06.30; (i) 2005.06.01 ~ 2006.08.31; (j) 2005.08.01 ~ 2006.10.31; (k) 2005.10.01 ~ 2006.12.31; (l) 2005.10.01 ~ 2007.02.28; (m) 2005.12.01 ~ 2007.04.30; (n) 2006.02.01 ~ 2007.06.30; (o) 2006.04.01 ~ 2007.08.31; (p) 2006.06.01 ~ 2007.10.31

### 3 扫描结果与实际地震对应情况

将每年 12 月的扫描结果与次年发生的实际地震进行对比, 例如把 2001 年 12 月的扫描结果与 2002 年实际发生的 5 级以上地震对比, 2002 年 12 月的扫描结果与 2003 年实际发生的 5 级以上地震对比, 依次对 2003 年、2004 年、2005 年、2006 年 12 月的扫描结果与次年的地震情况进行比较, 且分别用了扫描半径  $R = 100 \text{ km}$  和  $R = 200 \text{ km}$  的扫描结果与之比较, 分别见图 4、图 5。

本文把这个对应结果进行了统计, 见表 2。从 2002 年开始至 2007 年 10 月 31 日, 发生在美国西部的 5 级以上地震共有 23 个, 当扫描半径  $R = 100 \text{ km}$  时, 有 4 个地震发生在由于地震资料匮乏而不能计算加卸载响应比的区域, 余下 19 个地震中的 18 个发生在加卸载响应比的预测区域; 当扫描半径  $R = 200 \text{ km}$  时, 有 2 个地震发生在由于地震资料匮乏而不能计算加卸载响应比的区域, 余下 21 个地震中的 20 个发生在加卸载响应比的预测区域。

统计结果表明，加卸载响应比方法的预测效果较好。

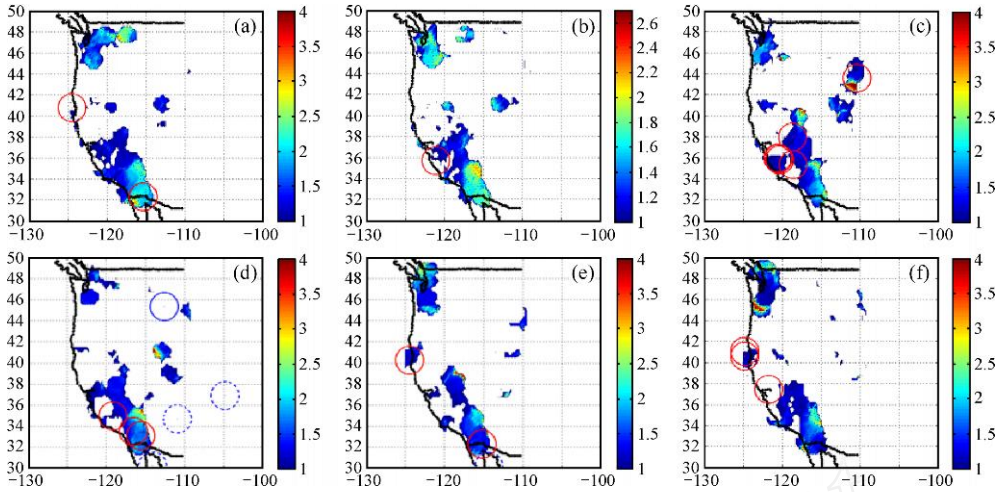


图 4  $R = 100\text{ km}$  的扫描结果与地震对应情况

(a ~ f 分别为 2001—2006 年的扫描结构与次年(2002—2007 年)实际发生 5 级以上地震的对应情况)

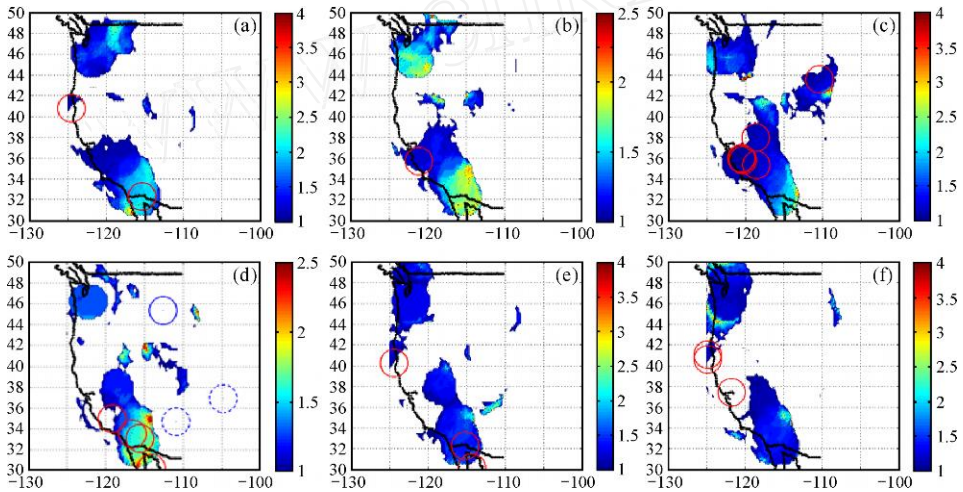


图 5  $R = 200\text{ km}$  的扫描结果与地震对应情况

(a ~ f 分别为 2001—2006 年的扫描结构与次年(2002—2007 年)实际发生 5 级以上地震的对应情况)

(图 4、图 5 中的红色圆圈表示地震发生在预测区域内，蓝色的圆圈表示虚报地震，虚线圆圈表示地震发生在由于资料匮乏区域而无法加卸载响应比值的区域)

### 4 从 LURR 时空演化分析未来地震活动性

从美国西部地区加卸载响应比时空演化(图 3)可以看出，该地区的异常区域主要集中在(45°N ~ 49°N, 120°W ~ 124°W)、(31°N ~ 36°N, 115°W ~ 118°W)、(46°N, 110°W)和(40°N, 124°W)附近的区域。

(1) 首先来分析(45°N ~ 49°N, 120°W ~ 124°W)区域，该地区从图 3(a)就开始出现异常，而且该区域加卸载响应比的值不断升高，(g) ~ (m)时段该区域一直保持很高的响应比

表 2 美国西部实际发震情况与预测结果的对比统计

序号	时间 (年-月-日 T时:分:秒)	纬度 /(°)	经度 /(°)	震级	深度 / km	半径 $R=100$ km		半径 $R=200$ km	
						预测效果	最小距离/ km	预测效果	最小距离/ km
1	2002-02-22 T19:02:41	32.31	-115.32	5.7	7	yes	9.38	yes	9.38
2	2002-06-17 T16:06:07	40.80	-124.55	5.0	18	yes	33.66	yes	17.75
3	2003-12-22 T19:12:56	35.70	-121.09	6.5	8	yes	9.85	yes	9.85
4	2004-01-07 T07:01:37	43.57	-110.38	5.0	3	yes	12.43	yes	12.43
5	2004-09-18 T23:09:17	38.00	-118.67	5.5	5	yes	7.02	yes	7.02
6	2004-09-18 T23:09:41	38.01	-118.66	5.4	10	yes	7.97	yes	7.97
7	2004-09-28 T17:09:24	35.81	-120.36	5.9	8	yes	11.97	yes	11.97
8	2004-09-29 T17:09:04	35.95	-120.50	5.0	11	yes	5.56	yes	5.56
9	2004-09-29 T22:09:54	35.38	-118.62	5.0	3	yes	17.23	yes	17.23
10	2004-09-30 T18:09:28	35.98	-120.53	5.0	10	yes	3.50	yes	3.50
11	2005-03-02 T11:03:57	34.71	-110.97	5.1	5	scarcity	355.58	scarcity	265.83
12	2005-04-16 T19:04:13	35.02	-119.17	5.1	10	yes	7.62	yes	15.66
13	2005-04-27 T00:04:59	30.25	-114.13	5.1	10	scarcity	151.20	yes	56.83
14	2005-06-12 T15:06:46	33.52	-116.57	5.2	14	yes	6.87	yes	6.87
15	2005-07-26 T04:07:36	45.34	-112.61	5.6	10	failure	109.29	failure	275.22
16	2005-08-10 T22:08:22	36.94	-104.83	5.0	5	scarcity	516.96	scarcity	416.04
17	2005-09-02 T01:09:19	33.15	-115.63	5.1	9	yes	15.77	yes	15.77
18	2006-05-01 T21:05:42	30.19	-114.33	5.1	10	scarcity	159.23	yes	38.17
19	2006-05-24 T04:05:26	32.30	-115.22	5.3	6	yes	6.24	yes	6.24
20	2006-07-19 T11:07:43	40.28	-124.43	5.0	20	yes	6.82	yes	6.82
21	2007-02-26 T12:02:54	40.64	-124.86	5.0	5	yes	15.36	yes	15.36
22	2007-06-25 T02:06:24	41.11	-124.82	5.0	3	yes	13.58	yes	13.58
23	2007-10-31 T03:10:54	37.43	-121.77	5.4	10	yes	95.32	yes	179.86

注: 预测效果栏中的 yes 表示该地震发生在加卸载响应比异常区域或其孕震区域; scarcity 表示该地震发生在由于地震资料匮乏不能计算加卸载响应比的区域; failure 表示该地震发生在加卸载响应比可计算区域但未在异常区域内。最小距离表示该地震震中位置离加卸载响应比异常数值点的最小距离, 若最小距离小于或等于扫描半径  $R$  则说明该地震发生在异常区域或其孕震区域内。

值, (o) ~ (p) 时段响应比值开始降低。这个区域从 2002—2007 年都没有发生 5 级以上地震, 因此这个地震在未来发生强震的可能性很大。可以通过考察加卸载响应比异常达到最大值的时间与未来发震的可能震级, 根据式 (3) 来确定未来发生地震的时间。

(2) 其次 (31°N ~ 36°N, 115°W ~ 118°W) 区域, 在图 3 中发现, (a) ~ (b) 时段响应比值升高, (c) 时段开始降低, 紧接着就发生了表 2 中的 17 号地震 (2005 年 9 月), (d) ~ (f) 时段该区域保持较高的响应比值, (g) 时段稍有上升, 之后连续发生了 2006 年 5 月的 18、19 号地震, (h) ~ (j) 时段该区域的响应比值升高, (k) ~ (m) 时段该区域的响应比的值基本保持不变, 只是响应比的最高值点略有往南迁移的迹象, (n) ~ (p) 时段该区域的响应比值开始回落, 同样可以根据式 (3) 确定未来的发震震级与发震时间。

(3) 在 (46°N, 110°W) 周围的区域, (a) ~ (b) 时段响应比的值升高且异常区域的面积增大, 接着就发生了 2005 年 8 月的 16 号地震, 虽然在 2004 年年底的扫描结果中 (图 3d) 这个区域并没有出现大的异常, 但是在 2005 年 3 ~ 6 月连续出现大面积的异常, 且异常值不断升高, 这就说明如果能根据时空演化对其未来的发震情况做出判断的话, 16 号地震就可能被准确预测。同样从图 3 可以看出, 该点周围的区域从 (i) 时段开始出现异常, 而且异

常区域的面积增大, (m) ~ (p) 时段的响应比值开始升高。笔者将继续对其进行跟踪扫描, 看该区域的响应比值何时达到最高值, 再根据式(3)进行预测。

(4) 在(40°N, 124°W)周围的区域, 在图3中(a) ~ (b) 时段, 出现比较小的异常区域, (c) ~ (h) 时段异常区域的面积增大, 之后就发生了2006年7月的20号地震; (i) ~ (m) 时间段异常区域的面积基本保持不变, 在2007年2月发生了21号地震; (n) ~ (p) 时段异常区域开始减少, 并逐渐消失, 在异常区域面积减小的过程中发生了2007年6月的22号地震, 而且2007年10月发生的23号地震也离这个区域不远。这表明这个区域在整个加卸载异常的过程中, 先后发生了4个5级以上地震, 也就是说该区域在不断的释放能量, 所以该区域在未来一段时间会处于相对平静的状态。

## 5 结论

本文在前人研究的基础上, 进一步对美国西部地区进行了加卸载响应比的时空扫描。文中首先给出了加卸载响应比扫描的时空尺度, 然后根据时空尺度进行了多尺度的时空扫描; 并且将2001—2006年12月的扫描结果与次年(2002—2007年, 截止到2007年10月31日)实际发生的5级以上地震进行对比, 发现有18/19( $R=100$  km的扫描结果), 20/21( $R=200$  km的扫描结果)的5级以上地震发生在前一年的加卸载响应比异常区域内, 这表明了加卸载响应比方法预测中强地震的效果良好; 最后根据该地区的加卸载响应比异常区域的时空演化, 分析了4个区域的地震活动性, 并对这些区域未来的地震活动性做出了预测。

本文中时空扫描的计算都是在中国科学院计算机网络信息中心超级计算机深腾6800上完成的, 并且得到了超级计算中心迟学斌、陆忠华、冯仰德、单桂华、徐薇、刘俊、牛铁等的帮助, 表示感谢。本文的地震目录数据来源于ANSS(Advanced National Seismic System)的网站, 断层参数解来源于哈佛大学的CMT Catalog Search网站, 在此表示感谢。

## 参考文献:

- [1] 尹祥础. 地震预测新途径的探索[J]. 中国地震, 1987, 3: 1-7.
- [2] 尹祥础, 尹灿. 非线性系统的失稳前兆与地震预测[J]. 中国科学, 1991, 21(5): 512-518.
- [3] Yin Xiangchu, Chen Xuezhong, Song Zhiping. The load/unload response ratio (LURR) theory and its application to earthquake prediction[J]. Journal of Earthquake Prediction Research, 1994, 3(3): 325-333.
- [4] Yin XiangChu, Chen XueZhong, Wang YuCang, et al. Development of a new approach to earthquake prediction: Load/unload response ratio (LURR) theory[J]. Pageoph, 2000, 157(11-12): 2365-2383.
- [5] 宋治平, 尹祥础, 陈学忠. 加卸载响应比的时空演化特征及其对地震三要素的预测意义[J]. 地震学报, 1996, 18(2): 179-186.
- [6] 尹祥础, 张晖辉, 彭克银, 等. 加卸载响应比理论的新进展及其对中国大陆未来地震趋势的预测[A]. 中国地震趋势研究(2004年度)[C]. 北京: 地震出版社, 2003. 282-285.
- [7] 尹祥础, 张晖辉, 张浪平, 等. 多时空尺度加卸载响应比扫描预测2005年中国大陆地震趋势[A]. 中国地震趋势研究(2005年度)[C]. 北京: 地震出版社, 2004. 285-292.

- [8] 尹祥础, 张晖辉, 张浪平, 等. 从加卸载响应比的变化预测中国大陆地震趋势[A]. 中国大陆强震趋势预测研究(2006年度)[C]. 北京: 地震出版社, 2005. 92-96.
- [9] 尹祥础, 张浪平, 张永仙, 等. 从加卸载响应比的时空演化预测中国大陆未来1—3年地震趋势的初步研究[A]. 中国地震趋势预测研究(2007年度)[C]. 北京: 地震出版社, 2006. 90-95.
- [10] Yin Xiangchu, Chen Xuezhong, Song Zhiping, et al. A new approach to earthquake prediction—the load/unload response ratio (LURR) Theory[J]. Pageoph, 1995, 145(3/4): 701-715.
- [11] Yongxian Zhang, Xiangchu Yin, Keyin Peng. Study on spatial and temporal variation of LURR in southern California and its implication for earthquake tendency in this region[A]. 3rd APEC Cooperation for Earthquake Simulation Workshop Proceedings[C]. Edited by A. Donnellan and Peter Mora, Goprint, Brisbane, 2003. 365-374.
- [12] Yongxian Zhang, Xiangchu Yin, Keyin Peng. Spatial and Temporal Variation of LURR and Its Implication for the Tendency of Earthquake Occurrence in Southern California[J]. Pageoph, 2004, 161(11-12): 2359-2367.
- [13] 张晖辉, 尹祥础, 梁乃刚, 等. 美国西部地区加卸载响应比的时空扫描及其地震趋势研究[J]. 地震, 2005, 25(3): 20-26.
- [14] Zhang Huihui, Yin Xiangchu, Liang Naigang. The spatial variation of LURR and seismic tendency in western United States[J]. Earthquake Research in China, 2005, 19(3): 338-345.
- [15] Yongxian Zhang, Yongjia Wu, Xiangchu Yin, et al. A Study of the Different Characteristics of the LURR and State Vector before Strong Earthquakes in Southern California since 1980[J]. Pure and Applied Geophysics, 2008, 165(3-4): 737-748.
- [16] Yin Xiangchu, Mora P, Peng K, et al. Load-unload response ratio and accelerating moment/energy release critical region scaling and earthquake prediction[J]. Pageoph, 2002, 159(9): 2511-2523.
- [17] Yin Xiangchu, Peng Keyin, Yu Huaizhong, et al. Scaling of LURR Critical Region[A]. 3rd APEC Cooperation for Earthquake Simulation Workshop Proceedings[D]. Edited by A. Donnellan and Peter Mora, Goprint, Brisbane, 2003. 359-364.
- [18] Yin Xiangchu, Zhang Langping, Zhang Huihui, et al. LURR s Twenty Years and Its Perspective, Pure Appl. Geophys, 2006, 163(11-12): 2317-2341.
- [19] 张晖辉. 非均匀脆性介质的灾变预测—加卸载响应比理论的研究与实践[D]. 北京: 中国科学院研究生院博士学位论文, 2006.
- [20] 张晖辉, 尹祥础, 梁乃刚. 中国大陆地区中强地震前加卸载响应比异常时间尺度的统计研究[J]. 中国地震, 2005, 21(4): 486-495.
- [21] Harris R A. Introduction to Special Section: Stress Triggers, Stress Shadows, and Implication for Seismic Hazard[J]. J Geophys Res, 1998, 103: 24347-24358.
- [22] Resernberg P A, Simpson R W. Response of Regional Seismicity to the Static Stress Change Produced by the Loma Preita Earthquake[J]. Science, 1992, 255: 1687-1690.



## Study on the Tempo-spatial Evolution of LURR and Seismicity in Western America

ZHANG Lang-ping<sup>1,2</sup>, YIN Xiang-chu<sup>1,3</sup>, LIANG Nai-gang<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory for Non-linear Mechanics, Institute of Mechanics, CAS, Beijing 100190;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190;

3. Institute of Earthquake Science, CEA, Beijing, 100036, China)

**Abstract:** The seismogenic process of a major earthquake is rather complicated. From the viewpoint of mechanics or physics, the essence of an earthquake is the damage, instability or failure of the focal media accompanied by a rapid release of energy. A new parameter Load/Unload Response Ratio (LURR) has been proposed as a measure of this process. Using LURR as a precursor in earthquake prediction, retrospective examination of over hundred earthquake cases has been carried out, and more than 80% of the examined ones are well in agreement with that the peak of LURR, which appeared before the main shock and the peak value is much higher than 1. By the way, in the latest 4 years (2003—2006), the earthquake prediction with LURR method is satisfied, which was conducted in Chinese mainland at the end of every year.

The western United States lies on the Circum-Pacific zone, the most active seismic zone in the globe. In order to study the seismicity in western America, the spatial scanning of Load/Unload Response Ratio in western America (30~50°N, 100~125°W) has been conducted and the evolution of the LURR anomalous region has been investigated. The comparisons of the LURR anomalous regions in 2001—2006 with the actual  $M \geq 5.0$  earthquakes are performed respectively, which shows that 18 earthquakes with  $M \geq 5.0$  occurred in LURR anomalous regions while 19 earthquakes with  $M \geq 5.0$  in LURR regions in total when the scanning radius  $R = 100$  km and 20 earthquakes in LURR anomalous regions while 21 earthquakes in LURR regions when  $R = 200$  km. The statistical results show that LURR is a good precursor in earthquake prediction.

In order to analyze the seismicity in western America, the evolution of the anomalous LURR regions is investigated. According to the evolution (figure 3 in the paper), some analyses have been carried out as below:

(1) In the rectangle zone of 45°N ~ 49°N, 120°W ~ 124°W, anomaly appears in Figure 3a, and keeps increasing, stays in high value during (g) to (m), decreases from (o) to (p), while there is no earthquakes with magnitude  $M \geq 5$  or larger occurred during 2002 to 2007, so strong earthquakes (about  $M \geq 6$ ) will probably occur in this region, and the magnitude and the probable occurrence time of earthquakes can be determined according to the

formula Eq. 3 in the paper.

(2) In the rectangle zone of  $31^{\circ}\text{N} \sim 36^{\circ}\text{N}$ ,  $115^{\circ}\text{W} \sim 118^{\circ}\text{W}$ , in Fig. 3, the anomalous LURR value rises from (a) to (b), and decreases at (c), at this time the No. 17 earthquake (Sep. 2005) occurred in table 2; from (d) to (f) this region stays in rather high value, and rises at (g) and then the No. 18, No. 19 earthquakes occurred successively; the LURR value in this region keeps increasing from (h) to (j), and stay high value from (k) to (m) without any change, but the highest LURR point of this region has moved to south slightly; it decreases from (n) to (p), so the magnitude and time of the probable earthquakes also can be determined according to the formula of  $T_2$  and  $M$  in the paper.

(3) In region around point  $46^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\text{W}$ , from (a) to (b) the anomalous area gets bigger and value rises gradually, and then No. 16 earthquake (Aug. 2005) took place. Although the scanning result in late 2004 (d) didn't appear any anomaly, some big anomalous areas with rising LURR value appeared from Mar. 2007 to Jun. 2007, indicating if we investigated the evolution of the LURR anomalous region, the No. 16 earthquake could be predicted accurately. The anomalous region around this point appears again at (i) and the anomalous area gets bigger gradually, and the value rises during (m) to (p), we will keep an eye on this region and more scanning will be carried out, if the peak value of this region is appears, the magnitude and time of the probable earthquakes will be determined in terms of Eq. 3.

(4) In region around point  $40^{\circ}\text{N}$ ,  $124^{\circ}\text{W}$ , some small anomalous region appears in (a) ~ (b), and the area gets bigger in (c) ~ (h), and then No. 20 earthquake occurred (Jul. 2006); the anomalous region keeps same in (i) ~ (m) and then No. 21 earthquake occurred (Feb. 2007); the anomalous region gets smaller and disappears at last in (n) ~ (p), in this process No. 23 earthquake (Jun. 2007) occurred in south of this region with short distance. So we think during the LURR anomalous process in this region, 4 earthquakes with magnitude M5 or larger occurred successively, in other words this region release energy successively during the anomalous process and will keep in a more peaceful state in the future 1 or 2 years.

**Key words:** Load/Unload Response Ratio (LURR); Tempo-spatial scanning; Western America; Seismicity