

门源 6.4 级地震前后加卸载响应比的异常变化

李佐唐

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 研究了门源 6.4 级地震前后加卸载响应比的异常变化. 门源地震前响应比呈明显高值异常. 门源地区响应比的动态变化反映了该区域的地震孕育过程.

关键词 青海 异常特征 加卸载响应比 门源 6.4 级地震

1 引言

近年来, 尹祥础等提出了加卸载响应比理论并将其用于地震预报研究中^[1]. 之后, 一些学者对此又进行了更深入的研究^[2~7]. 在上述研究的基础上, 作者将该方法用于西北地区, 研究了 1986 年 8 月 26 日门源 6.4 级地震前后加卸载响应比的变化.

2 门源地震的有关参数

1986 年 8 月 26 日在甘肃、青海交界的门源北发生了一次 $M_s6.4$ 地震, 随后在主震周围 100 km 范围内发生了一系列余震, 最大余震发生在 9 月 17 日, 其震源机制解如表 1 所示^[8].

表 1 1986 年 8 月 26 日门源 6.4 级地震及其强余震的震源机制解

发震时间	震中位置		震级 (M_s)	震源深度 (km)	定位 精度	节面 A			节面 B			P 轴		T 轴		N 轴		断层(节面 A)	
	北纬	东经				走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	错动性质	滑动角
08-26-17:43	37°42'	101°34'	6.4	14	A	50°	SE	45°	170°	W	63°	212.5°	55.5°	106°	10°	9.5°	33°	左正	-40.03°
08-26-18:29	37°42'	101°37'	5.0	11	A	44°	SE	43°	3°	W	55°	217°	68°	111.5°	6°	19°	22°	左正	-57.37°
09-17-04:11	37°43'	101°37'	5.7	21		65°	SE	42°	163°	SWW	83°	217°	38°	104.5°	26°	349°	31.5°	左正	-10.57°
09-17-05:52	37°43'	101°37'	5.0	10		48.5°	SE	42°	154.5°	SW	76.5°	206°	43.5°	94°	21°	346°	34°	左正	-20.50°

这次 6.4 级地震前, 1984 年 1 月 6 日在震中东北 30 km 处发生了武威九条岭 $M_s5.3$ 地震. 震前 5 个月, 即 1986 年 3 月 29 日至 3 月 30 日, 在主震西南 50 km 处(37°20'N, 101°00'E) 发生了前兆性震群, 共计小震 31 次^①. 门源地震台的记录中, 一些较大地震可识别出在三分向上的初动均为(+ + +), 震相差 S-P 均为 4 s 左右. 据此, 可以初步推断节面 A 为断层面. 由表 1 可以看出, 主震及 3 次强余震的断层面参数比较接近, 而由于震源应力场的急剧变化, 辅助面 B 的参数变化较大. 由震源机制解还可看出, 这 4 次地震均为左旋正断层错动方式, 据公式^[9]

$$\lambda' = \arcsin\left(\frac{\cos\beta_2}{\sin\beta_1}\right) \quad (1)$$

收稿日期: 1997-04-25.

作者简介: 李佐唐, 男, 1964 年 9 月生, 助研. 从事地震综合预报实用方法研究.

① 兰州地震研究所.《一九八六年门源 6.4 级地震的监测预报、科学考察和震后对策》及附件. 1987.

可以求出发震断层上盘相对于下盘的滑动角 $\lambda = -\lambda'$.

3 门源地震前后加卸载响应比的变化

3.1 计算公式

根据文献[1],在强震孕育过程中,引潮力不断地对断层起着加卸载作用,引潮力沿断层滑动方向的分量大于零时为加载,反之为卸载.加载时发生的地震称为正地震,卸载时发生的地震称为负地震.地震能量的平方根 \sqrt{E} 表征了一个地区地震活动性的强弱.正地震的 \sqrt{E} 之和与负地震的 \sqrt{E} 之和相比即为响应比,用Y表示.加卸载响应比的具体计算公式为:

$$Y = \left(\sum_{i=1}^{N+} \sqrt{E_i} \right) / \left(\sum_{j=1}^{N-} \sqrt{E_j} \right) \quad (2)$$

式中 $N+$ 为正地震个数, $N-$ 为负地震个数; E 为地震能量.正负地震随机发生时, $Y=1$,正地震明显高出负地震所携带的能量时, $Y>1$,这便是异常情况.对比岩石力学的实验结果可知,此时岩石处于高应力状态,岩石与引潮力的共振作用明显,震源的孕育过程进入非线性失稳阶段.

3.2 计算Y时各种参数的选择

计算时,首先要准确地确定地震断层面.大多数中强地震的前震和余震主要沿地震断层面展布,因此计算Y时的区域应选择椭圆形或长方形区域,并与地震断层面同向.而选择圆形正方形区域则难以反映震源孕育过程.计算区域的最大线度可参考公式^[10]

$$M_S = 3.58 \log L - 2.473 \quad (3)$$

及前兆性震群、余震的分布范围选取.由文献[4]可知,20个以上的地震样本量参与计算得到的Y值才会有较高的置信度,为此,计算区域的范围可选择 $4 \times 0.4^\circ \times 0.8^\circ$ 、 $4 \times 0.5^\circ \times 1.0^\circ$ 或 $4 \times 0.6^\circ \times 1.2^\circ$.地震序列的b值越小,出现Y高值的概率越大.当 $N=20$, $b \geq 0.6$ 时,出现 $Y > 2$ 的自然概率 $P < 16\%$, $Y \geq 6.0$ 的自然概率 $P \leq 1\%$.为保证多数情况下每组地震个数不少于20,则取时间窗为1年,滑动步长为0.5年^[3].另外,震级下限取 $M_L \geq 0.1$.

3.3 门源地区响应比异常及其与该区中强地震的关系

图1为门源地区1982年以来响应比随时间的变化曲线.计算区域为 $4 \times 0.6^\circ \times 1.2^\circ$ 的椭圆形区域,中心位于6.4级地震震中,椭圆长轴沿着发震断层方向.取1年的窗长,0.5年的滑动,最少地震个数为20.由图1可见,1982年至1983年底,该区的Y值一直小于1,1984年初开始Y大于1并迅速升高,异常持续到1985年年中,Y值降至1.3左右但并未恢复正常,此后异常进一步发展,Y值又升至2.0,1986年8月26日发生了门源6.4级主震和5.0级余震,紧接着1986年9月17日又发生了5.7级和5.0级两次强余震.1986年第4季度,Y值降到1以下,进入正常状态并持续到1989年初,1989年年中Y值再次大于1,到1990年初,Y值升至2.0,异常持续到1990年年中,1990年底恢复正常,异常恢复之后,地震并未立即发生,直到1991年10月1日,才发生了皇城5.3级地震,震中与门源主震相距20 km.此后,Y

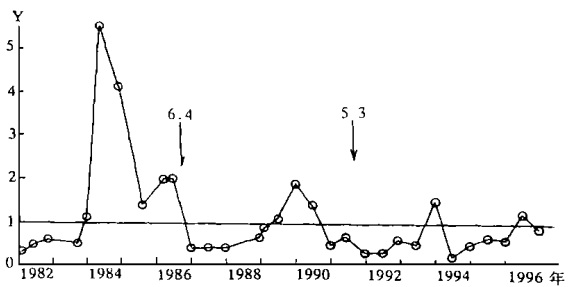


图1 加卸载响应比随时间的变化曲线

Fig. 1 Variation curve of load/unload response ratio with time.

此后,Y

值大体上处于正常状态, 仅在 1993 年底, 出现一次 Y 达到 1.5 的异常, 但持续时间很短. 此次短时间异常之后没有发生 5 级以上地震. 1995 年之后, Y 值基本处于正常状态. 响应比异常与地震之间的关系见表 2.

表 2 门源地区响应比异常与中强地震的关系

序号	起始时间	结束时间	持续时间(月)	对应地震(M_S)	震中距(km)
1	1984-01	1986-08	32	1986-08-26 门源 6.4	0
2	1989-11	1990-07	9	1991-10-01 皇城 5.3	20
3	1993-11	1994-02	3		

由表 2 可见, 门源地区的响应比异常对该区 5 级以上地震反映良好. 地震与异常的对应率为 67%, 响应比异常的持续时间越长, 震中距越小, 则震级越大.

3.4 主震及 3 次强余震响应比异常的对比分析

用主震及 3 次强余震的震源参数(见表 1)分别计算 Y 值, 以各个地震为中心, 取 $4 \times 0.6^\circ \times 1.2^\circ$ 的椭圆形区域内的地震, 以 1 年的步长和 0.5 年的滑动计算得到的各次地震的响应比变化曲线如图 2 所示. 由图 2 可以看出, 对主震和任何一个余震, 响应比 Y 的异常都是明显的, 这说明孕震过程同时有利于这 4 个地震的发生.

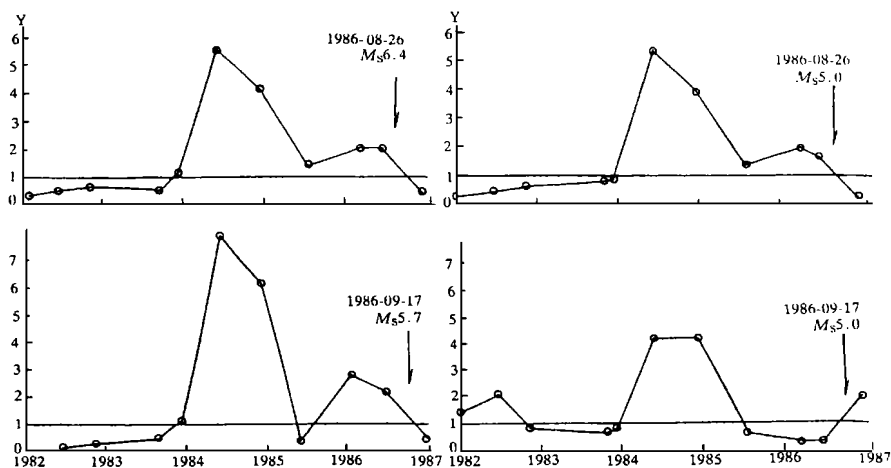


图 2 主震及其 3 次强余震的加卸载响应比变化曲线

Fig. 2 Load/unload response ratio variation curves of the main shock and strong aftershocks.

3.5 最大强余震对主震的互补性

选取半短轴和半长轴分别为 0.6° 和 1.2° 的椭圆形区域, 1 年窗长, 0.5 年滑动, 20 个地震为下限分组计算, 则对主震计算出的 Y_{1986} 随地震目录的变化而出现有趣的现象. 总目录计算出的 Y_1 为 2.1, 从目录中去掉 $M_S 5.7$ 地震, 则 $Y_2=29.0$, 再去掉 $M_S 5.0$, 则 $Y_3=27.1$, 再去掉 $M_S 4.5$, 则 $Y_4=26.3$. 可见, 主震及 $M_S 5.0$ 和 $M_S 4.5$ 两个较小强余震都发生在加载时段(图 3b~c), 而 $M_S 5.7$ 最大强余震却发生在卸载时段(图 3c).

4 结论

(1) 用引潮力作为加卸载, 用地震活动作为响应来计算响应比 Y 时, 首先要有可靠的震源

机制解,然后设法确定断层面并计算出断层错动方向.

(2) 加卸载响应比 Y 与地震序列的 b 值是统一的,它们从不同的侧面反映了地震孕育的非线性失稳过程.计算加卸载响应比时,利用以往地震的震源机制解参数,选择沿地震断层面的椭圆形或长方形区域,1 年窗长和 0.5 年滑动,地震个数下限为 20,当区域大小取 $4 \times 0.5^\circ \times 1.0^\circ$ 或 $4 \times 0.6^\circ \times 1.2^\circ$ 时,9 ~ 32 个月的异常预示着要发生 5 ~ 6 级地震.

(3) 加卸载响应比方法具有明确的物理依据和较高的中短期预报效能.门源地震前的加卸载响应比异常明显,该区的加卸载响应比异常对本区 5 级以上地震反应良好.此外,1996 年 6 月 1 日天祝 5.4 级地震之前,也曾用加卸载响应比方法提出了明确的中短期预报意见^①.

(4) 门源 6.4 级地震之后,短期内共发生了 3 次 5 级以上余震,其中最大强余震发生在主震的卸载时段,最大强余震对主震的这种互补性也在双震型地震中具有普遍性^[2].这就为最大强余震或双震型后一个地震发生时段的预报提供了新的途径.

本工作得到邵世琴研究员、毕秋菊高级工程师的帮助,所用计算机软件来源于陈学忠博士,特此致谢!

参考文献

- 1 尹祥础,等.加卸载响应比——一种新的地震预报方法.地球物理学报,1994,37(6):767~775.
- 2 陈学忠.加卸载响应比理论的应用和发展.见:国家地震局1995届毕业研究生学位论文摘要集.北京:地震出版社,1996.
- 3 陈学忠,等.以介质参数 Q^{-1} 作为响应的加卸载响应比研究.中国地震,1996,12(3):243~249.
- 4 陈棋福.加卸载响应比的自然概率分布.中国地震,1996,12(3):269.
- 5 宋治平,等.地震前兆异常迁移速率的非线性变化特征及其力学解释.地震,1996,16(4):372.
- 6 宋治平,等.加卸载响应比 Y 的时空演变特征及其对地震三要素的预测意义.地震学报,1996,18(2):179~186.
- 7 张昭栋,陈学忠,陈建民,等.井水位固体潮加卸载响应比的地震短临前兆.地震学报,1997,19(2):174~180.
- 8 徐纪人,等.1986年8月26日门源6.4级地震及其强余震的震源机制解.西北地震学报,1986,8(4):82~84.
- 9 Aki K, Richards P G 著.李钦祖,等译:定量地震学.北京:地震出版社,1987.116~117.
- 10 石绍先,等.丽江7.0级地震前地震分形异常.地震研究,1997,20(1):134.

(下转 97 页)

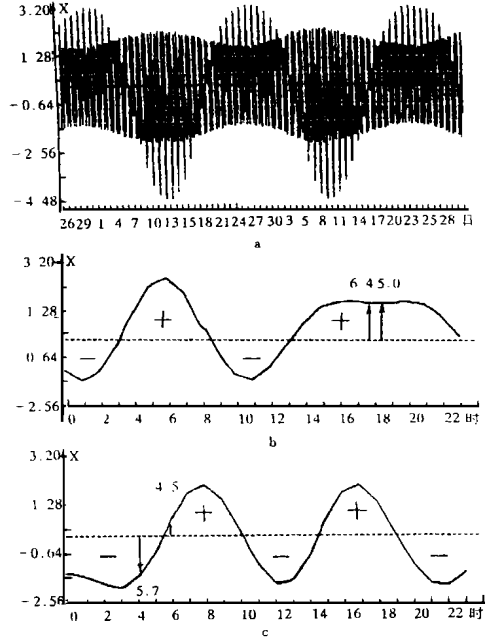


图 3 主震及强余震在固体潮响应
 时程曲线中相应位置

Fig. 3 Positions of the main shock and strong aftershocks
 in solid tide response time history.
 a 1986-08-26 ~ 10-31; b 1986-08-26; c 1986-09-17

① 国家地震局兰州地震研究所.甘肃省一九九六年地震趋势研究报告.1995.

REDUCIBLE SEISMIC INTENSITY IN THE LANZHOU AREA DUE TO THE 1920 HAIYUAN $M_{8.5}$ EARTHQUAKE

TENG Jianzhong

(*Seismological Bureau of Lanzhou City, Lanzhou 730030*)

QIN Baoyan GUO Anning

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

Effective distance to reduce seismic intensity on two sides of the main fault causing the 1920 Haiyuan $M_{8.5}$ earthquake is about 160 km. Within the distance no $M > 6.5$ earthquake will occur during the future several hundreds of years. Because Lanzhou City is 120 km away from the main fault, in the city no $M > 6.5$ earthquake will occur in a few hundreds of years. Structures and buildings in Lanzhou City were designed according to antiseismic standard of VIII degree on the intensity scale. Even though a $M_{6.5}$ earthquake will occur in future, its destruction would not be too heavy. It is a consideration in the worst case.

Key words Haiyuan $M_{8.5}$ earthquake, Lanzhou, Seismic intensity reduction

(上接 50 页)

ABNORMAL VARIATION OF THE LOAD/UNLOAD RESPONSE RATIO BEFORE AND AFTER THE MENYUAN $M_S 6.4$ EARTHQUAKE

LI Zuotang

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

Abstract

Abnormal variation of the LURR (Load/unload response ratio) before and after the Menyuan $M_S 6.4$ earthquake is studied. The abnormal variation of LURR before the earthquake is obvious. The temporal evolution of the LURR in the Menyuan area mirrors seismogenic process of the region.

Key words Qinghai, Anomalous character, Load/unload response ratio, Menyuan $M_S 6.4$ earthquake