

马茹莹,王培玲,苏维刚.青海北部及邻区地震平静对中强地震的指示意义[J].地震工程学报,2017,39(增刊):088-093.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.增刊.088

MA Ruying, WANG Peiling, SU Weigang. The Implication of Seismic Quiescence on Moderately Strong Earthquakes in Northern Qinghai and Adjacent Areas[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(Supp.): 088-093. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.Supp.088

## 青海北部及邻区地震平静对中强地震的指示意义<sup>①</sup>

马茹莹, 王培玲, 苏维刚

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

**摘要:** 初步探讨 1980—2015 年青海北部及邻区地震平静和中强地震之间的关系, 分别得到青海北部祁连地震带和柴达木地震带上中强地震的分布特征以及这两个地震带上  $M_s \geq 4.9$  地震的主要发震模式, 为今后青海北部及邻区中强地震的中短期预测提供参考。

**关键词:** 地震平静; 发震模式; 青海北部及邻区

中图分类号: P315

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2017)增刊-088-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.Supp.088

## The Implication of Seismic Quiescence on Moderately Strong Earthquakes in Northern Qinghai and Adjacent Areas

MA Ruying, WANG Peiling, SU Weigang

(Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China)

**Abstract:** Initially, this study discusses the relation between seismic quiescence and moderately strong earthquakes in northern Qinghai and its adjacent areas from 1980 to 2015. Further, we obtain the distribution characteristics of strong earthquakes in Chaidam seismic belt and Qilian seismic belt and the main seismogenic pattern of  $M_s \geq 4.9$  earthquakes in these two belts. This study provides a reference for short-term prediction of earthquakes in northern Qinghai and its adjacent areas.

**Key words:** seismic quiescence; seismogenic pattern; northern Qinghai and its adjacent areas

### 0 引言

基于地震活动性特征来预测、预报地震的方法多种多样,而在这些利用地震活动性特征来预报中强地震的前兆信息中,未来震中及其附近中小地震活动平静是重要的地震活动性前兆现象之一,它有可能提供关于地震震级、时间、震中位置等信息<sup>[1]</sup>。1969年 Kiyoo Mogi<sup>[2]</sup>对日本及其临近区域中强地震前震源区地震活动速率降低的现象进行了初步研

究。之后,许多学者曾尝试利用这种前兆平静来预报中强地震,其中不少学者用此方法成功地预报了多次中强地震的震级、时间和震中<sup>[3]</sup>。

我国对地震平静异常的发现和 research 始于 1966 年邢台地震<sup>[4-5]</sup>,辽宁省地震局将这一经验成功应用于 1975 年海城地震的预报中,之后的数十年以来,我国学者对我国一些典型震例进行了研究<sup>[6-10]</sup>。结果表明,大多数震例中的区域地震活动性增强并不

① 收稿日期:2017-05-02

基金项目:青海省地震局 2017 年地震科学基金(2017B01)

作者简介:马茹莹(1986—),女,博士,助理研究员,主要从事地震活动性和地震预报工作。E-mail:maruying09@163.com。

会一直持续至中强地震发震的时刻,而是在其之前往往会有一些明显的地震平静时段,并对其物理机制做出了初步的解释。近年来,学者们对这种中强地震前的异常平静有了更为广泛和深入的研究<sup>[11-16]</sup>,发现不同研究区内大多数中强震前均可观测到地震平静现象,并对各研究区域震前平静时长以及中强地震发震模式做了系统的研究和讨论,为这些研究区域的中强地震预报工作提供了分析依据。

青海省及其毗邻地区隶属于青藏块体东北部,处于古欧亚大陆的边缘活动带,对地壳活动反应敏感,是全国地震多发区之一。由于其地质构造背景的特殊性,地震活动水平明显高于我国其他地区。青海北部地区地震序列规律较为特殊,且前震活动较少,因此在中短期和临震预报上往往难以有较好的效果。本文将初步探讨青海北部及其邻区地震平静与中强地震的关系,希望为青海北部及邻区中强地震的中短期预测提供参考依据。

## 1 资料选取与处理

根据青海省实际地震监测能力以及地震目录的完整性<sup>[17]</sup>,选取了地震监测能力相对较高的青海省北部及邻区(34°~40°N,88°~104°E)自 1980 年以来  $M_L 3.0$  以上目录进行分析和研究,研究区域(图 1)包括祁连地震构造带和柴达木地震构造带。本文所采用目录为中国地震台网中心提供的全国地震月报目录和全国  $M_s 5.0$  以上地震目录。

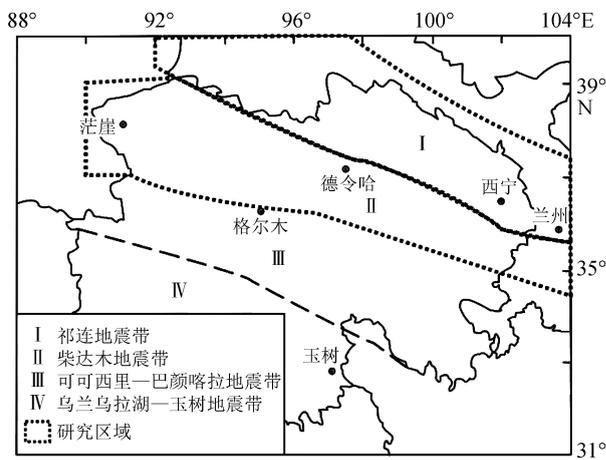


图 1 青海及邻区地震带分布及研究区域

统计结果显示(表 1),1980 年以来祁连地震带和柴达木地震带共发生  $M_L 3.0$  以上地震 1 659 次,其中 63 次为中强以上地震( $M_s \geq 4.9$ )。这相当于

在这两个地震带上每个月平均要发生约 3.95 次  $M_L 3.0$  以上地震,每年平均要发生约 1.8 次中强以上地震。

表 1 青海北部及邻区各地震带历史地震统计(1980-01-01—2015-12-31)

地震带	区域范围		地震个数	
	E/(°)	N/(°)	$M_L \geq 3.0$	$M_s \geq 4.9$
祁连地震带	92~104	36~40	623	22
柴达木地震带	90~104	34~39	1 036	41
合计			1 659	63

由于上述  $M_s \geq 4.9$  地震中一些地震时空间隔较近,构成了成组地震,为便于分析,本文将同一地震带上、发震时间间隔在三个月内的中强以上地震定义为 1 组地震。祁连地震带共记录到 18 组  $M_s \geq 4.9$  地震,柴达木地震带则记录到 19 组。

## 2 青海北部及邻区中强地震分布特征

据前人对青海及邻区中强地震序列类型的研究<sup>[18]</sup>,1970—1999 年祁连地震带和柴达木地震带共发生  $M_s \geq 5.0$  地震序列 27 次,其中主余型地震序列和孤立型地震序列共发生 21 次,分别占总数的 37% 和 41%。由此可见,这两个地震带中强地震序列前兆和余震都较少,因此在中短期和临震预报上往往难以有较好的效果。

### 2.1 祁连地震带

根据统计结果,1980 年 1 月 1 日—2015 年 12 月 31 日该地震带共发生  $M_s \geq 4.9$  地震 22 次,分布较为分散,且主要分布在祁连地震带中东段。

1980 年以来,祁连地震带  $M_s \geq 4.9$  地震发震频率约为 0.6 次/年,其中大部分中强地震(18 次,82%)主要集中在 1986—1996 年以及 2001—2003 年两个时间段内[图 2(a)]。

### 2.2 柴达木地震带

1980 年 1 月 1 日—2015 年 12 月 31 日该地震带共发生  $M_s \geq 4.9$  地震 41 次,分布较为集中,主要分布在柴达木盆地北缘断裂西南段的大柴旦—宗务隆山断裂和三湖地区、柴达木盆地南缘断裂的油沙山—茫崖断裂以及共和盆地内。

1980 年以来,柴达木地震带  $M_s \geq 4.9$  地震发震频率约为 1.2 次/年,丛集性特征较为明显,其中大部分中强地震(40 次,98%)主要集中在 1986—1987 年、1990—1997 年、2002—2004 年、2007—2009 年以及 2013—2014 年 5 个时间段内[图 2(b)]。

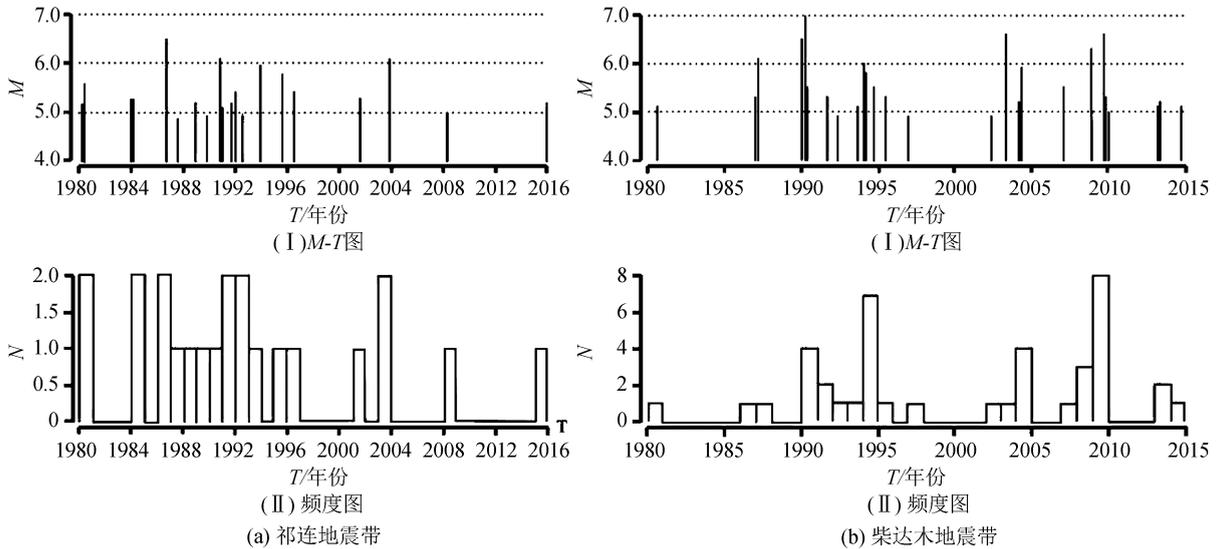


图2  $M_s \geq 4.9$ 地震  $M-T$ 图、频度图

### 3 青海北部及邻区地震平静特征

地震平静是在主震破裂之前出现的短时间地震活动性降低的现象。Wyss<sup>[19]</sup>已对这种前兆地震活动平静做了定义,即地震平静是相对于正常的地震活动背景相对减弱的一种异常变化。

由于青海北部及邻区地震频发, $M_L 3.0$ 和 $M_L 4.0$ 地震发震频度较高,因此除了分别考虑两个地震带上 $M_L \geq 3.0$ 地震平静与中强地震之间的关系外,也分别统计了两个地震带上 $M_L \geq 4.0$ 地震平静与中强地震之间的关系。

#### 3.1 祁连地震带

##### (1) $M_L 3.0$ 以上地震平静特征

以整个祁连地震带上 $M_L 3.0$ 以上地震为研究对象。1980年1月1日以来共发生过7次长时间(超过100天)的 $M_L \geq 3.0$ 地震平静,平静时间段在101~192天不等(表2)。其中有5次(71%) $M_L \geq 3.0$ 地震平静结束后两年内发生了至少一组 $M_s 4.9$ 以上中强地震。平静结束后首次发生 $M_s 4.9$ 以上中强地震的时间间隔在0~5个月间。除1989年9月21日 $M_s 4.9$ 地震在平静期结束后直接发震外,其余4组中强地震在 $M_L \geq 3.0$ 地震平静结束后有1~5个月不等的 $M_L 3.0$ 地震活跃期。

另外,这5次长时间的 $M_L \geq 3.0$ 地震平静结束后三年内,对应了本次研究的18组中强地震中的10组,约占总数的55%,且这10组中强地震优势发震时间集中在 $M_L \geq 3.0$ 地震平静结束后0~6个月内(7组,70%)。

##### (2) $M_L 4.0$ 以上地震平静特征

1980—2015年祁连地震带 $M_L \geq 4.0$ 地震的发震频率约为0.2次/月,共发生过13次超过300天的 $M_L \geq 4.0$ 地震平静,平静时间段在315~891天不等(表2)。

共有9次(69%) $M_L \geq 4.0$ 地震平静结束后两年内发生了至少一组中强地震,其中5组中强地震为平静结束后直接发震,其余4组是在 $M_L \geq 4.0$ 地震平静结束后2个月至2年内发生至少一组中强地震。

统计结果表明,这9次 $M_L \geq 4.0$ 地震平静结束后三年内对应了本次研究的18组中强地震中的13组,约占72%,后续中强地震发震优势时间段集中在0~3个月内(7组,54%)。

从上述分析结果可以看出,祁连地震带上 $M_L \geq 3.0$ 地震平静超过100天后,三年内发生 $M_s 4.9$ 以上中强地震的可能性约为55%,且优势发震时间段集中在 $M_L \geq 3.0$ 地震平静结束后0~6个月内;当 $M_L \geq 4.0$ 地震平静超过300天后,三年内发生 $M_s 4.9$ 以上中强地震的可能性约为72%,优势发震时间集中在 $M_L \geq 4.0$ 地震平静结束后0~3个月之内。由此可见,祁连地震带上 $M_L 4.0$ 以上地震平静异常对后续中强地震的预测效果要优于 $M_L 3.0$ 地震平静, $M_L \geq 4.0$ 地震平静超过300天可作为未来 $M_s 4.9$ 以上中强地震预测的重要依据之一。

#### 3.2 柴达木地震带

##### (1) $M_L 3.0$ 以上地震平静特征

1980年1月1日—2015年12月31日,柴达木

地震带上共发生过 8 次长时间(超过 100 天)的  $M_L \geq 3.0$  地震平静,平静时间段在 122~206 天不等(表 3)。

其中有 7 次(88%) $M_L \geq 3.0$  地震平静结束后两年内发生了至少一组  $M_S 4.9$  以上中强地震。平静

后首次发生  $M_S 4.9$  以上中强地震的时间间隔在 0~13 个月。除 1994 年 9 月 4 日  $M_S 5.2$  地震为平静结束后直接发震外,其余 6 组中强地震在  $M_L \geq 3.0$  地震平静结束后有 1~13 个月时间不等的  $M_L 3.0$  地震活跃期。

表 2 祁连地震带地震平静后中强地震活动情况统计

平静震级 / $M_L$	序号	平静起始时间 /(年-月)	平静时长 /天	时间间隔 /月	平静后发生的中强地震	
					发震时间	震级/ $M_S$
$\geq 3.0$	1	1989-06	101	0	1989-09-21	4.9
				1	1990-10-20	6.1
				4	1991-01-02	5.1
	2	1990-05	126	13	1991-10-01	5.2
				16	1992-01-12	5.4
				21	1992-06-21	5.0
				3	1995-08	153
	4	1997-09	109	-	-	三年内无
	5	2003-01	192	3	2003-10-25	6.1
	6	2005-05	191	28	2008-03-03	5.0
	7	2015-03	143	3	2015-11-23	5.2
				5	2016-01-21	6.4
	$\geq 4.0$	1	1980-01	424	34	1984-01-06
2		1985-07	408	0	1986-08-26	6.5
3		1987-10	338	2	1988-11-22	5.2
				0	1990-10-20	6.1
				12	1991-10-01	5.2
4		1989-09	379	15	1992-01-12	5.4
				20	1992-06-21	5.0
				0	1993-10-26	6.0
				21	1995-07-22	5.8
5		1992-09	397	0	1996-06-01	5.4
6		1995-07	315	0	-	三年内无
7		1998-03	456	-	-	三年内无
8		1999-06	437	11	2001-07-11	5.3
9	2002-01	544	3	2003-10-25	6.1	
10	2003-10	891	24	2008-03-30	5.0	
11	2008-01	364	-	-	三年内无	
12	2010-05	583	-	-	三年内无	
13	2014-02	638	0	2015-11-23	5.2	
			2	2016-01-21	6.4	

结果表明,这 7 次  $M_L \geq 4.0$  地震平静结束后三年内对应了本次研究的 19 组中强地震中的 10 组,约占总数的 52%,后续中强地震发震优势时间段集中在 0~12 个月内(8 组,80%)。

## (2) $M_L 4.0$ 以上地震平静特征

研究时间段内,柴达木地震带  $M_L \geq 4.0$  地震的发震频率约为 0.5 次/月,共发生过 9 次超过 300 天的  $M_L \geq 4.0$  地震平静,平静时间段在 303~534 天不等(表 3)。共有 4 次(44%) $M_L \geq 4.0$  地震平静结束后两年内发生了至少一组中强地震,这 4 组中强地震均是在平静结束后 1 个月至 2 年内发生的,优势发震时间集中在 1~7 个月。

这 4 次  $M_L \geq 4.0$  地震平静结束后三年内对应

了本次研究的 19 组中强地震中的 7 组,约占总数的 37%,后续中强地震发震优势时间段集中在 0~12 个月内(5 组,71%)。

从上述分析结果可以看出,柴达木地震带上  $M_L \geq 3.0$  地震平静超过 100 天后三年内发生  $M_S 4.9$  以上中强地震的可能性约为 52%,且优势发震时间集中在  $M_L \geq 3.0$  地震平静结束后 0~12 个月内;当  $M_L \geq 4.0$  地震平静超过 300 天后三年内发生  $M_S 4.9$  以上中强地震的可能性约为 37%,优势发震时间集中在  $M_L \geq 4.0$  地震平静结束后 0~12 个月。由此可见,柴达木地震带上  $M_L 3.0$  以上地震平静异常对后续中强地震的预测效果要优于  $M_L 4.0$  地震平静。另外,柴达木地震带若连续发生两次以上

表3 柴达木地震带地震平静后中强地震活动情况统计

平静震级 $M_L$	序号	平静起始时间 /(年-月)	平静时长 /天	时间间隔 /月	平静后发生的中强地震	
					发震时间	震级/ $M_s$
$\geq 3.0$	1	1982-09	122	-	-	两年内无
	2	1985-06	150	13	1986-12-21	5.3
	3	1988-11	200	7	1990-01-14	6.5
	4	1990-11	183	4	1991-09-02	5.1
				12	1992-05-17	4.9
	5	1994-04	154	0	1994-09-04	5.2
				10	1995-07-09	5.3
	6	2001-03	128	10	2002-05-22	4.9
21				2003-04-17	6.6	
7	2007-05	206	11	2008-11-10	6.3	
			20	2009-08-28	6.6	
8	2008-05	131	1	2008-11-10	6.3	
$\geq 4.0$	1	1981-09	486	-	-	两年内无
				-	-	两年内无
	2	1983-01	503	-	-	两年内无
				-	-	两年内无
	3	1984-06	352	-	-	两年内无
				-	-	两年内无
	4	1985-06	514	1	1986-12-21	5.3
				7	1990-01-14	6.5
	5	1988-01	534	4	1991-09-02	5.1
				12	1992-05-17	4.9
7	1997-07	380	-	-	两年内无	
8	1998-12	480	-	-	两年内无	
			7	2002-05-22	4.9	
9	2000-05	513	18	2003-04-17	6.6	
			28	2004-02-25	5.0	

$M_L \geq 4.0$  地震平静,且前一次地震平静结束后两年内无中强地震发生,后续连续发生中强地震的可能性增强。

#### 4 结论

通过对研究区域内 1980 年以来  $M_s 4.9$  以上中强地震分布特征及其与  $M_L \geq 3.0$ 、 $M_L \geq 4.0$  地震平静之间关系的研究,初步得到以下结论:

(1) 1980 年以来祁连地震带共发生  $M_s \geq 4.9$  地震 22 次,空间上分布较为分散,集中发生在 1986—1996 年以及 2001—2003 年两个时间段内;柴达木地震带共发生  $M_s \geq 4.9$  地震 41 次,空间上分布较为集中,时间上丛集性特征较为明显;

(2)  $M_L \geq 3.0$  地震平静(0~5 个月)→ $M_L \geq 3.0$  地震活跃(1~5 个月)→中强震发震(80%),后续中强地震优势发震时间集中在  $M_L \geq 3.0$  地震平静结束后 0~6 个月之内,

② $M_L \geq 4.0$  地震平静(10~30 个月)→中强震发震(56%),后续中强地震优势发震时间集中在  $M_L \geq 3.0$  地震平静结束后 0~3 个月之内。

另外,该地震带上  $M_L 4.0$  以上地震平静异常对

三年内后续中强地震的预测效果要优于  $M_L 3.0$  地震平静, $M_L \geq 4.0$  地震平静超过 300 天可作为未来  $M_s 4.9$  以上中强地震预测的重要依据之一;

(3) 柴达木地震带中强地震主要发震模式如下:

① $M_L \geq 3.0$  地震平静(4~7 个月)→ $M_L \geq 3.0$  地震活跃(1~13 个月)→中强震发震(85%),后续中强地震优势发震时间集中在  $M_L \geq 3.0$  地震平静结束后 0~12 个月之内,

② $M_L \geq 4.0$  地震平静(10~18 个月)→ $M_L \geq 4.0$  地震平静(1~7 个月)→中强震发震。

虽然该地震带上  $M_L 3.0$  和 4.0 地震平静对后续中强地震的预测意义不如祁连地震带明显,但该地震带若连续发生两次以上  $M_L \geq 4.0$  地震平静,且前一次地震平静结束后两年内无中强地震发生,后续连续发生中强地震的可能性增强。

致谢:本文在撰写过程中得到了青海省地震局预报中心全体同事的指导和帮助,在此表示深深的感谢!

#### 参考文献

[1] 孙其政. 测震学分析预报方法[M]. 北京:地震出版社,1997:

- 74-78.
- [2] KIYOO Mogi. Some Features of Recent Seismic Activity in and Near Japan (2), Activity before and after Great Earthquakes [J]. Bulletin of the Earthquake Research Institute, 1969(47): 395-417.
- [3] OHTAKE M, MATUMOTO T, LATHAM G V. Seismicity Gap Near Oaxaca, Southern Mexico as a Probable Precursor to a Large Earthquake [J]. Pure and Applied Geophysics, 1977, 115(1): 375-385.
- [4] 林邦慧, 胡小幸, 周冉. 1966 年邢台地区强震前小震的“密集—平静”特征及其初步解释 [J]. 地震学报, 1990, 12(4): 348-356.
- [5] 林邦慧, 胡小幸, 王泽泉. 1966 年邢台地区大震前小震的“密集—平静”特征及其初步解释 [J]. 华北地震科学, 2006, 24(2): 30-35.
- [6] 钱兆霞. 大震前的中强地震活动特征 [J]. 地震研究, 1980(4): 39-45.
- [7] 刘蒲雄. 强震前地震活动增强特征 [J]. 地震, 1982(2): 6-8+21.
- [8] 王炜, 宋俊高, 戴维乐. 溧阳 6.0 级地震前的地震活动性变化 [J]. 防灾减灾工程学报, 1981(1): 10-19.
- [9] 宋俊高, 王炜, 潘坚云, 等. 地震异常平静用于短期预报的研究 [J]. 地震, 1994(1): 48-56.
- [10] 韩渭宾. 三种地震“平静”的概念及其预报意义综述 [J]. 国际地震动态, 1998(5): 9-13.
- [11] 王筱荣. 地震平静特征与新疆的中强地震 [J]. 西北地震学报, 2003, 25(3): 246-252.
- [12] 宋俊高, 王炜, 陆锦花. 前兆性地震平静在中期预报中的定量研究 [J]. 西北地震学报, 1997, 19(3): 37-43.
- [13] 戴志阳, 陈宇卫, 傅容珊, 等. 前兆性地震平静研究 [J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1): 18-24.
- [14] 王亚茹, 刘晓丹, 王想, 等. 华北地区  $M_L \geq 4$  级地震平静的分析 [J]. 华北地震科学, 2014, 32(2): 55-61.
- [15] 任雪梅, 延海军. 宁夏南部及邻区  $M_L \geq 3.0$  地震平静与中强以上地震的关系 [J]. 地震研究, 2006, 29(2): 118-121.
- [16] 陈玉华, 姚家骏, 马玉虎. 青藏高原 6.0-6.9 级地震前  $M_L \geq 4$  地震平静异常研究 [J]. 地震研究, 2014, 37(增刊 1): 1-7.
- [17] 王培玲, 胡玉. 青海地区地震目录最小完整性震级研究 [J]. 地震研究, 2014, 37(增刊 1): 40-44.
- [18] 陈玉华, 马文静, 张瑞斌. 青海及邻区中强地震序列类型及特征研究 [J]. 西北地震学报, 2001, 23(3): 250-256.
- [19] WYSS M, HABERMANN R E, WYSS M, et al. Precursory Seismic Quiescence [J]. Pure and Applied Geophysics, 1988, 126(2): 319-332.