

青藏高原 6.0 ~ 6.9 级地震前 $M_L \geq 4$ 地震 平静异常研究*

陈玉华, 姚家骏, 马玉虎

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

摘要: 对 1975 年以来青藏高原 36 个 (25 组) 6.0 ~ 6.9 级强震前 $M_L \geq 4$ 地震活动图像演化特征跟踪分析, 发现 92% 的地震前震源区及外围出现清晰的 $M_L \geq 4$ 地震平静区。平静面积多在 $1 \times 10^6 \text{ km}^2$ 内, 平静时段多集中在 200 ~ 700 d, 92% 的地震发生在平静区内部。从地震预测角度认为, $M_L \geq 4$ 地震大面积平静为青藏高原 6.0 ~ 6.9 级地震前一个具有鲜明特征的共性异常, 它可以为青藏高原 6 级地震发生地点的判定、场的追踪提供依据。

关键词: 6.0 ~ 6.9 级地震; 地震平静; 青藏高原

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)增刊-0001-07

0 引言

青藏高原以构造运动显著、地震活动强烈成为地震学者共同关注的区域。马玉虎和杜鹃 (2012) 统计青藏高原 6.0 ~ 6.9 级地震年平均发震率达 2 次, $M \geq 6$ 地震具有较强的破坏性, 极易给人类的生命及财产带来严重的毁坏。从减轻地震灾害的角度, 开展 $M \geq 6$ 地震的预测预报探索是一项非常重要的工作。陈玉华和姚家骏 (2013) 分析了中国大陆西部 $M \geq 7$ 地震前地震空区演化过程, 认为中国大陆西部 $M \geq 7$ 地震前普遍存在 $M \geq 6$ 、 $M \geq 5$ 和 $M_L \geq 4$ 地震相应的地震空区现象, 那么同样具有严重破坏性的 6.0 ~ 6.9 级地震前地震活动图像会有怎样的演化特征呢? 我们开展了青藏高原 6.0 ~ 6.9 级 (以下简称 6 级档) 地震前的地震活动图像跟踪扫描, 探讨分析了研究区 6 级档地震前的共性地震学异常特征, 以期对该区的地震预测研究及地震应急工作有所贡献。

1 研究区域及资料选用

以青藏高原的青海、甘肃及西藏为研究区域,

挑选研究区内 6 级档地震为研究目标。青藏高原地处高海拔区, 受自然条件限制, 地震监测台网较稀疏, 地震监控能力相对较低, 研究区内相当一部分区域的地震监控能力在 $M_L \geq 4$ 。本次研究采用的 6 级档地震目录为中国地震局监测预报司预报管理处 2010 年 6 月整编的《中国地震目录》(公元前 23 世纪至 2010 年 5 月), 2010 年以后的地震采用中国地震台网中心的大震速报目录。中小地震目录采用中国地震局台网中心提供的 1970 年以来《全国小震月报目录》。中小地震目录为中国大陆的地震记录, 其周边及以外地区无资料, 考虑到资料的完整性, 本研究剔除了西藏大陆边缘的地震, 仅以大陆内部的 6 级档地震 (图 1 中的实心五角星) 为研究对象。

2 研究方法

在所有利用地震活动性预报强烈地震的前兆信息中, 强烈地震前的地震平静现象可能是最有希望的中长期前兆, 它有可能提供关于地震震中位置、发震时间和震大小等有用信息。国内外许多学者对地震平静已经作了大量的研究, 并用各

* 收稿日期: 2014-08-30.

基金项目: 青海省地震科学基金项目 (2012A05) 和国家“十二五”科技支撑计划子专题“南北地震带强震综合预测与跟踪方法研究 (2012BAK19B01-07)”联合资助。

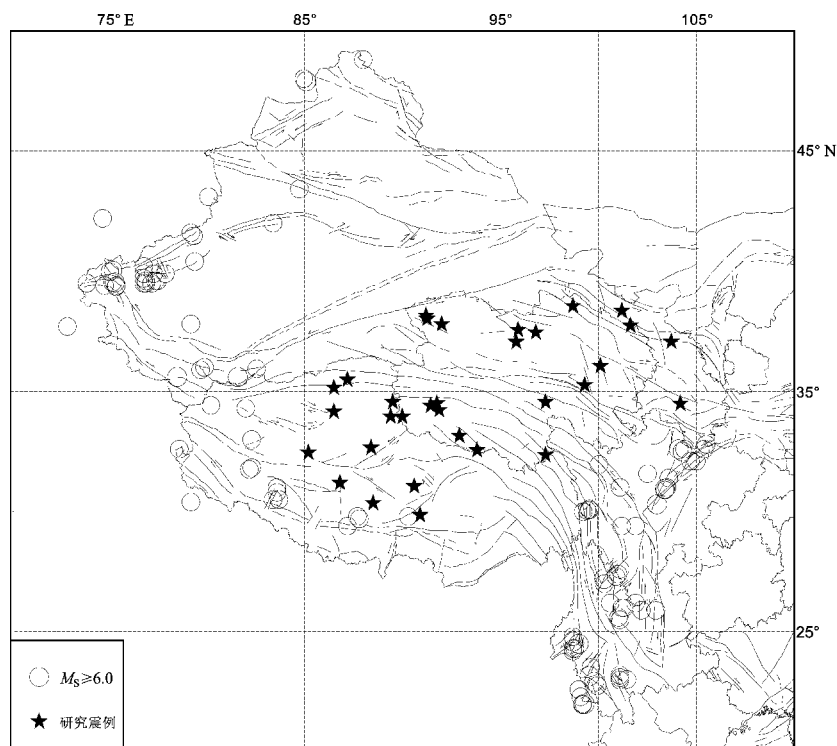


图1 1975~2013年中国大陆西部6级档地震分布

Fig. 1 Distribution of M6.0 ~ 6.9 earthquakes in West China Mainland from 1975 to 2013

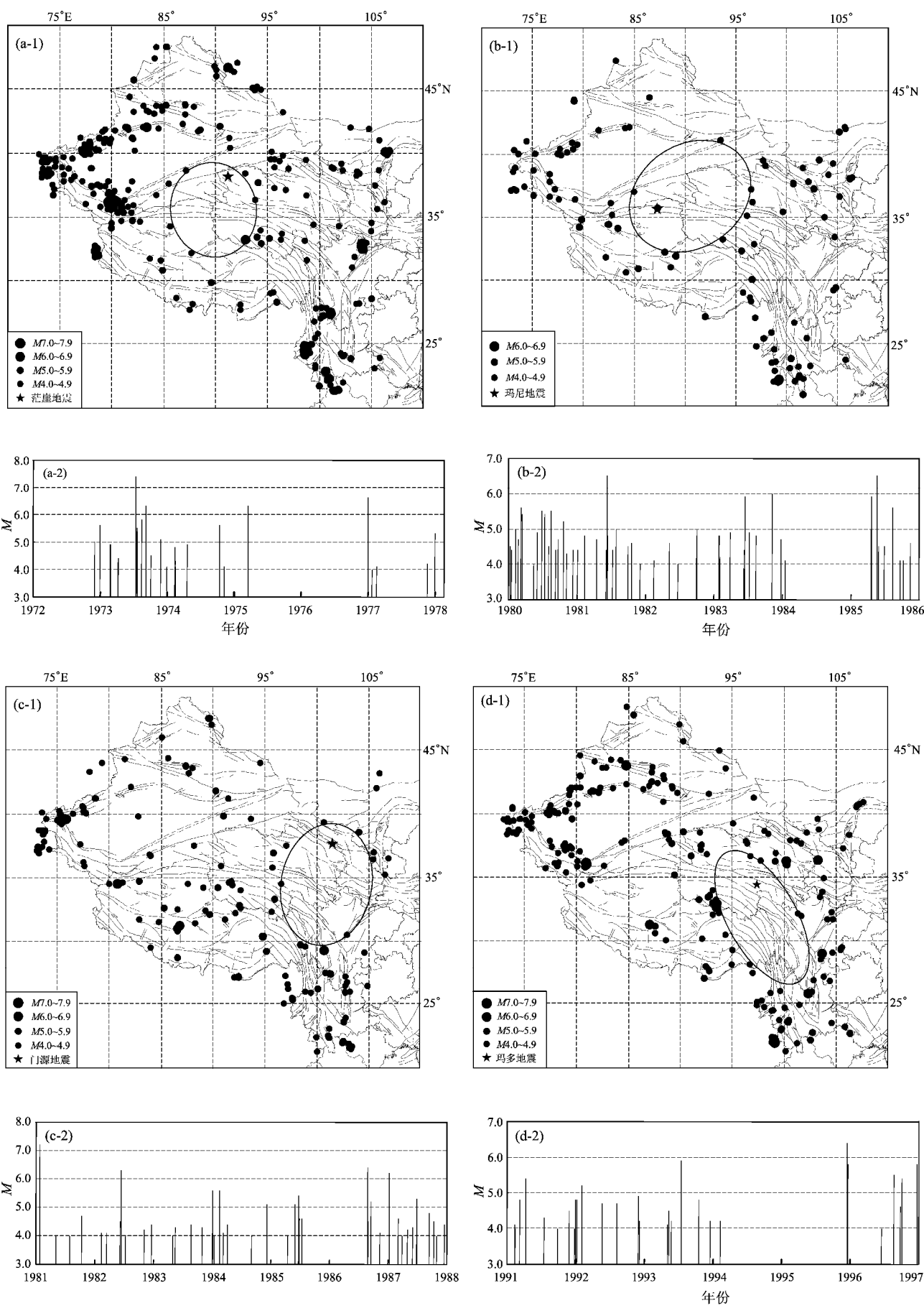
种方法来阐述这个问题。无论是地震平静还是增强,都是相对于正常地震活动背景的一种异常变化,因此确定地震平静总是在地震活动变化中寻找相对减弱的时空范围。戴志阳等(2006)研究认为,目前研究前兆性地震平静主要有3种方法:第1种是用地震活动的时空分布演变图研究,能直接显示地震活动平静的时间、空间范围;第2种是用地震活动速率随时间的变化,可以给出不同时段地震活动速率的定性形态;第3种是借用统计学中累积求和方法研究一段时间内的地震事件相对于背景地震能量释放的系统偏离,能给出地震活动平静在时间上的定量检验与显著性分析。本研究采用第1种方法,即最直观的地震活动时空分布演化图像的跟踪分析。根据研究区地震监测能力,跟踪扫描 $M_L \geq 4$ 地震活动图像在6级档地震前的演化过程,分析其与6级档地震的关系。

3 地震平静特征

追踪研究显示,青藏高原6级档地震发生前,震源及周边 $M_L \geq 4$ 地震大面积平静特征明显。其

平静区形态各异,平静时段不同,平静面积不等。从研究震例看其平静形态、平静时段和平静面积与后期6级档地震震级不成正比关系。受篇幅所限,本文仅展示几个典型震例的异常图像(图2)。由图2可见,6级档地震前 $M_L \geq 4$ 地震大面积平静特征十分突出,且平静区与外围活动区界限清晰。与之配套的平静区 $M-t$ 图显示的平静时段显著,即无论从空间上还是时间上,其平静特征都易于发现和确认。

在强震活跃时段,还可能同时或先后出现2个或多个明显的平静区域,如1986年9月18日至1990年5月9日围西藏西部地区形成大面积 $M_L \geq 4$ 地震平静,1988年6月10日至1990年1月13日青海北部也出现大面积 $M_L \geq 4$ 地震平静,1990年1月14日青海北部平静区内发生茫崖6.5级地震(图3a)。此后,1990年5月10日至1992年6月3日西藏西部平静区内先后发生10多次 $M_L \geq 4$ 地震(空心圈)打破平静,1992年7月30日、1993年1月18日、1993年3月20日原平静区边缘相继发生拉萨6.5级、当雄6.3级、拉孜6.6级成组强震(图3b)。



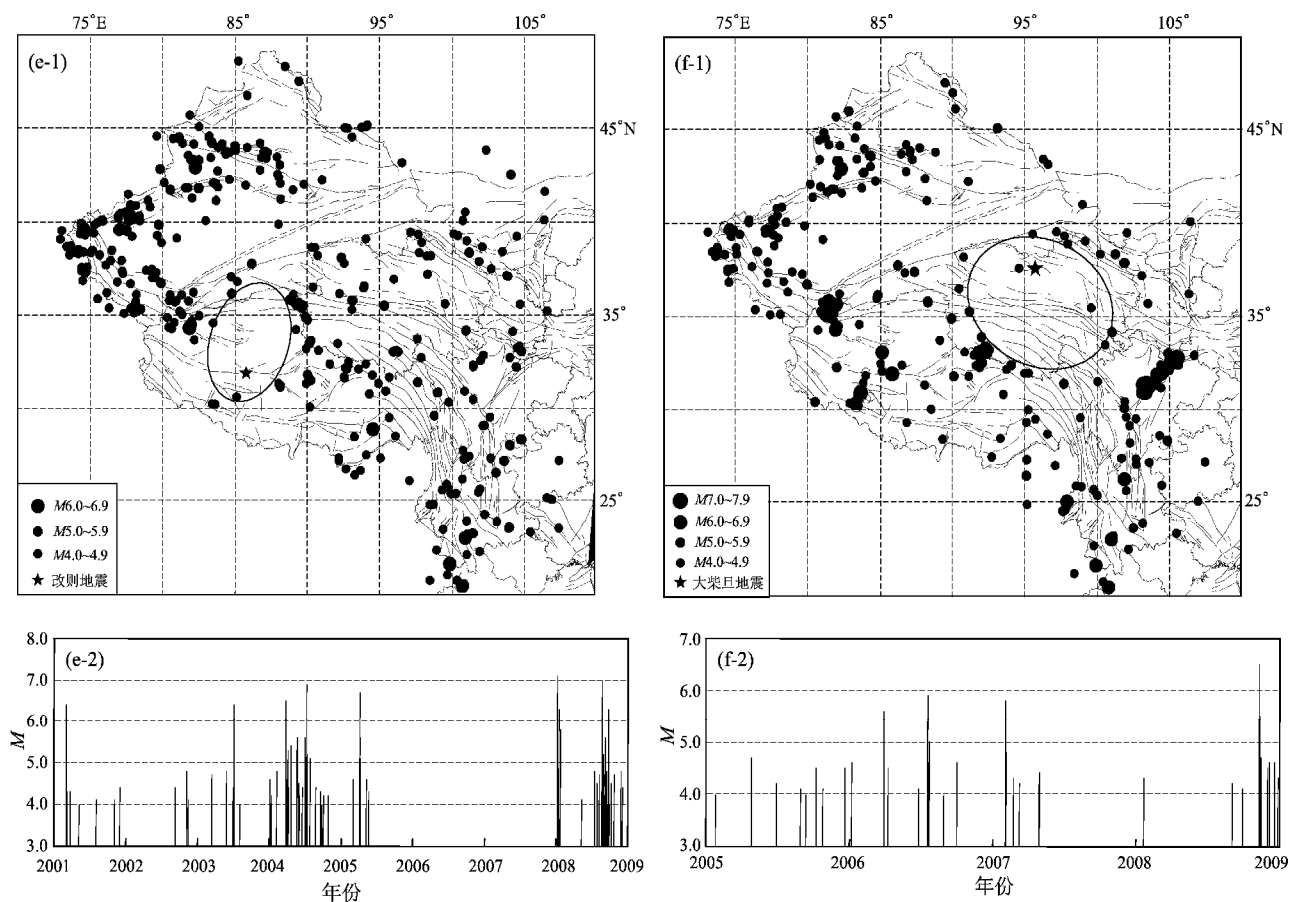


图2 青藏高原6.0~6.9级地震前 $M_L \geq 4$ 地震平静区及平静区内 $M-t$ 图
(a) 1977年1月2日茫崖6.4级地震; (b) 1985年5月20日玛尼6.3级地震; (c) 1986年8月26日门源6.5级地震; (d) 1995年12月18日玛多6.2级地震; (e) 2008年1月9日改则6.9级地震; (f) 2008年11月10日大柴旦6.3级地震

Fig. 2 The quiet area of $M_L \geq 4$ earthquakes before $M6.0 \sim 6.9$ earthquakes in Tibetan Plateau and $M-t$ diagram in quiet area

(a) Mangya $M6.4$ earthquake on Jun. 2, 1977; (b) Mani $M6.3$ earthquake on May. 20, 1985; (c) Menyuan $M6.5$ earthquake on Aug. 26, 1986; (d) Maduo $M6.2$ earthquake on Dec. 18, 1995; (e) Gaize $M6.9$ earthquake on Jun. 9, 2008; (f) Dachaidan $M6.3$ earthquake on Nov. 10, 2008

4 综合分析

1975~2013年研究区共发生6级档地震36次,其中一些地震时空间隔较近,构成成组地震。为便于分析,本研究将2次或多次6级档地震发生时间小于1年,空间距离小于1000 km的地震视为1组,单次6级地震也以组为单位,这样36次地震就分成25组(表1)。

由表1可见,25组6级档地震中,有23组震前出现 $M_L \geq 4$ 地震大面积平静过程,占总数的92%。平静区域和周边活动区域界限清晰,最小平静区面积达 $43 \times 10^4 \text{ km}^2$,最大 $1329 \times 10^4 \text{ km}^2$,绝大多数平静面积在 $1 \times 10^6 \text{ km}^2$ 内;平静时段从135~1329 d不等,主要集中在200~700 d,显示出中期前兆异常特征;92%的强震发生在平静区内部,极少数位于平静区边缘。由此可见,该异常图像可作为未来6级档强震时间、地点预测的主要依据之一。

表 1 6 级档地震前 $M_L \geq 4$ 地震平静时空统计
Tab. 1 Temporal and spatial statistic of seismic quiet of $M_L \geq 4$ earthquakes before $M6.0 \sim 6.9$ earthquakes

序号	6 级档地震			$M_L \geq 4$ 平静/ 年-月-日 ~ 年-月-日	平静时间 /天	平静面积 / $\times 10^4 \text{ km}^2$	备 注
	年-月-日	震级	地名				
1	1975-03-19	6.0	亦基台错	1974-03-08 ~ 1974-10-14	220	118	1974 年 10 月 14 日震源区发生 5.3 级地震， 114 天后原震区发生 6.0 级地震
	1975-05-05	6.4	卡塞渡口				
2	1977-01-02	6.4	茫崖西北	1975-03-20 ~ 1977-01-02	654	63	
	1977-01-19	6.3	北霍布逊				
3	1977-11-18	6.6	尼玛东北	1977-01-23 ~ 1977-11-17	319	92	
4	1979-03-29	6.2	玉树东南	1978-07-24 ~ 1979-03-28	247	72	
5	1981-06-10	6.5	西捷西南	1981-01-25 ~ 1981-06-09	135	140	
6	1982-01-24	6.6	普兰东北	1981-05-14 ~ 1982-01-23	253	68	
7	1983-11-06	6.0	乌兰乌拉湖	1982-10-04 ~ 1983-11-05	396	78	
8	1985-05-20	6.3	玛尼北	1984-01-16 ~ 1985-04-16	454	91	1985 年 4 月 17 日、21 日震中区先后发生 4.6、5.8 级地震
9	1986-06-21	6.4	文都 唐古拉				震前平静不明显
	1986-08-21	6.4					
10	1986-08-26	6.5	门源	1985-07-15 ~ 1986-08-25	405	82	
	1987-02-26	6.1	茫崖				
11	1988-11-05	6.8	唐古拉	1987-04-10 ~ 1988-11-04	573	112	
12	1990-01-14	6.5	茫崖	1988-06-10 ~ 1990-01-13	552	43	1990 年 4 月共和 7.0 级地震距天祝 6.1 级地 震 340 km，3 次地震可为一组
	1990-10-20	6.1	天祝				
13	1992-07-30	6.5	拉萨	1986-09-18 ~ 1990-05-09	1 329	75	1990 年 5 月 10 日至 1992 年 6 月 3 日平静区 内发生 10 次 $M_L \geq 4$ 地震打破平静后，原平 静区边缘相继发生 6.5、6.3、6.6 级地震
	1993-01-18	6.3	当雄				
	1993-03-20	6.6	拉孜				
14	1993-10-26	6.0	祁连	1993-01-04 ~ 1993-07-06	182	78	1993 年 7 月 7 日至 9 月 6 日平静区内相继发 生 5 次 $M_L \geq 4$ 地震打破平静，发生祁连 6.0 级地震
	1994-01-03	6.0	共和				
15	1994-06-30	6.3	唐古拉山	1994-01-28 ~ 1994-06-29	153	220	1994 年 1 月 21、27 日唐古拉山区相继发生 5.1、5.7 级地震之后，青海南部、西藏、四 川西部出现大面积 $M_L \geq 4$ 地震平静区
16	1995-12-18	6.2	玛多	1994-02-08 ~ 1995-12-17	664	74	
17	1998-07-20	6.1	谢通门	1997-11-03 ~ 1998-06-05	214	85	1998 年 6 月 6 日、7 日震区发生 5.1、5.3 级 前震
	1998-08-25	6.0	申扎				
18	2000-09-12	6.6	兴海	1998-12-04 ~ 2000-09-11	648	50	
19	2001-03-05	6.4	玛尼	1999-08-25 ~ 2001-02-25	549	50	2001 年 2 月 25 日平静区发生 $M_L 4.6$ 前震
20	2003-04-17	6.6	德令哈 青藏交界	2002-06-01 ~ 2003-04-16	320	75	
	2003-07-07	6.1					
21	2003-10-25	6.1	民乐山丹	2002-12-25 ~ 2003-10-24	304	96	2003 年 4 月 17 日德令哈 6.6 级地震后，平 静区向东南扩展
22	2004-03-28	6.3	班戈				震前平静特征不明显
23	2008-01-09	6.9	改则	2005-05-10 ~ 2008-01-08	972	45	平静区清晰，平静时段长
24	2008-11-10	6.3	大柴旦	2007-05-01 ~ 2008-11-09	557	75	2008 年 9 月 2 日、28 日平静区内先后发生兴 海 $M_L 4.2$ 地震，大柴旦 $M_L 4.1$ 地震，可视 为直接前震
	2009-08-28	6.4	大柴旦				
25	2013-07-22	6.6	岷县漳县	2011-11-03 ~ 2013-07-21	626	48	平静区清晰，平静时段长

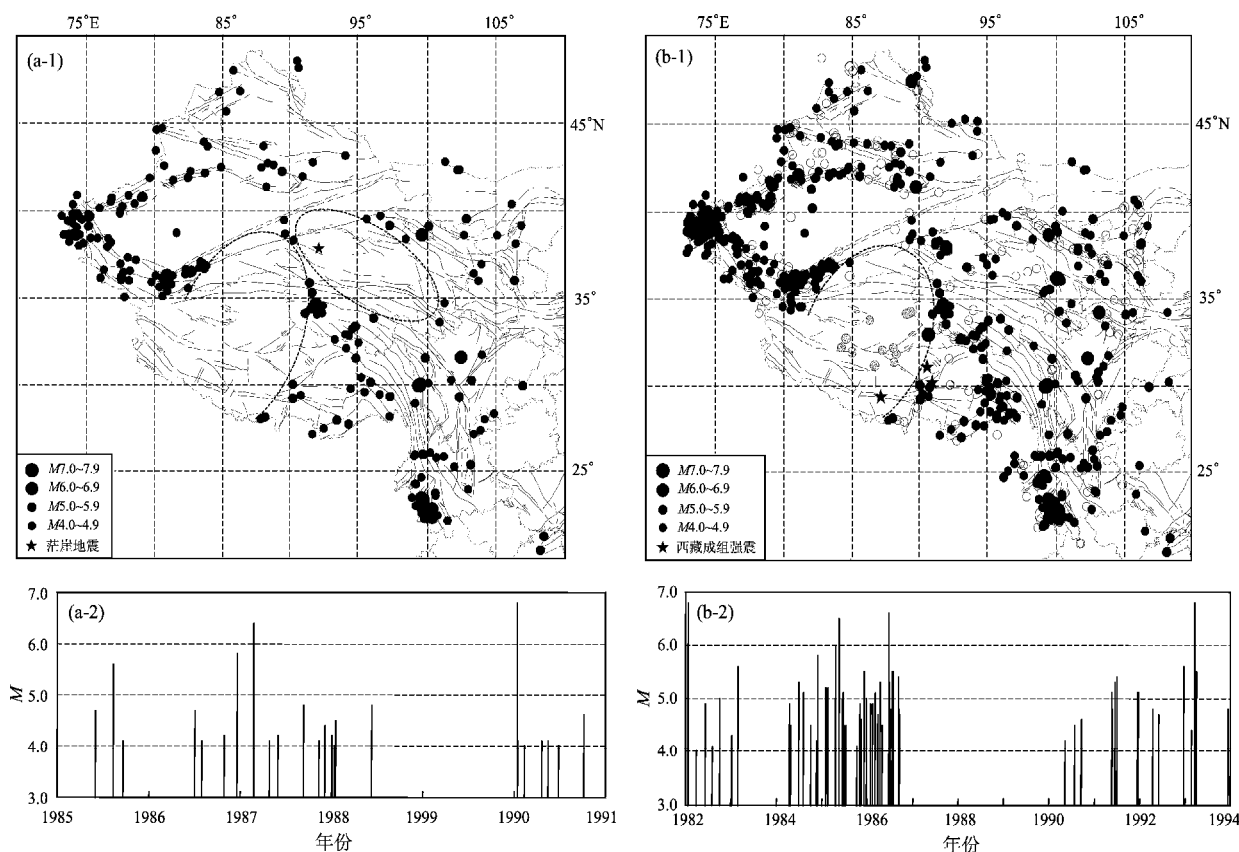


图3 1990年茫崖6.5级地震(a)及1992~1993年西藏拉萨、当雄、拉孜成组强震(b)前 $M_L \geq 4$ 地震演化过程

Fig. 3 Evolution process of $M_L \geq 4$ earthquakes before Mangya $M6.4$ earthquake in 1990 (a) and Lhasa, Damxung, Lazi grouped strong earthquakes (b)

5 讨论

强震前区域地震活动出现的平静现象得到过许多地震学者的关注,宋俊高等(1994)在研究海城地震等一些震例后指出,主震前的地震平静时段是一种中期向短期过渡的预测指标。Habermann(1981)将形成这种震前“平静”可能的物理机制解释为:当一个强地震孕育中期转向短期阶段,其应力—应变曲线在顶端附近转平之后反向,往往有不同尺度的“负区”出现,即应变增长伴随的不是应力增大,而是不变或略有减小,此处失稳微小破裂很少,即相当于中小地震活动很少,出现了“平静”现象。“负区”的出现可能与孕震后期裂缝丛集发生活动弱化或准塑性流动的物理现象有关。陈立德和付虹(2003)研究认为,这一观测事实的物理本质可能与强震

震源区介质处于硬化过程中或硬化状态之下有关。青藏高原92%的6级档地震前出现 $M_L \geq 4$ 地震大面积平静,是强震孕育过程中地震活动演化图像的一种表象特征,它直观反映了区域应力场的释放—闭锁—发震的过程,具有清晰的物理含义。

6 结论

(1) 青藏高原6级档地震孕育具有显著的共性异常特征,即孕震区形成 $M_L \geq 4$ 地震大面积平静,显示出大范围应力场的强闭锁状态。

(2) 统计震例中平静区范围最小为 $4 \times 10^5 \text{ km}^2$,绝大多数在 $1 \times 10^6 \text{ km}^2$ 内;平静时段从135~1329 d不等,主要集中在200~700 d;92%的强震震中位置位于平静区内部,极少数位于平静区边缘地带。从地震预报的角度,这些结果

为强震发生地点的判定, 场的追踪提供了依据。

(3) 部分震例平静区形成的中后期其内部有 $M_L \geq 4$ 地震发生, 可看作是打破平静的信号震, 对未来强震可能具有中短期预测意义。

(4) 同时或先后出现 2 个或多个大面积平静区, 应结合区域地震形势, 注意成组强震发生的危险。

(5) 本文所研究的 6 级档地震前广泛出现的 $M_L \geq 4$ 地震大面积平静图像, 可通过普适性检验, 但目前尚无反例 (即出现大面积平静而无相应地震发生) 的研究, 有待于今后的震例检验和进一步研究。

参考文献:

- 陈立德, 付虹. 2003. 地震预报基础与实践[M]. 北京: 地震出版社, 156 ~ 207.
- 陈玉华, 姚家骏. 2013. 中国大陆 7 级以上地震钱地震空区演化过程分析[J]. 地震研究, 36(4): 418 ~ 426.
- 戴志阳, 陈宇卫, 傅容珊, 等. 2006. 前兆性地震平静研究[J]. 地球物理学进展, 21(1): 18 ~ 24.
- 马玉虎, 杜鹃. 2012. 青藏块体强震活动状态分析[J]. 地震地磁观测与研究, 30(1): 7 ~ 11.
- 宋俊高, 王伟, 潘坚云, 等. 1994. 地震异常平静用于短期预报的应用[J]. 地震, 14(1): 48 ~ 561.
- Habermann R. E. . 1981. Stalking the Mature Seismic Gap[M]. In Earthquake prediction(eds. Simpson D W and Richards P G), Maurice Ewing Series(AGU4), 29 ~ 42.

Research on Quiescence Anomaly of $M_L \geq 4.0$ Earthquakes before $M6.0 \sim 6.9$ Earthquakes in Qinghai-Tibetan Plateau

CHEN Yu-hua, YAO Jia-jun, MA Yu-hu

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

Abstract

Tracing and analyzing the seismic activity evolution characteristic of $M_L \geq 4$ earthquakes before 36 (25 groups) $M6.0 \sim 6.9$ strong earthquakes in Qinghai-Tibetan Plateau since 1975, we found that there appeared the clear seismic quiescence area of $M_L \geq 4$ earthquakes in epicenter and its periphery before 92% earthquakes. The area of seismic quiet was less than $1 \times 10^6 \text{ km}^2$, the quiet period focused on 200 ~ 700 d, and the 92% earthquakes occurred inside the seismic quiet area. On the aspect of earthquake prediction, we considered that the large area of seismic quiet of $M_L \geq 4$ earthquakes was the common anomaly with distinct characteristic before $M6.0 \sim 6.9$ earthquakes in Qinghai-Tibetan Plateau, which could be used to judge the location of $M6.0$ earthquake in Qinghai-Tibetan Plateau, and provide the basis of field tracing.

Key words: $M6.0 \sim 6.9$ earthquakes; seismic quiescence; Qinghai-Tibetan Plateau