

西北地区 $M_s \geq 7$ 强震前地震活动特征 和近期强震趋势研究*

马玉虎¹, 殷翔¹, 苏有锦²

(1. 青海省地震局, 青海 西宁 810001; 2. 云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 通过对西北地区 8 次 $M_s \geq 7$ 强震前的 $M_s \geq 5$ 地震活动特征和 3 次 $M_s \geq 7$ 强震前的 $M_L \geq 4$ 地震演化的研究, 发现西北地区 7 级强震前存在较大范围的 $M_s \geq 5$ 地震平静或 $M_s 5$ 地震空区。该地区强震前存在 $M_L \geq 4$ 地震空区的演化, 一般表现为孕震区周围出现平静—活跃、持续平静和平静区逐步向未来震中收缩的特征。

关键词: 西北地区; $M_s \geq 7$ 强震; 地震活动; 强震趋势

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)增刊-0008-08

0 引言

在印度板块与欧亚板块的相互作用下, 青藏高原现代地壳形变运动主要受控于高原物质向北推移、挤压隆升和向东挤出。在不同地球动力学过程的共同作用下, 青藏高原东北缘、巴颜喀拉地块等发生了不同性质的变形响应(张家声等, 2003)。青藏高原北部地区占据了中国大陆西北地区的绝大部分区域, 其中青藏高原北部地区的西北以阿尔金山断裂带为界, 东北以祁连山山前断裂及榆木山、大黄山、文殊山 3 个隆起的北边界断裂为界, 与阿拉善地块相连, 东部以六盘山断裂和龙门山断裂与鄂尔多斯和华南地块相邻, 南边以库玛断裂带为界, 与藏北地块毗连, 周边完全被活动断裂所围限, 其中阿尔金山断裂以 NEE 向的左旋走滑活动为主, 北边界断裂所构成的 3 个隆起以推覆为主, 兼左旋走滑, 东部边界的六盘山断裂和龙门山断裂以逆冲推覆为主, 南边界的库玛断裂则以挤压型的左旋走滑运动为主。青海西南部地区断裂分布较多, 但研究程度相对较低, 主要以 NNW 或 NW 断裂为主, 同时 NE 向的小规模断裂切割 NW 向的深大断裂。青藏高原北部地区和青海西南部共同构成了本文所定义的西北地区, 该地区区域内活动地块不同边界的不同运动性质,

是该地区不同地块与相邻的同等级地块相互作用造成的, 这些断裂及其运动性质, 以及板块的作用和青藏高原内部物质的运移等构成了西北地区特有的构造环境和动力环境。

历史上西北地区强震活动强烈, 频度高、强度大, 曾发生过 1654 年 7 月 21 日天水 $M_s 8.0$ 地震、1739 年 1 月 3 日平罗 $M_s 8.0$ 地震、1920 年 12 月 16 日海原 $M_s 8.5$ 地震、1927 年 5 月 23 日古浪 $M_s 8.0$ 地震和 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震(国家地震局震害防御司, 1995; 中国地震局震害防御司, 1999)。

由于不同地区的地质构造、孕震环境、深浅部构造及介质的差异, 地震活动表现出明显的区域性特征。2008 年汶川 $M_s 8.0$ 、2010 年玉树 $M_s 7.1$ 地震之后西北地区地震活动水平相对较弱, 和川滇地区存在较大差异, 尤其是在青藏高原东缘的北段地区存在不同时间尺度的 $M_s \geq 5$ 、 $M_L \geq 4$ 地震平静现象(邵志刚, 2013)。汶川 $M_s 8.0$ 、玉树 $M_s 7.1$ 地震之后, 西北地区是否存在强震的危险? 该地区大震前不同震级的地震活动究竟是否有共性的特征? 其本质是什么? 这些问题值得深入思考。

本文结合西北地区地震活动的基本状态、 $M_s \geq 7$ 强震前 $M_s \geq 5$ 、 $M_L \geq 4$ 地震活动的特征等认识强震的趋势, 并基于地震活动的演化特征探讨未

* 收稿日期: 2014-08-30.

基金项目: 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)和青海省科技厅项目(2013-Z-710)联合资助。

来强震发生的可能区域。

1 中强地震活动的基本特征

1900 年以来西北地区 ($33^\circ \sim 42^\circ \text{N}$, $89^\circ \sim 110^\circ \text{E}$) 共发生 $M_s 5.0 \sim 5.9$ 地震 287 次, $M_s 6.0 \sim 6.9$ 地震 56 次, $M_s \geq 7.0$ 地震 12 次。图 1 为 1900 年以来该地区不同震级地震的 $M-T$ 图和累积应变能释放曲线, 由图可见, 在 1920 年以前地震记录较少, 自 1920 年以来, $M_s \geq 5$ 、 $M_s \geq 6$ 和 $M_s \geq 6.5$ 地震具有丛集活动的特点, 其中 $M_s \geq 6.5$ 地震成丛、成组活

动特征较为明显 (图 1c), 1920 ~ 1937 年、1954 ~ 1963 年、1986 ~ 1990 年和 2000 ~ 2003 年成丛性活动显著。2010 年玉树 $M_s 7.1$ 和 2013 年岷县漳县 $M_s 6.6$ 地震的发生可能显示了新一轮的地震成丛特点。从累积应变能释放看, 随着不同震级的地震成丛和丛集活动, 相应的出现了加速释放阶段, 特别是 20 世纪 20 年代初至 30 年代末和 2000 年前后出现了显著的累积应变能释放的加速释放现象。根据地震活动 $M-T$ 图和累积应变能释放曲线, 西北地区地震活动的丛集和成丛活动现象, 以及累积应变能释放的加速显示了该地区地震活动和能量释放的基本特点。

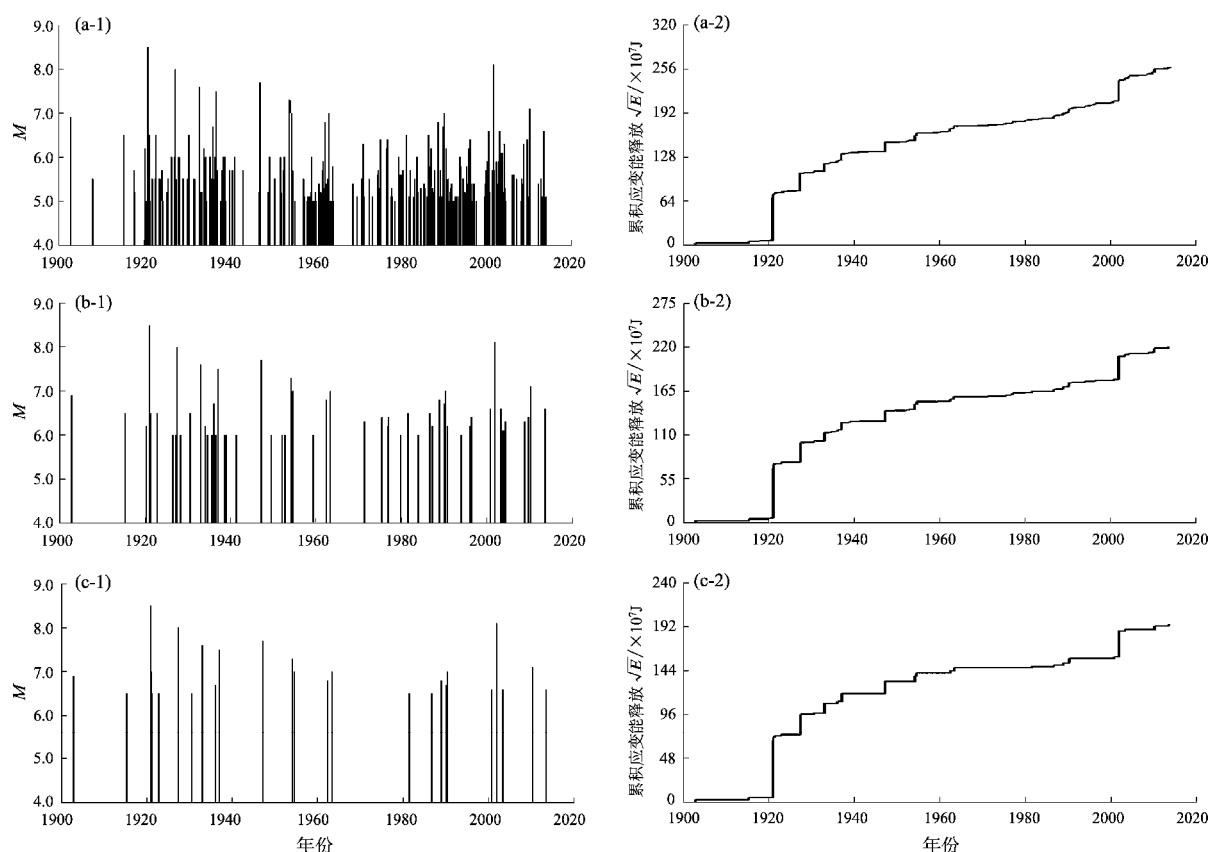


图 1 西北地区不同震级地震 $M-T$ 图 (a) 和累积应变能释放曲线 (b)

Fig. 1 $M-t$ diagram (a) and cumulative strain energy release curve (b) of earthquake with different magnitude in Northern Qinghai-Tibetan Plateau and Northwest of Qinghai

2 7 级强震前 $M_s \geq 5$ 地震活动的震例和共性特征

黄纬琼等 (1994) 利用不同的检验方法得到中国大陆不同地震带历史地震资料基本完整的起始年份, 结果显示 1923 年以来青藏高原北部地区

$M_s \geq 5$ 地震记录相对完整, 1937 年以来青海的西南部地区 $M_s \geq 5$ 地震记录相对完整。1900 年以来西北地区发生 $M_s \geq 7.0$ 地震 12 次 (表 1), 考虑到 $M_s \geq 7$ 强震有些是双震或是 $M_s \geq 8$ 地震的余震, 因此, 本文将 1920 年海原 $M_s \geq 8.5$ 和 $M_s 7.0$ 地震看做是一组事件, 1954 年山丹—民勤 $M_s 7.3$ 和 $M_s 7.0$ 2 次地震看做是一组事件。由于 1923 年以

来青藏高原北部地区 $M_s \geq 5$ 地震相对完整, 因此本文讨论 1920 年海源 $M_s \geq 8.5$ 地震前的 $M_s \geq 5$ 地震活动。

表 1 1900 年以来西北地区 $M_s \geq 7.0$ 地震

Tab. 1 $M_s \geq 7$ earthquakes in Northern Qinghai-Tibetan Plateau and Northwest of Qinghai China since 1900

序号	时间/年-月-日	震级 (M_s)	地点
1	1920-12-16	8.5	海原
	1920-12-25	7.0	海原
2	1927-05-23	8.0	古浪
3	1932-12-25	7.6	昌马
4	1937-01-07	7.5	花石峡
5	1947-03-17	7.7	达日
6	1954-02-11	7.3	山丹
	1954-07-31	7.0	民勤
7	1963-04-19	7.0	阿兰克湖
8	1990-04-26	7.0	共和
9	2001-11-14	8.1	昆仑山口西
10	2010-04-14	7.1	玉树

1932 年 12 月 25 日昌马 $M_s 7.6$ 地震前从 1920 年 1 月开始, 在震中附近以及祁连山构造带中西段大范围地区出现 $M_s \geq 5$ 地震平静, 期间发生了 1927 年 5 月 23 日古浪 $M_s 8.0$ 地震, 此次祁连山构造带中西段大范围的 $M_s \geq 5$ 地震平静可能也与 1927 年古浪 $M_s 8.0$ 地震相关 (图 2a), 如考虑 1927 年古浪 $M_s 8.0$ 地震后的 $M_s \geq 5$ 地震平静与 1932 年昌马 $M_s 7.6$ 地震相关, 则 $M_s \geq 5$ 地震平静达 5.6 年。1933 年 4 月 2 日都兰 $M_s 5.2$ 地震后青海境内出现大范围的 $M_s \geq 5$ 地震平静, 1937 年 1 月 7 日发生了花石峡 $M_s 7.5$ 地震, $M_s \geq 5$ 地震平静持续时间约 3.8 年 (图 2b)。1941 年 4 月 19 日脑各扎北 $M_s 6.0$ 地震后在西北地区出现大范围的 $M_s \geq 5$ 级地震平静, 平静范围广, 持续时间长, 1947 年 1 月 21 日玛多发生 $M_s 5.2$ 地震, 但大范围平静仍持续, 1947 年 3 月 17 日在 $M_s 5.2$ 地震的东南方向约 270 km 处发生了达日 $M_s 7.7$ 地震 (图 2c), $M_s \geq 5$ 地震平静持续时间约 6 年。达日 $M_s 7.7$ 地震后, 1947 年 3 月 27 日肃南 $M_s 5.0$ 地震后沿祁连山构造带和甘东南地区出现显著的 $M_s \geq 5$ 地震平静, 该平静范围涉及南北地震带北段地区大范围地区,

1952 年 12 月 16 日在内蒙古阿拉善左旗发生 $M_s 5.5$ 地震, 大范围平静被打破, 1.2 年之后在平静区发生了 1954 年山丹—民勤 $M_s 7.3$ 地震和 $M_s 7.0$ 地震 (图 2d), $M_s \geq 5$ 地震大范围平静到发震时间间隔为 7 年。自 1949 年 6 月 16 日始, 在青海中部—甘肃中东部形成 $M_s \geq 6$ 地震显著的平静区, 1952 年 2 月 3 日治多 $M_s 5.0$ 地震后, 青海中部地区出现 $M_s \geq 5$ 平静, 形成空区, 空区围绕着东昆仑断裂带中部地区, 1963 年在地震空区内部发生了阿兰克湖 $M_s 7.0$ 地震 (图 2e), $M_s \geq 5$ 地震平静 (地震空区) 持续时间 11.2 年。1977 年 1 月 20 日围绕青海境内形成 $M_s \geq 6$ 地震的大范围平静区, 1986 年 12 月 21 日格尔木 $M_s 5.3$ 地震后, $M_s \geq 5$ 地震围绕着青海地区形成大范围的平静 (地震空区), 与此同时, 青海境内亦存在较大范围的 $M_s \geq 6$ 地震平静区, $M_s \geq 5$ 地震平静嵌套 $M_s \geq 6$ 地震平静, 1990 年 4 月 26 日在 $M_s \geq 5$ 地震空区内部发生了共和 $M_s 7.0$ 地震 (图 2f), $M_s 5$ 地震平静持续 3.3 年。1994 年 12 月 28 日青海新疆交界 $M_s 5.1$ 地震后, 青海中北部到西北部出现大范围的 $M_s \geq 5$ 地震平静, 1997 年 2 月 9 日在格尔木东南发生 $M_s 5.4$ 地震, 2000 年 11 月 26 日在青海新疆交界发生 $M_s 5.1$ 地震, 之后, 空区解体, 2001 年 11 月 14 日发生了昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震 (图 2g), $M_s \geq 5$ 地震平静持续时间间隔为 7 年。1995 年 12 月 18 日玛多 $M_s 6.2$ 地震后, 青海中南部—藏东地区形成了 $M_s \geq 6$ 地震的平静状态, 在此状态下, 2007 年 5 月 7 日西藏妥坝 $M_s 5.6$ 地震之后在青海中南部地区形成了大范围的 $M_s \geq 5$ 平静区, 2010 年 3 月 24 日在平静区西边缘发生西藏聂荣 $M_s 5.7$ 、 $M_s 5.5$ 地震, 2010 年 4 月 14 日发生了玉树 $M_s 7.1$ 地震 (图 2h), $M_s \geq 5$ 地震平静持续时间间隔为 3 年。

由此可见, 西北地区 $M_s \geq 7$ 地震前会出现大范围的 $M_s \geq 5$ 地震平静, 一般 $M_s 5$ 地震以大范围的 $M_s \geq 5$ 地震平静现象或地震空区形式出现, 平静时间持续最少 3 年, 最长 11 年, 其中 3 次 $M_s \geq 7$ 强震前 $M_s \geq 5$ 地震平静时间间隔为 3~3.8 年, 4 次 6~7 年, 1 次 11~12 年。但 $M_s \geq 7$ 地震发生在青海境内, 则青海境内出现大范围 $M_s \geq 5$ 地震的平静, 如发生在甘肃境内, 则祁连构造带出现 $M_s \geq 5$ 地震的平静。

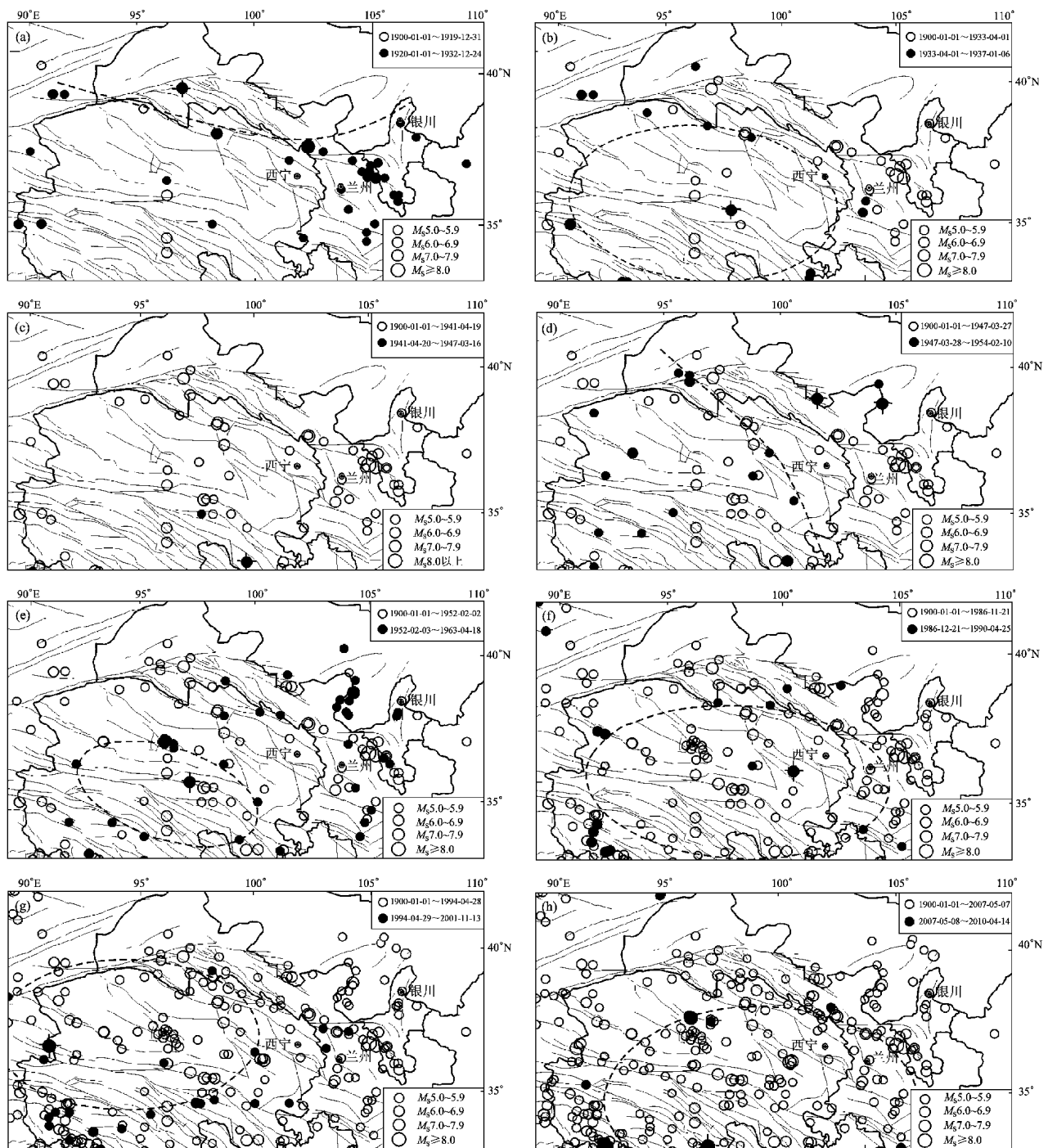


图 2 西北地区 $M_s \geq 7$ 级强震前 $M_s \geq 5$ 地震平静图像

- (a) 1932 年昌马 $M_s 7.6$ 地震; (b) 1937 年花石峡 $M_s 7.5$ 地震; (c) 1947 年达日 $M_s 7.7$ 地震; (d) 1954 年山丹—民勤 $M_s 7.3$ 、 $M_s 7.0$ 地震; (e) 1963 年阿兰克湖 $M_s 7.0$ 地震; (f) 1990 年共和 $M_s 7.0$ 地震; (g) 2001 年昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震; (h) 2010 年玉树 $M_s 7.0$ 地震

Fig. 2 Quiet image of $M_s \geq 5$ earthquakes before $M_s \geq 7$ strong earthquakes in Northern Qinghai-Tibetan Plateau and Northwest of Qinghai

- (a) Changma $M_s 7.6$ earthquake in 1932; (b) Huashixia $M_s 7.5$ earthquake in 1937; (c) Dari $M_s 7.7$ earthquake in 1947; (d) Shandan-Minqin $M_s 7.3$ 、 $M_s 7.0$ earthquake in 1954; (e) Alanke Lake $M_s 7.0$ earthquake in 1963; (f) Gonghe $M_s 7.0$ earthquake in 1990; (g) West Kunlun Mountain $M_s 8.1$ earthquake in 2001; (h) Yushu $M_s 7.0$ earthquake in 2010

3 $M_s \geq 7$ 强震前 $M_L \geq 4$ 地震活动的演化特征

冯建刚等(2010)利用震级—序号和 b 值拟合等方法研究青藏高原北部地区最小震级完整性,结果显示 1970 年以来青海库玛地震带最小完整性震级为 $M_L 3.1$ 。根据马玉虎(2007)的分析,青海西南部 1970 年以来 $M_L \geq 4$ 地震是完整的。因此,本文采用 1970 年以来中国地震台网 $M_L \geq 4.0$ 地震目录研究 $M_s \geq 7$ 强震前 $M_L \geq 4$ 地震活动演化是可靠的。

3.1 1990 年 4 月 26 日共和 $M_s 7.0$ 地震

共和 $M_s 7.0$ 地震前,1984 年 9 月 3 日至 1987 年 9 月 11 日在青海中东部和西南部地区形成了两个 $M_L \geq 4.0$ 地震空区(图 3a),其中西南部地震空区边缘发生了 1988 年唐古拉 $M_s 6.8$ 地

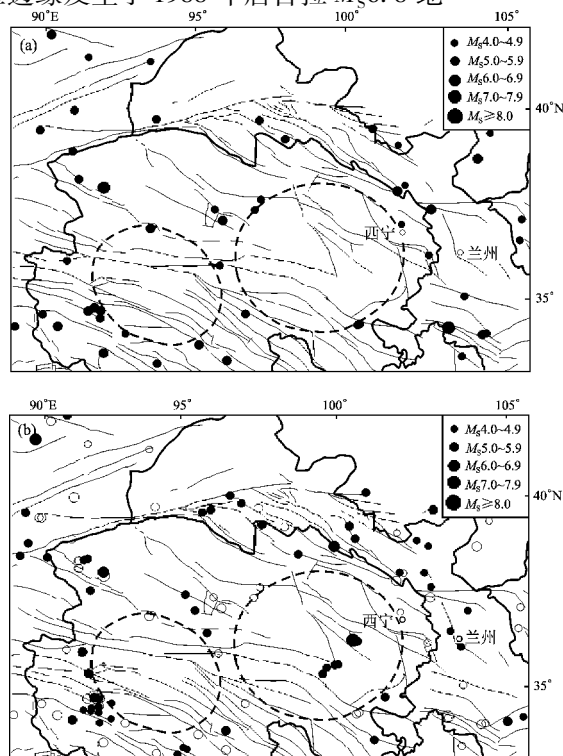


图 3 1990 年共和 $M_s 7.0$ 地震前

$M_L \geq 4$ 地震空区演化

(a) 1984 年 9 月 3 日~1987 年 9 月 11 日; (b) 1987 年 9 月 12 日~1990 年 4 月 26 日

Fig. 3 Evolution of seismic gap of $M_L \geq 4$ earthquakes before Gonghe $M_s 7.0$ earthquake in 1990

震。1987 年 9 月 12 日在空区内部发生了兴海 $M_L 4.8$ 地震,打破了 $M_L \geq 4$ 地震孕震空区,之后平静,1988 年 1 月 19 日兴海发生了 $M_L 5.0$ 地震,1988 年 6 月 9 日再次发生兴海 $M_L 4.8$ 地震。1988 年 11 月 7 日在空区边缘发生了玛沁 $M_L 4.5$ 地震和 1989 年 6 月 16 日同德 $M_L 5.2$ 地震。之后,孕震空区内部 $M_L \geq 4$ 地震出现平静态势,直至 1990 年 4 月 26 日共和 $M_s 7.0$ 地震,平静时间长达 590 天(图 3b)。

3.2 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震

昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震前,1998 年 12 月 4 日至 2001 年 11 月 13 日在青海中部—西北部大范围地区 $M_L \geq 4.0$ 出现地震空区,正常情况下,该空区内地震活动是比较活跃的,而在昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震前 3 年多的时间该区 $M_L \geq 4$ 地震显著平静,为 1990 年以来最为突出的现象,昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震就发生在空区内部。与 $M_L \geq 4$ 地震空区平静突出的同时,2000 年开始在东昆仑断裂带及其附近地震活动显著增强,唐古拉地区共发生 $M_s \geq 5$ 地震 10 次,最大为 2000 年 7 月 10 日 $M_s 5.6$ 地震,且以强震群的形式发生,2000 年 9 月 12 日兴海发生 $M_s 6.6$ 地震,2000 年 11 月 26 日在青新交界发生 $M_s 5.1$ 地震,该地震距 2001 年 11 月 14 日昆仑山口 $M_s 8.1$ 地震约 30 km(图 4)。

3.3 2010 年 4 月 14 日玉树 $M_s 7.1$ 地震

2008 年 5 月 12 日汶川 $M_s 8.0$ 地震之后,在

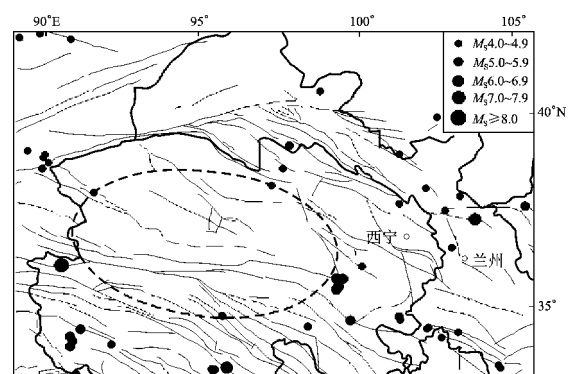


图 4 2001 年昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震前 $M_L \geq 4$ 地震空区演化

Fig. 4 Evolution of seismic gap of $M_L \geq 4$ earthquakes before West Kunlun Mountain $M_s 8.1$ earthquake in 2001

青海中南部地区形成 $M_L \geq 4.0$ 地震空区（图 5a），2009 年 5 月 29 日治多 $M_L 4.2$ 地震后，青海中南部—藏东地区 $M_L \geq 4$ 地震空区进一步完善，特别是 2009 年 8 月 31 日在 $M_L 4$ 地震空边缘发生了都兰 $M_L 4.6$ 地震， $M_L \geq 4$ 空区略有向南收缩的趋势。2010 年 3 月 6 日曲麻莱与都兰交界地区发生 $M_S 4.1$ 地震， $M_L \geq 4$ 空区进一步向南收缩，实际上平静区范围更加向未来震中收缩（图 5. b）。4 月 14 日 5 时 39 分 59 秒在 $M_L \geq 4$ 地震空区内部发生一次 $M_S 4.7$ 地震，130 分钟后发生了玉树 $M_S 7.1$ 地震。

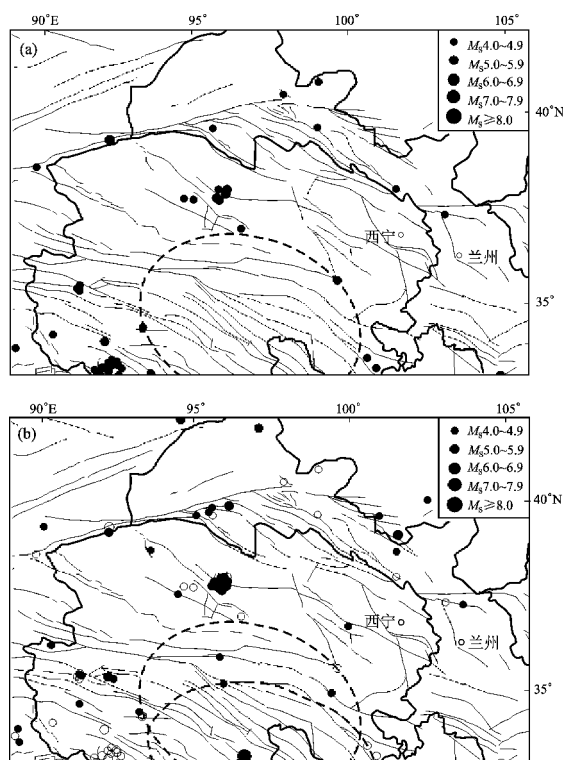


图 5 2010 年玉树 $M_S 7.1$ 级地震前
 $M_L \geq 4$ 地震空区演化

(a) 2008 年 5 月 12 日 ~ 2009 年 5 月 28 日；(b) 2009 年 5 月 29 日 ~ 2010 年 4 月 14 日

Fig. 4 Evolution of seismic gap of $M_L \geq 4$ earthquakes before Yushu $M_S 7.1$ earthquake in 2010

由此可见，1990 年共和 $M_S 7.0$ 地震、2001 年昆仑山口西 $M_S 8.1$ 地震和 2010 年玉树 $M_S 7.1$ 地震前均存在 $M_L \geq 4$ 地震的平静或者地震空区的演化，在大震的孕震区周围 $M_L \geq 4$ 地震出现平静—活跃，或持续平静或平静区逐步向未来震中收缩的现象，不同大震前表现形式不尽一致。这些特征为未来

强震趋势的判定提供了重要的参考价值。

4 强震的危险性讨论

2000 年 9 月 12 日兴海 $M_S 6.6$ 地震后，青海东部、甘肃和四川部分区域 $M_S \geq 6$ 地震出现大面积平静，形成 $M_S \geq 6$ 地震空区。在此背景下，2001 年 7 月 17 日兴海 $M_S 5.0$ 地震后，在青海东南部—甘青川交界一带出现了大范围中强地震平静的异常空区，在平静区边缘先后发生了 2008 年汶川 $M_S 8.0$ 、2010 年玉树 $M_S 7.1$ 地震（图 6），截至 2014 年 5 月 31 日，平静区内仍然没有发生 $M_S \geq 5$ 地震，2013 年 7 月 22 日甘肃岷县漳县 $M_S 6.6$ 地震和 9 月 20 日甘肃肃南、青海门源交界 $M_S 5.1$ 地震均发生在该 $M_S \geq 5$ 平静区的边缘。根据前面分析的西北地区 $M_S \geq 7$ 地震前 $M_S \geq 5$ 地震活动的特点，结合目前 $M_S \geq 5$ 地震的活动图像，综合分析认为目前持续的 $M_S \geq 5$ 地震平静区内部及其边缘存在发生 $M_S \geq 7$ 地震的危险。

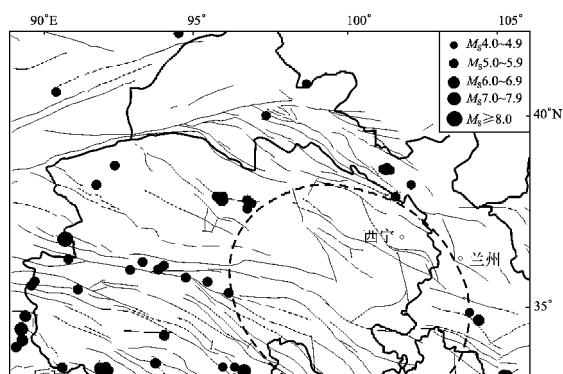


图 6 2001 年 7 月 17 日至 2014 年 5 月 31 日
西北地区 $M_S \geq 5$ 地震的平静图像

Fig. 6 Quiet image of $M_S \geq 5$ earthquakes in Northern Qinhai-Tibetan Plateau and Northwest of Qinghai from Jul. 17, 2001 to May. 31, 2014

从构造角度看，该 $M_S \geq 5$ 地震空区内及周边地区存在一系列规模较大的断裂，如昆中断裂、鄂拉山断裂带、东昆仑断裂带、玛多—甘德断裂带、东昆仑至玛多南断裂带、东昆仑至达日断裂带、久治断裂带和军功断裂带，以及西秦岭北缘断裂、岷江断裂等。东昆仑断裂带发生了一系列强震，但仍有一些段落无历史强震破裂，具有地

震危险性,其中断裂东端附近是最关注的地区,该区除玛沁—玛曲空段外,该区还是东昆仑构造带、龙门山构造带及秦岭构造带的交界地区,形成了复杂的构造结。在甘青川交界地区西侧的断裂主要以北西西向为主,具左旋走滑兼逆断特征,而东侧断裂以北东东向为主,性质以逆断或正断为主,具一定左旋走滑分量,具备发生强震的构造背景。

另一方面, $M7$ 专项工作组(2012)给出的该地区破裂空段由西秦岭中—西段,东昆仑断裂玛沁—玛曲段等,均分布在上述 $M_s \geq 5$ 地震空区内部。

5 结论与讨论

1920 年以来西北地区 $M_s \geq 5$ 、 $M_s \geq 6$ 和 $M_s \geq 6.5$ 地震具有丛集活动的特点,而 $M_s \geq 6.5$ 地震成丛、成组活动特征较为明显,并在 20 世纪 20 年代初至 30 年代末和 2000 年前后出现了两次较大的累积应变能释放的加速释放现象。

本文研究结果显示,西北地区 $M_s \geq 7$ 地震前会出现大范围的 $M_s \geq 5$ 地震平静,一般 $M_s \geq 5$ 地震以大范围的 $M_s \geq 5$ 地震平静现象或地震空区形式出现,平静时间持续最少 3 年,最长 11 年。如 $M_s \geq 7$ 地震发生在青海境内,则青海境内一般会出现大范围 $M_s \geq 5$ 地震的平静,如发生在甘肃境内,则祁连构造带或祁连构造带部分区域出现大范围的 $M_s \geq 5$ 地震平静。通过对 1970 年以来 3 次 $M_s \geq 7$ 强震前 $M_L \geq 4$ 地震的分析研究表明,强震前均存在 $M_L \geq 4$ 地震的平静现象或者空区的演化,一般表现为大震的孕震区周围出现平静—活跃、持续平静和宁静区逐步向未来震中收缩的 3 种表现形式。结合研究结果和当前地震活动的图像特征,认为当前西北地区存在 $M_s \geq 5$ 地震的大范围平静区周缘尽管发生了 2008 年 $M_s 8.0$ 地震和 2010 年玉树 $M_s 7.1$ 地震,仍然没有解除该 $M_s \geq 5$ 地震平静区,需注意青海东南部—甘青川交界地区的强震危险性。

梅世蓉等(2010)、陈立德等(2010)研究认为汶川 $M_s 8.0$ 、昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震前存在一些平静的现象,陈玉华等(2002, 2004)对中国大

陆西部强震震例的研究结果显示强震一般发生在平静异常出现后 6~32 个月内,曲延军等(2010)研究认为中国大陆自 1970 年以来 7 级地震前出现空区图像的比例达 100%,杨立明等(2002)和李英等(2004)研究认为青藏块体中北部强震前存在地震平静现象。可见,地震平静现象在青藏高原北部地区是比较普遍的现象。马胜利等(2013)研究认为当断层上存在强度较大的宏观凹凸体时,凹凸体破坏会产生新生断层段,其中伴随着地震活动的明显增强,但新生断层段在在断层滑动失稳——即强震前存在一个“蠕滑—匀阻化”过程,在此过程中地震活动会出现明显的平静现象,这从构造物理方面为我们提供了认识大震前地震活动平静现象的一种可能机制。但笔者认为,大震前地震平静现象固然是普遍的,但每次大震前地震平静现象的表现很不一样,试图用一种物理构造来解释或认识不太可能,不同的孕震环境和动力学特征决定了不同强震前的平静现象的表现形式差异,就西北地区而言,不同区域大震前其平静的范围和区域也不尽相同,青藏高原中北部地壳和上地幔为高阻区,对应的壳幔介质速度相对较大(魏文博等,2006; Yang *et al.*, 2010),笔者更偏向认为西北地区的这种大震前的平静现象可能与该地区的地下物质介质特性密切相关,与更深层次的地球动力学成因关系更为密切。

总之,由于大震前地震平静现象具有普遍性,因此地震平静现象被认为是具有物理意义的地震前兆并作为地震预报的重要依据,本文的工作也为西北地区开展震情跟踪和地震预测预报研究和实践提供一些有意义的参考。

参考文献:

- 陈立德,付虹,赵小艳. 2010. 汶川等巨震前 $M \geq 5$ 地震活动对比研究[J]. 地震, 30(4): 22–31.
- 陈玉华,马文静. 2002. 库玛断裂带强震活动与地震空区研究[J]. 地震, 22(2): 81–87.
- 陈玉华,孙洪斌. 2004. 中国大陆西部中等地震平静作为 6.5 级以上强震标志的研究[J]. 高原地震, 16(4): 8–12.
- 冯建刚,姚家骏,代炜. 2010. 青藏高原北部地区小震目录完整性分析[J]. 高原地震, 22(2): 10–14.
- 国家地震局震害防御司. 1995. 中国历史强震目录(公元前 23 世纪~公元 1911 年)[M]. 北京:地震出版社.
- 黄玮琼,李文香,曹学锋. 1994. 中国大陆地震资料完整性研究之

- 二——分区地震资料基本完整的起始年分布图象[J]. 地震学报, 16(4): 423–432.
- 李英, 赵卫明, 马禾青. 2004. 青藏块体中北部7级以上地震前地震活动特征[J]. 中国地震, 20(4): 430–436.
- 马胜利, 蒋海昆, 巴晶, 等. 2004. 大震前地震活动平静现象一种可能的机制: 断层的蠕滑—匀阻化[J]. 国际地震动态, (Z1): 76.
- 马玉虎, 陈玉华. 2010. 2010年4月14日玉树7.1级地震前异常特征及强震动力学关系探讨[J]. 中国地震, 27(2): 136–146.
- 马玉虎, 王培玲, 刘文邦. 2011. 青海地区各地震带强震活动基本状态探讨[J]. 高原地震, 23(4): 4–9.
- 马玉虎. 2005. 关于对青海地区强震综合预报的思考[J]. 高原地震, 17(3): 8–17.
- 梅世蓉, 薛艳, 宋治平. 汶川8.0级与昆仑山口西8.1级地震前地震活动异常特征与启示[J]. 地震, 29(1): 1–13.
- 曲延军, 王海涛, 邬成栋, 等. 2010. 中国大陆地震空区统计特征分析[J]. 地震学报, 32(5): 544–556.
- 邵志刚, 张浪平. 2013. 南北地震带北段近期强震趋势研究[J]. 中国地震, 29(1): 26–36.
- 魏文博, 金胜, 叶高峰, 等. 2006. 藏北高原地壳及上地幔导电性结构—超宽频带大地电磁测深研究结果[J]. 地球物理学报, 49(4): 1215–1225.
- 杨立明, 徐辉, 张勇. 2002. 青藏块体与相关区域7级地震相互关系研究[J]. 内陆地震, 16(3): 260–265.
- 张家声, 李燕, 韩竹均. 2003. 青藏高原向东挤出的变形响应及南北地震带构造组成[J]. 地学前缘, 10(特刊): 168–175.
- 中国地震局监测预报司. 2006. 西北地区强地震短期前兆特征和预测方法研究[M]. 北京: 地震出版社.
- 中国地震局震害防御司. 1999. 中国近代地震目录(公元1912–1990 $M_s \geq 4.7$) [M]. 北京: 中国科学技术出版社.
- M7 专项工作组. 2012. 中国大陆大地震中—长期危险性研究[M]. 北京: 地震出版社.
- Yang Y. J., Zheng Y., Chen J., et al. 2010. Rayleigh wave phase velocity maps in Tibet and the surrounding regions from ambient seismic noise tomography[J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems* M_s , doi: 10.1029/2010GC003119.

Research on Seismic Activity Characteristics before $M_s 7.0$ Strong Earthquakes and Recent Trend of Strong Earthquake in Northern Qinghai-Tibetan Plateau and Northwest of Qinghai

MA Yu-hu¹, YIN Xiang¹, SU You-jin²

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

(2. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

Analysis on the seismic activity characteristics of $M_s \geq 5$ earthquakes before eight $M_s 7$ strong earthquakes and seismic activity evolution of $M_L 4$ earthquakes before three $M_s 7$ strong earthquakes in the Northwest region, we found that there existed a large range of seismic quiet area of $M_s 5$ earthquakes and seismic gap of $M_s 5$ earthquakes. The evolution of seismic gap of $M_L 4$ earthquakes existed before $M_s 7$ strong earthquake in Northwest region, and its characteristic appeared the quiet-active, sustained quiet and the quiet area gradually coming to the epicenter in the future in generally.

Key words: Northwest region; $M_s 7$ strong earthquake; seismic activity; trend of strong earthquake