

中国大陆西部7级以上地震前 地震空区演化过程分析*

陈玉华, 姚家骏

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

摘要: 通过对1970~2010年中国大陆西部 $M \geq 7$ 地震前地震空区演化的研究, 认为 $M \geq 7$ 大震前中等以上地震空间展布呈现有规律演化过程, $M \geq 6$ 、 $M \geq 5$ 、 $M_L \geq 4$ 地震在同一构造区域逐渐出现大面积平静, 形成不同震级档配套的地震空区。这一图像演化过程对 $M \geq 7$ 大地震的孕育区域有一定的指示意义, 对 $M \geq 7$ 地震的中期预测有积极作用。

关键词: 7级以上地震; 地震空区; 中期预测; 中国大陆西部

中图分类号: P315.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2013)04-0418-09

0 引言

地震空区可能是未来大震危险区的概念在20世纪60年代已经萌芽。布内(1965)总结了加尔姆地区大震前地震活动的时空分布特征, 指出较强地震常常发生在地震活动减弱的区域内; Allen等(1965)研究了加利福尼亚地震活动, 指出活动断裂带上近期中小地震活动较低的地区可能是未来大震的“候选区”; Fedotov(1965)首先提出了地震空区的概念; Mogi(1979)将地震空区分为两类: 一类是地震带上大地震震源区分布的空段, 另一类是缺少中小地震的空区。我国地震学者对地震空区也做了不少研究, 梅世蓉(1960)在研究中国的地震活动性时曾指出: 一切毁灭性地震都不发生在有感地震频度最高的地方; 陆远忠等(1982, 1983, 1985, 1989)研究强震前中小地震活动的演变过程时, 提出了“背景空区”和“孕震空区”的概念; 刘蒲雄等(1993, 1997)在地震活动图像研究方面取得了很大进展。

目前, 地震空区作为预测未来强震地点的一种方法受到广泛的重视, 但人们希望从中取得更

多的地震要素讯息, 以便对未来大震的强度和发震时间作出估计。曲延军等(2010)对中国大陆地震空区统计特征分析后认为, 5级地震围空震级在 $M_L 2.5$ 左右, 6级地震围空震级在 $M_L 3.5$ 左右, 7级以上地震围空震级在 $M_L 4.0$ 左右。以往研究多是指出强地震前单一地震档空区现象, 近两年笔者在完成中国地震局监测预报司震情跟踪任务“西北地区强震前地震活动图像异常总结”时, 对中国大陆西部10次 $M \geq 7$ 地震进行跟踪研究后发现, $M \geq 7$ 地震并非仅有单一的地震空区, 而是震前同一构造区域地震震级由大到小逐渐大面积平静, 出现多震级档地震空区配套的特性。它有别于中强或强震前单一震级档形成的地震空区。研究认为这种地震空区的演化过程可能对 $M \geq 7$ 地震的孕育地点有指示意义, 对 $M \geq 7$ 地震的中期预测起到积极作用。

1 研究思路与方法

地震活动图像分析是以已发生地震的各种参数为基础资料, 借鉴这些震例所提供的经验来寻找具有前兆意义的异常地震活动图像, 诸如地震

* 收稿日期: 2013-01-30.

基金项目: 中国地震局监测预报司2012年度震情跟踪项目“西北地区强震地震活动图像异常总结”青海省地震科学基金项目(2012A05)、2013年震情跟踪青年课题(2013020105)联合资助。

空区、地震条带、地震活动增强、地震活动平静等。本研究主要采用陆远忠等(1989)地震空区定义,对历史上中国大陆西部 $M \geq 7$ 地震前同一构造区域中等以上地震空区演化过程进行回顾性跟踪、分析、总结,以期获得 $M \geq 7$ 地震前中等以上地震空区演化规律,同时检验这种图像演化对 $M \geq 7$ 地震孕育是否有普适性意义,讨论这些异常时间进程对 $M \geq 7$ 地震的预测意义。

2 选用资料

地震目录的完整性是地震空区研究的基础,中国大陆中小地震资料始于1970年。本文选择1973年以来中国大陆西部内陆腹地10个 $M \geq 7$ 地震作为研究样本(图1中椭圆虚线内地震),使用了中国地震局监测预报司预报管理处整编的《中国地震目录》(公元前23世纪~公元2010年5月)和中国地震局台网中心提供的1970年以来《全国小震月报目录》。

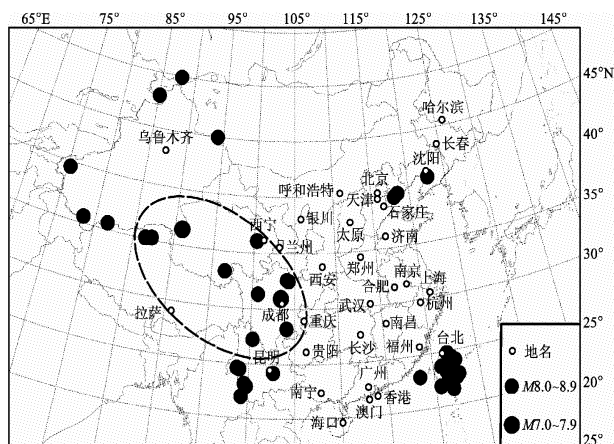


图1 1970~2010年中国大陆 $M \geq 7$ 地震分布

Fig. 1 Distribution of $M \geq 7$ earthquakes in Chinese mainland from 1970 to 2010

3 震例分析

通过对中国大陆西部10次 $M \geq 7$ 地震前地震活动图像演化过程的分析发现,其中9次地震前在同一构造区域均有 $M \geq 6$ 、 $M \geq 5$ 、 $M_L \geq 4.0$ 地震形成的大范围地震平静区,各震级档平静特征十分突出,构成不同震级档配套的地震空区。仅1976

年松潘、平武7.2级双震前地震空区配套不完整,但其震前地震活动图像也有明显的异常特征。本文所研究的两次8级特大地震前 $M_L \geq 3$ 地震也在震源区出现大面积平静的现象(表1)。

4 典型震例分析

4.1 1973年7月14日西藏亦基台错7.3级地震

1973年7月14日西藏亦基台错7.3级地震前 $M \geq 6$ 、 $M \geq 5$ 、 $M_L \geq 4.5$ 地震围西藏北部逐渐形成配套地震空区(图2)。1958年10月28日西藏阿木中6.5级地震后至1973年7月13日, $M \geq 6$ 地震围西藏北部地区形成地震空区,西藏亦基台错7.3级地震发生在空区内(图2a)。1959年4月27日青海唐古拉山口6.0级地震后, $M \geq 5$ 地震围青海西部及西藏东北部部分区域以东昆仑断裂带为主形成地震空区,1973年7.3级地震发生在空区西部边缘(图2b),由空区内 $M-t$ 图可见,震后空区解体。

西藏地区地震监测能力相对较低,通过分析该区地震记录完整性认为,20世纪70年代该区的监测能力为 $M_L \geq 4.5$ 。由中国大陆西部1970年4月至1972年12月30日 $M_L \geq 4.5$ 地震震中分布图(图2c)可见,1970年4月后围绕西藏北部的玛尼断裂、布孜鲁克—鲸鱼湖—得雨错—饮马湖弧形大断裂形成地震空区。1972年12月31日空区内西藏沙里地区发生5.2级地震(图2c中空圈),7个月后该地震西北170 km处发生7.3级地震,空区解体。

4.2 1990年4月26日青海共和7.0级地震

1990年4月26日青海共和7.0级地震前 $M \geq 6$ 、 $M \geq 5$ 、 $M_L \geq 4$ 地震围青海大面积区域逐渐形成非常完整、典型的配套地震空区(图3)。

1971年3月24日都兰6.3级地震后至1990年4月23日,青海东部 $M \geq 6$ 地震出现长达19 a的大面积平静(图3a),形成长期背景性地震空区;1986年12月21日格尔木西北5.3级地震后至共和7.0级地震前,青海广大地区 $M \geq 5$ 地震形成时长3年4个月的地震空区(图3b);1988年10月至1990年4月23日,青海中部 $M_L \geq 4$ 地震出现1年6个月的地震空区(图3c)。1990年4月26日青海共和7.0级地震发生在诸多地震空区内部。

表 1 中国大陆西部强震前不同震级档平静演化时间统计

Tab. 1 Statistic of quiescence evolution time in different magnitude in West Chinese mainland

序号	地震	震级	平静时段/年-月	平静时间/a	备 注
1	1973 年炉霍 7.6 级地震	$M \geq 6$	1967-09 ~ 1973-02	5.4	5 级地震环形平静。1969 年下半年震源区地震活跃； 1972 年 4 月 8 日后 $M_L \geq 4$ 地震沿鲜水河断裂活跃，打破平静
		$M \geq 5$	1966-10 ~ 1973-02	6.4	
		$M_L \geq 4$	1970-12 ~ 1973-02	1.3	
2	1973 年西藏 7.3 级地震	$M \geq 6$	1958-11 ~ 1973-07	15.5	20 世纪 70 年代西藏地区地震监测能力在 $M_L \geq 4.5$ 以上
		$M \geq 5$	1959-05 ~ 1973-07	15	
		$M_L \geq 4.5$	1970-04 ~ 1973-07	3.3	
3	1974 年大关 7.1 级地震	$M \geq 6$	1970-03 ~ 1974-05	4.2	
		$M \geq 5$	1971-03 ~ 1974-05	3.2	
		$M_L \geq 4$	1974-03 ~ 1974-05	0.3	
4	1976 年松潘、平武间 7.2 双震	$M \geq 6$	——		双震前 6 级、5 级地震在震源区显示出增强活动格局
		$M \geq 5$	——		
		$M_L \geq 4$	1975-02 ~ 1976-08	1.5	
5	1990 年共和 7.0 级地震	$M \geq 6$	1971-04 ~ 1990-04	19.0	
		$M \geq 5$	1986-12 ~ 1990-04	3.4	
		$M_L \geq 4$	1988-10 ~ 1990-04	1.5	
6	1996 年丽江 7.0 级地震	$M \geq 6$	1989-10 ~ 1996-02	6.3	6 级地震平静区北西边缘地震条带分布清晰
		$M \geq 5$	1993-08 ~ 1996-02	2.5	
		$M_L \geq 4$	1994-01 ~ 1996-02	2.1	
7	1997 年玛尼 7.3 级地震	$M \geq 6$	1985-06 ~ 1997-11	12.5	1997 年 1 月 20 日、3 月 22 日平静区发生 5.0、5.4 级信号震
		$M \geq 5$	1995-01 ~ 1997-11	2.8	
		$M_L \geq 4$	1996-01 ~ 1997-11	1.8	
8	2001 年昆仑山口西 8.1 级地震	$M \geq 6$	1915-06 ~ 2001-11	86.4	2000 年 11 月 26 日震中区发生 5.1 级信号震
		$M \geq 5$	1997-03 ~ 2001-11	4.7	
		$M_L \geq 4$	2000-10 ~ 2001-11	1.1	
9	2008 年汶川 8.0 级地震	$M_L \geq 3$	2000-11 ~ 2001-11	1.0	
		$M \geq 6$	1996-01 ~ 2008-05	12.5	
		$M \geq 5$	2002-09 ~ 2008-05	5.7	
10	2010 年玉树 7.1 级地震	$M_L \geq 4$	2007-08 ~ 2008-05	0.8	2010 年 4 月 14 日玉树 7.1 级地震前 130 分钟， $M_L \geq 4$ 地震平静区发生 4.7 级直接前震。
		$M_L \geq 3$	2008-04 ~ 2008-05	0.1	
		$M \geq 6$	1996-01 ~ 2010-04	14.2	
		$M \geq 5$	2007-06 ~ 2010-04	2.8	
		$M_L \geq 4$	2009-06 ~ 2010-04	0.8	

4.3 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震

2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震前 $M \geq 6$ 、 $M \geq 5$ 、 $M_L \geq 4$ 及 $M_L \geq 3$ 地震围东昆仑断裂逐渐形成配套地震空区（图 4）。

1915 年 4 月 28 日曲麻莱东 6.5 级、5 月 5 日治多东 6.5 级地震后，在青海南部围东昆仑断裂带中西段形成 $M \geq 6$ 地震空区，2001 年昆仑山口西 8.1 级地震发生在空区西北端；1997 年 2 月 9 日格

尔木西南 5.4 级地震后，青海西北部地区 $M \geq 5$ 地震形成地震空区，2000 年 11 月 26 日（震前 1 a）8.1 级震中区发生 5.1 级地震；2000 年 10 月后至震前， $M_L \geq 4$ 、 $M_L \geq 3$ 地震逐渐在同一区域进入平静状态，分别形成 $M_L \geq 4$ 、 $M_L \geq 3$ 地震空区。2001 年昆仑山口西 8.1 级地震发生在这些地震空区的西部边缘。其余震区展布约 400 km，全部在上述地震空区内沿东昆仑断裂带展布。

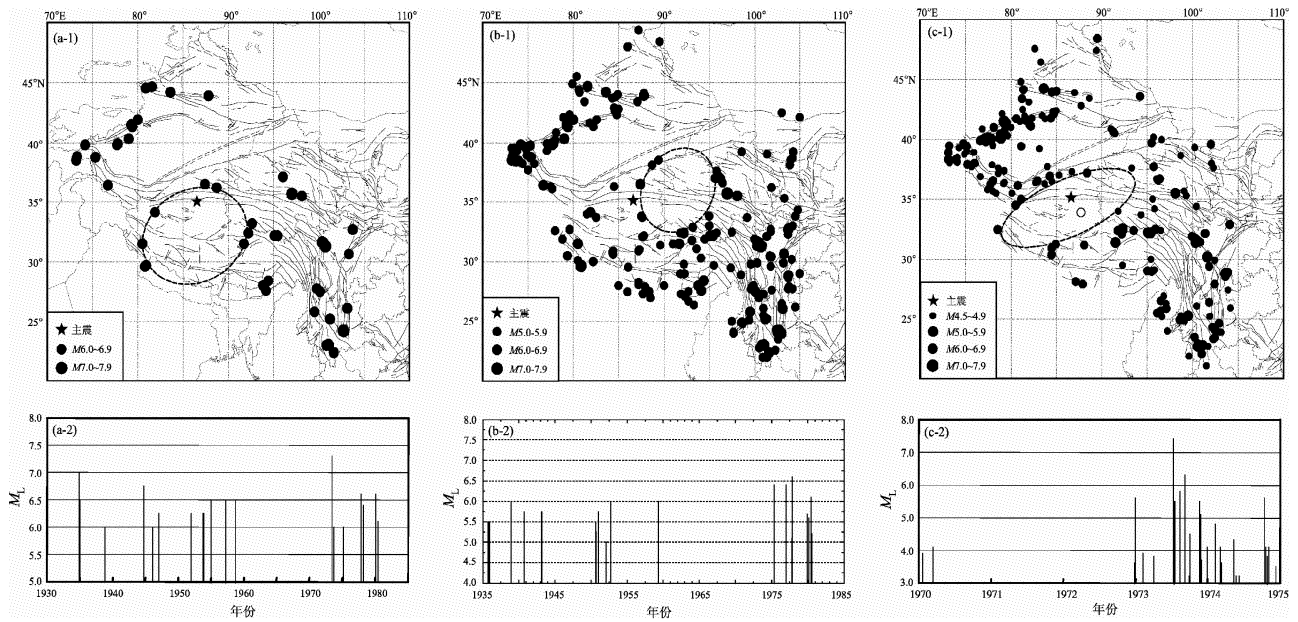


图2 1973年7月14日西藏亦基台错7.3级地震前配套地震空区及空区 $M-t$ 示意图
 (a) 1958年11月至1973年7月14日 $M \geq 6$ 地震; (b) 1959年5月至1973年7月14日 $M \geq 5$ 地震;
 (c) 1970年4月至1973年7月14日 $M_L \geq 4.5$ 地震

Fig. 2 The corresponding seismic gaps before Yijitai $M7.3$ earthquake in Tibet on Jul. 14, 1973 and $M-t$ chart of seismic gaps

(a) $M \geq 6$ earthquakes from Nov. , 1958 to Jul. 14, 1973; (b) $M \geq 5$ earthquakes from May. , 1959 to Jul. 14, 1973; (c) $M_L \geq 4.5$ earthquakes from Apr. , 1970 to Jul. 14, 1973

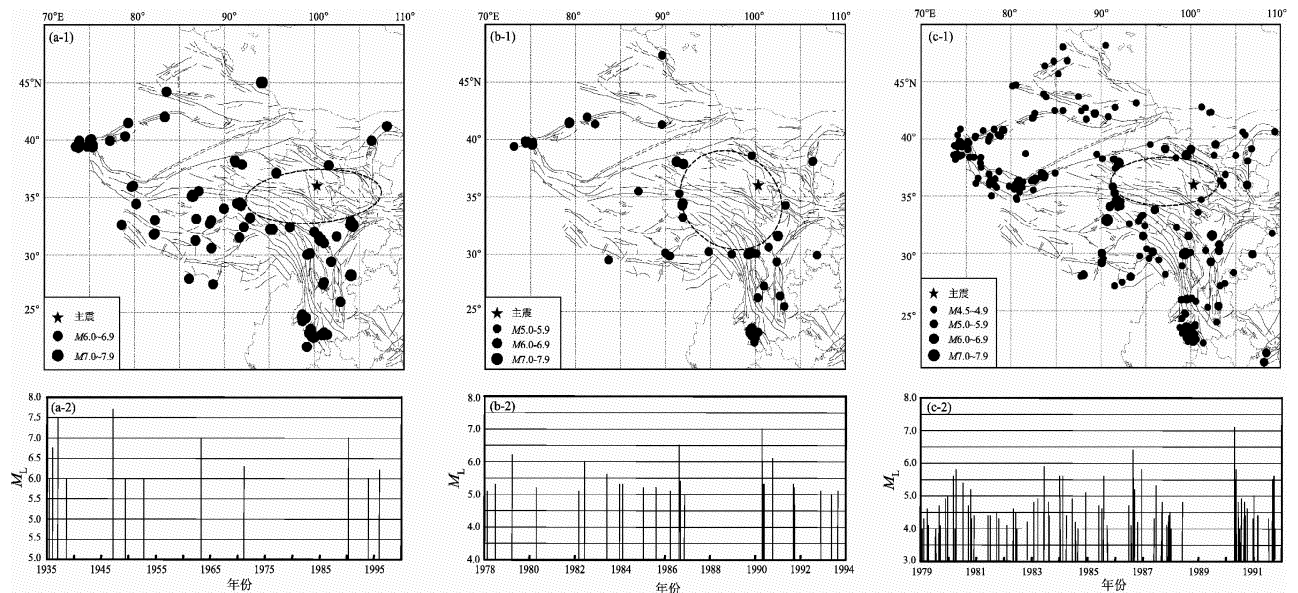


图3 1990年4月26日青海共和7.0级地震前配套地震空区及空区 $M-t$ 示意图
 (a) 1971年4月至1990年4月25日 $M \geq 6$ 地震; (b) 1986年12月至1990年4月25日 $M \geq 5$ 地震;
 (c) 1988年10月至1990年4月25日 $M_L \geq 4$ 地震

Fig. 3 The corresponding seismic gaps before the Gonghe $M7.0$ earthquake in Qinghai on Jul. 26, 1990 and $M-t$ chart of seismic gaps

(a) $M \geq 6$ earthquakes from Apr. , 1971 to Apr. 25, 1990; (b) $M \geq 5$ earthquakes from

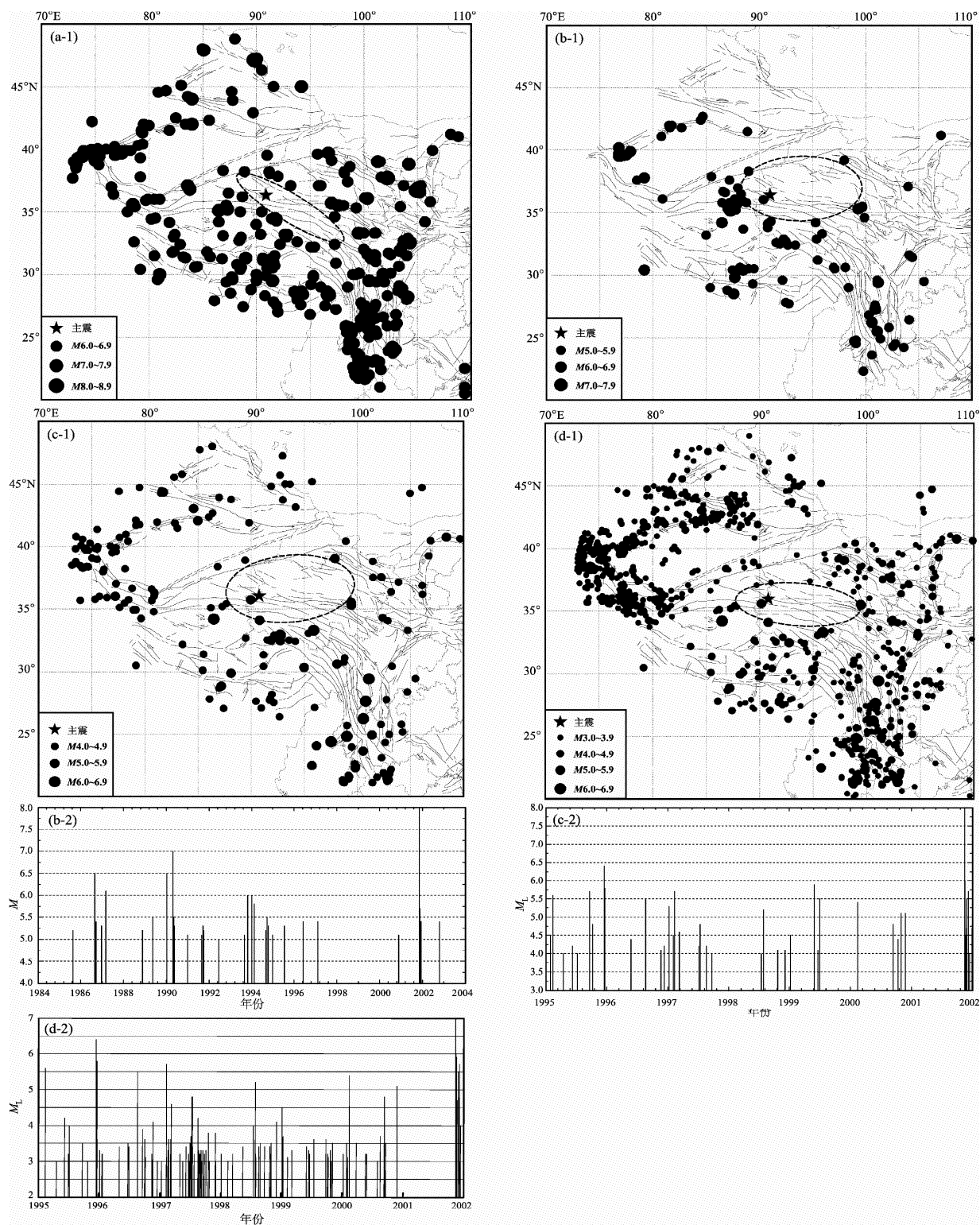


图4 2001年11月14日昆仑山口西8.1级地震前配套空区及空区 $M-t$ 示意图
 (a) 1915年6月至2001年11月14日 $M \geq 6$ 地震; (b) 1997年3月至2001年11月14日 $M \geq 5$ 地震; (c) 2000年10月至2001年11月14日 $M_L \geq 4$ 地震; (d) 2000年11月至2001年11月14日 $M_L \geq 3$ 地震

Fig. 4 The corresponding seismic gaps before the Western Kunlunshan Moutain Pass $M_{8.1}$ earthquake on Nov. 14, 2001 and $M-t$ chart of seismic gaps
 (a) $M \geq 6$ earthquakes from Jun. , 1915 to Nov. 14, 2001; (b) $M \geq 5$ earthquakes from Mar. , 1997 to Nov. 14, 2001; (c) $M_L \geq 4$ earthquakes from Oct. , 2000 to Nov. 14, 2001; (d) $M_L \geq 3$ earthquakes from Nov. , 2000 to Nov. 14, 2001

4.4 2010年4月14日玉树7.1地震

2010年4月14日玉树7.1级地震前 $M \geq 6$ 、 $M \geq 5$ 、 $M_L \geq 4$ 地震围西藏北部逐渐形成清晰的配套地震空区(图5)。

1995年12月18日青海玛多6.2级地震后, $M \geq 6$ 地震围青海南部、西藏东部及四川部分地区出

现近14.5 a的大面积平静,形成 $M \geq 6$ 地震空区(图5a),玉树7.1级地震发生在空区内;2007年5月7日西藏妥坝5.6级地震后,该区域 $M \geq 5$ 地震形成空区(图5b);2009年5月11日后该区域 $M_L \geq 4$ 地震出现明显平静现象,形成 $M_L \geq 4$ 地震空区(图5c)。

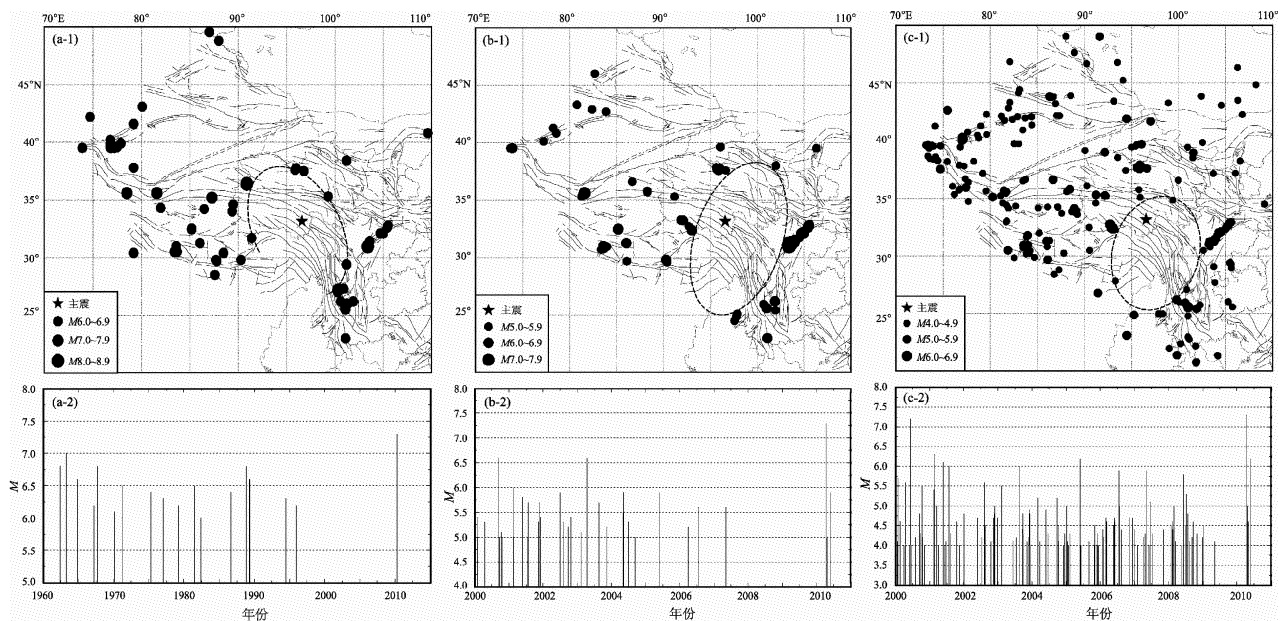


图5 2010年4月14日青海玉树7.1级地震前配套空区及空区 $M-t$ 示意图

(a) 1996年1月至2010年4月14日 $M \geq 6$ 地震; (b) 2007年6月至2010年4月14日 $M \geq 5$ 地震;
(c) 2009年6月至2010年4月14日 $M_L \geq 4$ 地震

Fig. 5 The corresponding seismic gaps before the Yushu $M7.1$ earthquake in Qinghai on Apr. 14, 2010 and $M-t$ chart of seismic gaps

(a) $M \geq 6$ earthquakes from Jan. , 1996 to Apr. 14, 2010; (b) $M \geq 5$ earthquakes from Jun. , 2007 to Apr. 14, 2010; (c) $M_L \geq 4$ earthquakes from Jun. , 2009 to Apr. 14, 2010

4.5 特殊震例

本次研究的10个震例中仅1976年8月16日、23日四川松潘、平武间7.2级双震前, $M \geq 6$ 、 $M \geq 5$ 地震在主震震源区没有出现平静,而是呈现一种增强过程。从1971年7月17日西藏错那5.3级地震后,大陆西部中强以上地震在川滇地区形成集中活动区(图6)。由该地震活动区 $M \geq 6$ 地震 $M-t$ 图看出,自1955年4月14日四川康定7.5级地震后,该区 $M \geq 6$ 地震活跃, $M \geq 7$ 地震平静。1970年1月云南通海7.8级地震打破平静,出现7级地震连发态势,至1976年的5年时间内共发生7次 $M \geq 7$ 地震。1976年8月松潘、平武7.2级地震是在强烈地震活跃背景下发生的。

松潘平武7.2级双震前(1975年1月10日至1975年12月6日) $M_L \geq 4$ 地震在青海东部、四川西北部出现近1 a的大面积平静,形成地震空区(图7a)。1975年12月7日至1976年7月16日在空区内接连发生多次 $M_L 4.0 \sim 4.6$ 地震,打破平静局面(图7b)。8月16日、23日地震空区东南边缘发生7.2级双震。

5 结论和讨论

中国大陆西部腹地10个 $M \geq 7$ 地震前地震活动图像演化过程,其中9个地震前在同一构造区域内 $M \geq 6$ 、 $M \geq 5$ 、 $M_L \geq 4$ (或4.5)地震分别形成

地震空区, 两个 8 级特大地震前 $M_L \geq 3$ 地震也在震源区出现空区。表明 $M \geq 7$ 地震前在同一构造区域逐渐形成的配套地震空区是 $M \geq 7$ 地震前的重要异常图像。四川松潘、平武 7.2 级双震前 $M \geq 5$ 、 $M \geq 6$ 地震表现出的地震活动演化图像是集中、增强—发震, $M_L \geq 4$ 地震则是平静—活跃—发震。其它震例所表现的则是多震级档地震逐渐平静, 形成地震空区—发震。无论是增强—发震, 还是平静—发震, $M \geq 7$ 地震前地震活动图像均有突出的异常演化过程。

多震级档地震空区符合陆远忠等 (1989) 对“背景空区”和“孕震空区”的相关定义, 其中 $M \geq 6$ 、 $M \geq 5$ 地震空区可作为背景空区, $M_L \geq 4$ 地震空区为孕震空区。多震级档地震空区的讨论原则上是在同一构造区域, 预测主震多发生在空区内部或空区边缘, 主震发生后空区解体。

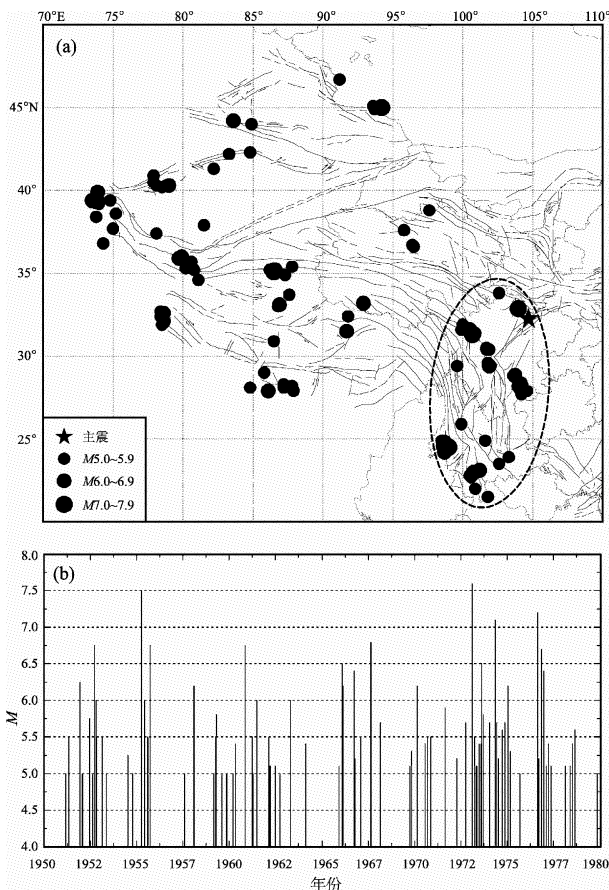


图6 1971年8月~1976年8月24日 $M \geq 5$ 地震分布 (a) 及川滇地区 $M \geq 6$ 地震 $M-t$ 图 (b)
Fig. 6 Distribution of $M \geq 5$ earthquakes from Aug. , 1971 to Aug. 24, 1976 (a) and $M-t$ chart of $M \geq 6$ earthquakes in Sichuan-Yunnan region

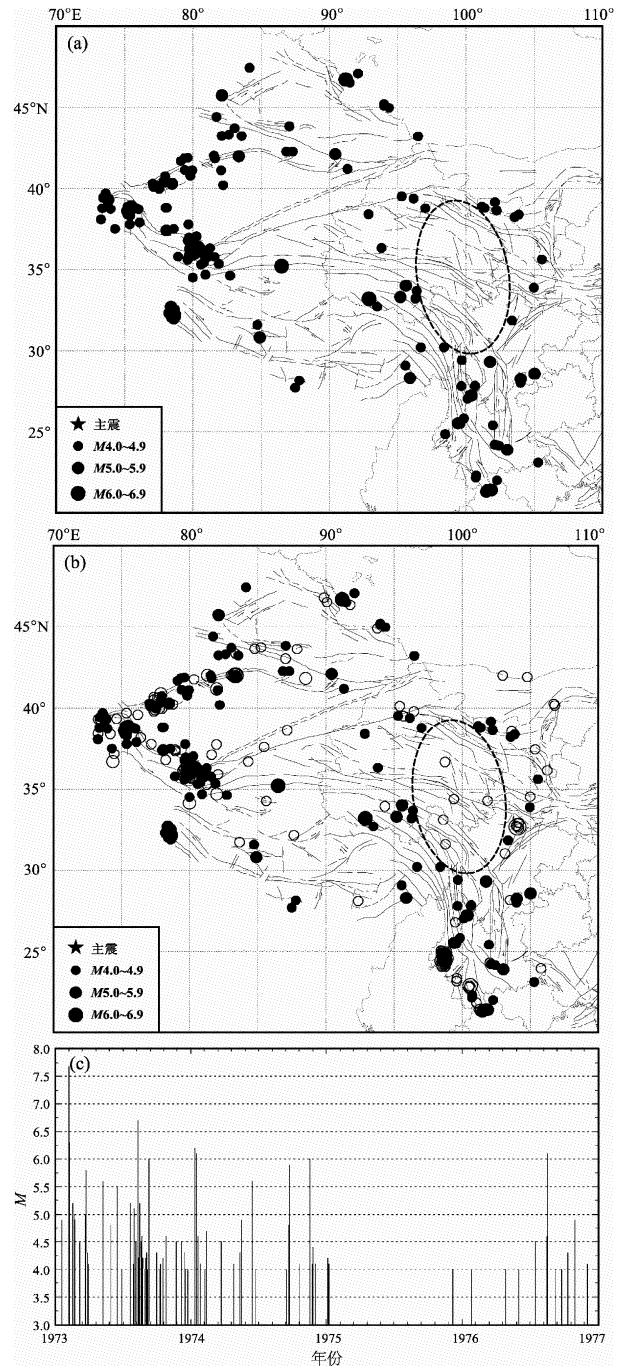


图7 1976年四川松潘、平武7.2级地震前空区及空区 $M-t$ 示意图 (空心圈为1975年12月6日~1976年8月16日地震)
(a) 1975年2月至1975年12月5日 $M_L \geq 4$ 地震分布;
(b) 1975年2月至1976年8月16日 $M_L \geq 4$ 地震分布
Fig. 7 The seismic gaps before the Songpan-Pingwu $M7.2$ earthquake in Sichuan in 1976 and $M-t$ chart of seismic gaps (the hollow circles represent the earthquakes from Dec. 6, 1975 to Aug. 16, 1976)
(a) distribution of $M_L \geq 4$ earthquakes from Feb. , 1975 to Dec. 5, 1975; (b) distribution of $M_L \geq 4$ earthquakes from Feb. , 1975 to Aug. 16, 1976; (c) $M-t$ chart of seismic gaps

据表1统计, $M \geq 6$ 地震空区最长 19 a, 最短 4.2 a, 平均 11.6 a (昆仑山口西 8.1 级地震除外); $M \geq 5$ 地震围空最长 6.4 a, 最短 2.5 a, 平均 4.5 a; $M_L \geq 4$ 地震围空最长 3.3 a, 最短 0.2 a, 平均 1.2 a。这些时间指标对于 $M \geq 7$ 地震的孕育时间进程有一定的预测意义。尤其是 $M_L \geq 4$ 地震出现围空后, 应注意可能进入 $M \geq 7$ 地震的中期阶段。

所研究的震例中, 玉树 7.1 级地震前的多震级档地震配套空区是震前提出且作为 $M \geq 7$ 地震的背景性异常密切跟踪的异常图像。2010 年度地震趋势会商该异常图像作为重点异常列入年度会商报告, 2010 年 3 月 31 日青海省地震局例行月会商中该异常图像再次被提出, 会商意见中指出“这种多震级档配套出现的地震空区是大震孕育的背景性异常”。2010 年 4 月 14 日 5 时 39 分配套空区内发生 4.7 级地震, 青海省地震局紧急会商, 主要依据跟踪的地震配套空区图像, 做出“注意信号震的可能, 跟踪青海中南部—藏东地区大震危险性”的预测意见, 130 分种后发生 7.1 级地震。这是跟踪地震配套空区一次较成功的预测, 虽然没有取得减灾实效, 但作为地震预测预报研究还是有一定的实际意义。

朱传镇等 (1981)、林邦慧等 (1994)、宋治平等 (2001) 研究认为, 中小震群活动与周围的中强以上地震有关, 一个接近 8 级的强震, 通过震群活动反映出来的应力变化其空间尺度可达近千公里。陈立德 (2000) 研究认为 7 级强震前兆异常范围至少 500 km, 因此前兆异常与地震都是区域应力场作用的结果和表现。地震行业标准《震例总结规范》(DB/T 24 - 2007) 规定 7 级大地震前兆异常研究半径为 500 km。多震级档地震围空最大半径也在 500 km 左右, 说明多震级档地震空区所反映的千余公里的空间尺度可能是 $M \geq 7$ 地震的孕育范围。

配套地震空区只是一个地震活动图像的表象特征, 它可能反映了 $M \geq 7$ 地震孕育的物理场, 但对于它的形成机制目前尚无明确的理论和实验解释。张国民等 (1993)、梅世蓉等 (1997)、刘杰等 (1999)、陆远忠等 (2007) 对地震学图像开展了多种数学物理模型研究, 这些研究在地震孕育的理论模型, 解释强震的时空轮回特征, 以及对

地震前兆现象提供理论解释等方面取得了明显的进展, 但是直接对地震空区、地震条带、地震活动的增强和其后的相对平静的机理的研究并不多。国外, Mori 和 Kawamura (2006) 利用一维弹簧滑块模型 (B-K 模型) 的数值模拟研究地震的时空分布, 认为地震空区这种圈饼型平静前兆图像出现的时间与模型中摩擦失稳的程度有关。

本文所研究的 $M \geq 7$ 地震前广泛出现的地震活动演化图象, 可通过普适性检验, 但目前尚无对反例 (即出现配套空区而无相应地震发生) 的研究, 仍有待于今后的震例检验和进一步的研究。

参考文献:

- 陈立德. 2000. 震源硬化模型的理论、实验及观测事实依据[J]. 地震, 20(1): 1-9.
- 林邦慧, 李大鹏, 刘杰. 1994. 前震和前震序列的研究[J]. 地震学报, 16(增刊): 24-38.
- 刘杰, 刘桂萍, 李丽, 等. 1999. 基于大陆地震活动特点建立的简化动力学模型—细胞自动机模型[J]. 地震, 19(3): 230-238.
- 刘蒲雄, 陈兆恩. 1997. 大震前地震活动图像演变及中期向短期过渡的地震活动性标志[J]. 地震, 17(2): 113-125.
- 刘蒲雄. 1993. 前兆地震活动图像及其在地震预报中的作用[J]. 中国地震, 9(2): 112-120.
- 陆远忠, 陈章立, 王碧泉. 1985. 地震预报的地震学方法[M]. 北京: 地震出版社.
- 陆远忠, 沈建文, 宋俊高. 1982. 地震空区与“逼近地震”[J]. 地震学报, 4(4): 327-335.
- 陆远忠, 宋俊高. 1989. 地震空区与地震预报[M]. 北京: 地震出版社.
- 陆远忠, 王炜, 沈建文. 1983. 地震空区与“逼近地震”续[J]. 地震学报, 5(2): 129-144.
- 陆远忠, 叶金泽, 蒋淳, 等. 2007. 中国强震前兆地震活动图像机理的三维数值模拟研究[J]. 地球物理学报, 50(2): 499-508.
- 梅世蓉, 薛艳, 宋治平, 等. 1997. 华北北部强震前震学的主要异常及其机理的初步解释[A]//国家地震局预测预防司编. 地震短临预报的理论与方法[C]. 北京: 地震出版社.
- 梅世蓉. 1960. 中国的地震活动性[J]. 地球物理学报, 9(1): 1-18.
- 曲延军, 王海涛, 邹成栋, 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.
- 宋治平, 徐平, 薛艳. 2001. 华北地区震群活动的阶段性特征[J]. 地震, 21(1): 47-52.
- 张国民, 耿鲁明, 石耀霖. 1993. 中国大陆强震轮回活动的计算机模拟研究[J]. 中国地震, 9(1): 20-32.
- 朱传镇, 付昌洪, 罗胜利. 1981. 震群与大地震关系的研究(华北地区)[J]. 地震学报, 3(2): 105-117.
- 布内 B U. 1965. 地震活动性的详细研究方法[M]. 北京: 科学出版社.

- Allen C R, Amand P St, Richter C F, *et al*. 1965. Relationship between seismicity and geologic structure in the southern California region [J]. BSSA, 55(4): 753 – 797.
- Mogi K. 1979. Two kinds of seismic gaps [J]. Pure Appl Geophys, 117(6): 1172 – 1186.
- Mori T, Kawamura H. 2006. Simulation study of the one-dimensional Burridge-Knopoff model of earthquakes [J]. JGR, 111(B7).
- Fedotov S A. 1965. Regularities of the distribution of strong earthquakes in Kamchatka, the Kurile Islands, and northeastern Japan [J]. Akad Nauk USSR Inst Fiz Aml: Trudy, 36: 66 – 95.

Analyze on Evolution Process of Seismic Gap before $M \geq 7.0$ Earthquakes in the Western Part of China Mainland

CHEN Yu-hua, YAO Jia-jun

(*Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810000, Qinghai, China*)

Abstract

By studying the evolution process of seismic gaps before $M \geq 7.0$ earthquakes occurred in the western part of China mainland from 1970 to 2010, it was suggested that the spatial distribution evolution process of moderate and strong earthquakes showed relatively regular before $M \geq 7.0$ earthquakes, which showed that $M \geq 6$, $M \geq 5$ and $M_L \geq 4$ earthquakes gradually appeared very quiet in a large area at the same tectonic region, forming seismic gaps with different magnitude intervals. The evolution process of such patterns is the guidance of the pregnancy zone of $M \geq 7.0$ earthquakes, and has an important effect on the medium-term prediction on the $M \geq 7.0$ earthquakes.

Key words: $M \geq 7.0$ earthquakes; seismic gaps; medium-term prediction; the western part of China mainland