

大震前后中强地震活动格局变化 及其预测意义初步研究

杨立明^{1,2}, 车 时³

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

3. 中国地震局监测预报司, 北京 100036)

摘 要:从演化的角度研究了1950年以来青藏块体中强以上地震活动大尺度的空间有序性及震后活动格局的转折变化。结果指出,大震前大尺度地震活动时空有序图像的出现是大震孕育过程中的一个重要阶段,对7级以上地震的中期预报具有指示意义;大震后原有活动格局的打破及转折是震后地震演化过程中的一个重要阶段,对未来地震活动的预测具有指示意义。在打破格局的地震及其附近地区继续发生中强以上地震或显著性地震事件的可能性较大;而在1~3年的中期尺度上,这些地区及其附近存在发生7级以上地震的可能。

关键词:地震活动;时空有序图像;活动格局;转折变化

中图分类号:P315.75

文献标识码:A

文章编号:1000-0844(2004)03-0212-06

0 引言

一般来说,大震的孕育、发生、发展是一个系统的科学问题,伴随着一系列的地球物理、地震活动、前兆反映等变化,在震前、震时、震后以不同的形式体现出来。其中大震前后中强以上地震大尺度的活动格局变化可能蕴含着地震孕育阶段性的信息,具有深刻的物理内涵。有关2001年昆仑山口西8.1级地震的相关研究工作已经很多。该次地震前后地震活动大尺度的格局变化是很显著的,主要表现在震前演化的阶段性、大尺度活动图像的有序性、震后长时间5级以上地震活动的平静及中强地震相对集中在原震区附近活动等特征。2002年12月14日甘肃玉门5.9级、12月25日新疆乌恰5.7级等地震的发生打破了8.1级地震后长时间中强地震集中在原震区附近发生的态势,中强地震活动格局发生了转折变化。如何客观的分析、认识围绕大震的孕育、发生和发展出现的这些大尺度的格局变化,总结其中蕴含的预报信息,是一个值得深入研究的问题。

1 大震前大尺度中强地震活动格局的演化过程分析

2001年昆仑山口西8.1级地震前,中强地震活动表现出了高度有序的空间分布格局。1998年11月至1999年8月,5级以上地震分布呈明显的北西向条带分布;2000年表现为北东条带与北西条带的交叉分布;2000年底至大震发生则呈现两条明显的南北向条带分布,如图1所示。地震活动的这种有序分布图象可能跟地震孕育的特定阶段相呼应。经研究,1950年以来这种有序图像出现过9次,基本特征统计如表1所示。

图1、表1中构成有序活动图像的地震为5~6.9级地震;序号为2、6、9的地震前出现了不止一次的连续的有序分布,可能与同一次7级地震前孕育的阶段性有关,因而在分析中作为同一次或一组有序分布看

收稿日期:2003-05-12

基金项目:中国地震局“十五”攻关项目“强地震中期预测新技术、物理基础及其应用研究-01”课题的资助(100501-05-01);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC20040070

作者简介:杨立明(1966-),男(汉族),甘肃正宁人,研究员,现主要从事地震预报的理论、方法研究和预报实践工作。

待。可以看出,1950 年以来的 9 次(组)有序活动图象出现后,有 8 次(组)在南北地震带或西藏及附近地区发生了 7 级以上地震,对应率 8/9;同时,1953 年以来(因为第一条大尺度的条带分布是 1952 年 6 月开始形成的),南北地震带或西藏地区及附近 17 次独立的 7 级以上地震中有 15 次发生在青藏块体出现类似有序图象的前提下(1973 年 2 月 6 日炉霍 7.6 级、1973 年 7 月 14 日申札 7.3 级地震例外),若以条带开始形成的时间算起,发震时间基本在 3 年内。

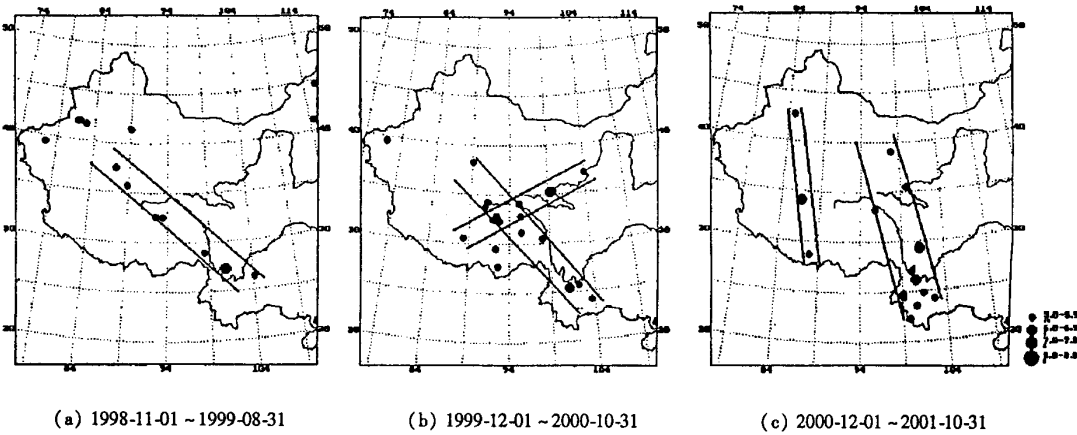


图 1 8.1 级地震前青藏块体 5 级以上地震活动图像的有序分布
Fig. 1 The spatial ordering pattern with $M_s \geq 5$ in Qinghai - Xizang block before the earthquake with $M_s 8.1$.

表 1 1950 年以来青藏块体中强地震的空间有序分布特征

序号	活动时段	图像特征	后续 7 级地震	
			南北带地区	西藏及附近地区
1	1952-09-20 ~ 1953-06-01	两条南北向条带与一条近东西向条带交汇	1954-02-11, 山丹, 7.25 级	
			1954-07-31, 民勤, 7.0 级	
			1955-04-16, 康定, 7.5 级	
2	1961-01-01 ~ 1962-01-01	东西与南北条带交汇	1963-04-19, 阿拉克湖, 7.0 级	
	1962-01-12 ~ 1963-04-19	显现两条南北向条带		
3	1968-02-01 ~ 1969-12-31	显现两条南北向条带	1970-01-05, 通海, 7.7 级	
			1974-05-11, 大关, 7.1 级	
4	1973-07-01 ~ 1976-05-28	显现两条南北向条带	1976-05-29, 龙陵, 7.3、7.4 级	
			1976-08-16, 松潘、平武, 7.2、7.2 级	
5	1978-01-01 ~ 12-31	显现南北向条带		
6	1985-11-01 ~ 1987-01-01	北东、北西向条带交汇	1988-11-06, 澜沧, 7.6、7.2 级	
	1987-01-01 ~ 1988-11-01	南北、北西向条带交汇		
7	1989-01-01 ~ 1990-04-20	显现两条南北向条带	1990-04-26, 共和, 7.0 级	
8	1995-01-01 ~ 1996-07-03	北东向条带	1995-07-12, 孟连, 7.3 级	1996-11-19, 喀喇昆仑, 7.1 级
	1998-11-01 ~ 1999-08-31	北西向条带	1996-02-03, 丽江, 7.0 级	1997-11-03, 玛尼, 7.5 级
9	1999-09-01 ~ 2000-12-31	北东、北西条带交汇		2001-11-14, 昆仑山口西, 8.1 级
	2001-01-01 ~ 10-31	两条南北向带状条带		

因而,青藏块体大尺度的有序图象的出现可能是区域 7 级以上地震前构造活动、应力场演化的阶段性表现,是 7 级以上地震孕育演化过程中的一个重要阶段,对 7 级地震的预报具有指标意义。

需要说明的是 1996 年前后从西藏谢通门到包头的 6 级地震条带是引起广泛关注的地震活动图像。经过仔细的分析,如果考虑成 6 级地震条带,该条带的持续时间为 1994 年 1 月 3 日~1996 年 7 月 3 日,在

此期间先后发生6级以上地震5次,地震间隔时间紧凑,基本集中在半年以内;如果考虑成5级地震条带,该条带的持续时间为1995年1月1日~1996年7月3日。尽管后来的张北地震、兴海地震等继续发生在该条带上,但时间间隔已经比较分散。

2 大震后地震活动格局的转折变化现象分析

2001年11月14日昆仑山口西8.1级地震后最显著的活动现象是5级以上地震长时间的平静。同时,截至2002年12月玉门5.9级地震的发生,大陆地区的5级以上地震几乎都相对集中在8.1级地震的原震区附近,反映了8.1级地震后应力场仍未得到较好的调整。其中,尽管出现了2002年6月4日西藏普莱5.7级地震,地震活动似乎表现出了发散的迹象,但随后的5级以上地震继续维持在原震区及附近地区活动的格局。2002年12月14日玉门5.9级地震、12月25日新疆乌恰5.7级地震的发生,打破了中强地震集中出现在原震区的格局,该两次地震的发生是8.1级大震后大陆地区地震活动状态发生转折变化的标志性的事件。

为了对这种活动格局的转折变化及其预测意义有一个系统的认识,更好的跟踪、判定其后的地震形势,这里对1950年以来大陆地区发生的所有9次(不含2001年昆仑山口西8.1级地震)7.5级以上巨大地震后活动格局发生转折变化的事实和现象进行分析归纳,以探求其中蕴含的预报意义。

首先做一些约定:称一次巨大地震后地震活动集中在原震区及其附近活动的阶段为第一阶段,即原震区活动阶段;在此基础上,在远离原震区的两个或两个以上相互独立的地区同时或先后发生中强以上地震,为地震活动的第二阶段,对应于地震活动开始发散,活动格局发生转折变化的阶段;随后的时期为第三阶段,对应于地震活动格局转折后的阶段。考虑到5级地震的随机性较大,这里采用5.5级以上地震作为起始地震进行研究。

以玛尼7.5级地震后的格局变化为例,大致经过了以下阶段:(1)第一阶段:1997年11月8日玛尼7.5级地震后到1998年1月9日,大陆地区的5.5级以上地震均发生在玛尼原震区附近,其它地区没有5.5级以上地震活动,此为原震区活动阶段;(2)第二阶段:1998年1月10日~1998年3月19日期间,先后发生了1998年1月10日张北6.2级地震、1998年3月19日伽师6.0级地震。这两次相互独立且跟玛尼地震没有直接关系的地震表明地震活动开始向外扩散,意味着地震活动格局发生了较大的转折变化。而1998年7月20日西藏谢通门6.1级地震则是另外一个显示地震活动向外区扩散的地震事件;(3)第三阶段:1998年3月19日至8月27日期间,在上述打破格局的伽师地震附近中强以上地震频繁,先后发生5级以上地震5次,包括8月2日伽师6.0级、8月27日伽师6.6级等地震;在张北地震附近,震后1年内于1999年3月再次发生了一次5.6级地震;在谢通门及附近地区,7月20日至9月4日期间中强地震频繁,发生5级以上地震8次,包括7月20日谢通门6.1级、8月25日申札6.0级、9月4日定日6.2级等地震。需要说明的是,以上三个打破格局的地震附近发生的张北地震、伽师强震群、谢通门附近震群等活动事件均是在当时条件下最为显著的地震活动事件。1997年玛尼地震及其后不同阶段大陆地区地震活动的情况如图2所示。

采用同样的方法分析了1950年以来大陆地区7.5级以上巨大地震后地震活动、格局转折及其演化三个阶段的基本资料,结果如表2所示。其中的“显著性地震事件”是指7级(东部地区为6级)以上地震或显著的震群事件等。可以看出,巨大地震后地震活动演化的阶段性具有普遍性。主要特征表现为:

(1)巨大地震后的中强地震活动,除1976年唐山地震、1955年康定地震外,均具有三个阶段活动的特征,按照时间的先后顺序,依次为原震区活动阶段、格局转折变化阶段、格局转折变化后阶段。

(2)原震区活动阶段的持续时间大致在80天之内,期间地震活动集中在原震区及附近地区。

(3)地震活动格局转变阶段大致有两种形态:一种可称之为紧密型,即打破格局的地震在很短的时间内相继发生,持续活动事件基本分布在几天到一个月内,优势时段在5~22天之间;另一种形态可称之为分散型,即打破格局的地震活动在时间上的集中现象不很明显,持续时间可能在3~6个月之间。

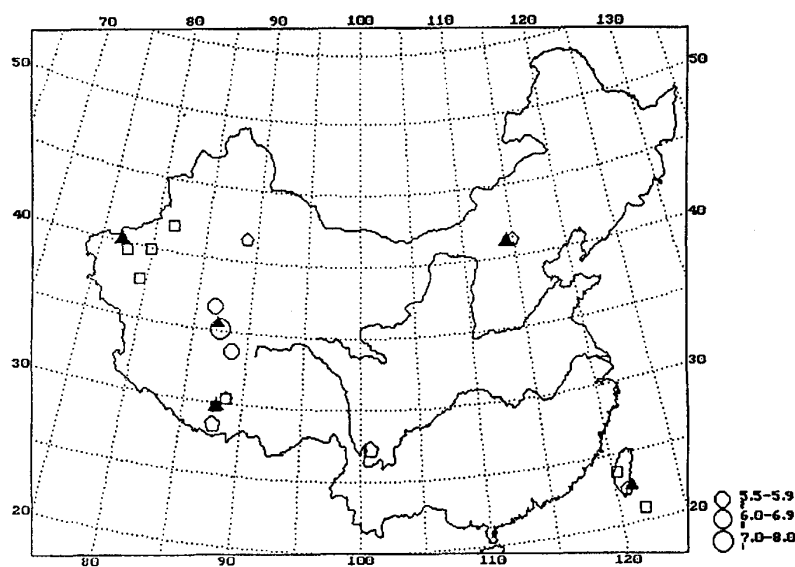


图2 1997年玛尼地震后大陆地区地震活动的阶段性特征

(○:代表原震区活动的地震,▲:代表打破格局的地震,□:代表格局打破后6个月内的5.5级以上地震,
◇:代表格局打破后7~12个月的5.5级以上地震活动)

Fig.2 The stage characters of seismicity in the mainland after Mani earthquake occurred in 1997.

(4)格局打破后的半年内,在打破格局的地震及其附近地区有7次发生了1次或多次5.5级以上地震;7~12个月内有5次发生了1次或多次5.5级以上地震。即打破格局的地震及附近地区在格局改变后的1年内再次发生5.5级以上地震的可能性较大。

(5)一个有意义的结论是,在打破格局的地震及附近地区发生显著性地震事件的可能性较大。其中有55%(11/20)在格局改变的同时或其后3.5年内发生了显著性的地震事件,其中1998年伽师震群、1998年谢通门附近震群、巴塘—小金震群、松潘7.2级双震等显著事件是伴随着格局的打破在较短的时间内发生的;而张北地震、龙陵7.4、7.3级双震、炉霍7.6级、大关7.1级、康定7.5级、当雄8.0级、当雄7.5级等地震则是在1~3.5年的时间内,距离打破格局的地震350 km以内的地区发生的。

3 结论

由以上的分析可以看出:

(1)大震前大尺度的地震活动时空有序图像的出现是大震孕育过程中的一个重要阶段,对青藏块体7级以上地震的预报具有中期指示意义。若以有序图像开始形成的时间算起,发震时间基本在3年内。

(2)大震后原有活动格局的打破及转换,是大震后地震演化过程中的一个重要阶段,打破格局的地震对未来地震活动趋势的分析预测具有指示意义。在打破格局的地震及其附近地区继续发生中强以上地震或显著性地震事件的可能性较大,在1~3年多的时间尺度上这些地区及其附近350 km以内存在发生7级以上地震的可能。

1998年青藏块体5级以上地震活动大尺度的有序图像出现后,2001年11月14日发生了昆仑山口西8.1级地震。而震后持续的5级以上地震的低水平活动及中强地震围绕原震区持续活动的格局由于2002年12月14日玉门5.9、12月25日乌恰5.7级等地震的发生而打破。由此得到一个有意义的推测:在乌恰—伽师及附近地区和玉门附近地区存在继续活动的可能,并成为中期阶段中国大陆发生强震危险性较高的地区。实际上,2002年12月25日乌恰5.7级地震后到2003年6月底,在伽师附近地区已陆续发生

表2 1950年以来大陆地区7.5级以上巨大地震后地震活动、格局转折及其演化阶段性划分

巨大地震			第一阶段:原区活动			第二阶段:格局改变		第三阶段:格局改变后		格局改变及其后
时间	震级	地点	活动时段	天数	活动时段	类型	改变格局的地震	1-6月段	7-12月段	显著地震事件
							1998-01-10, 6.2, 张北		1999-03-11, 张北, 5.6	张北地震
								伽师震群: 5级以上地震		
							1998-03-19, 6.0 伽师	5次, 包括8月2日的伽师		伽师强震群
								6.0, 8月27日伽师6.6级。		
1997-11-08	7.5	玛尼	1997-11-08 ~ 1998-01-09	61	1998-01-10 ~ 03-19	分散型		谢通门附近震群: 5级以上8		
								次, 包括7月21日谢通门6.		
							1998-07-20, 5.3, 谢通门	1级, 8月25日申札6.0级、		谢通门附近震群
								9月4日定日6.2级。		
							1989-02-04, 5.6, 尼木			
								巴塘震群: 包括5月3日巴		
								塘6.2级, 7月21日巴塘		
1988-11-06	7.6	澜沧	1988-11-06 ~ 1989-02-04	87	1989-02-04 ~ 05-14	分散或 紧密型	1989-04-25, 6.7, 巴塘	5.9级和9月22日小金6.6		巴塘—小金震群
								级。		
							1989-05-14, 5.7, 格尔木		1990-01-14, 茫崖6.7, 约	
									250km。	
							1976-08-16, 7.2, 松潘			
1976-07-28,	7.8	唐山	1976-07-28 ~ 08-15	17	1976-08-16 ~ 09-23	紧密型	1976-08-23, 7.2, 松潘			松潘地震
							1976-09-23, 6.2, 阿左旗			
								1973-06-02, 腾冲5.1		3年内在景洪350km内
								1973-08-16, 普洱6.3		发生了龙陵7.3、7.4级
1973-02-06	7.6	炉霍	1973-02-06 ~ 03-21	45	1973-03-22 ~ 26	分散型		1973-08-16, 普洱5.2		双震。
							1973-06-03, 6.0, 精河			
							1970-02-19, 6.1, 米林			
1970-01-05,	7.5	通海	1970-01-05 ~ 02-18	44	1970-02-19 ~ 24	紧密型	1970-02-24, 6.2, 大邑	1970-11-08, 襄塘5.5		3.5年内在大邑300km
										内发生了炉霍7.6、大关
										7.1地震。
1955-04-14,	7.5	康定	1955-04-14 ~ 06-26	73	1955-06-27 ~ 12-29	分散型	1955-06-27, 5.7, 日土			
							1955-12-29, 5.5, 拉萨			
							1952-09-30, 6.7, 冕宁		1955-04-14, 康定7.5;	3年内在冕宁附近发生
1952-08-18,	7.5	当雄	1952-08-18 ~ 09-29	42	1952-09-30 ~ 10-08	紧密型				了康定7.5、会理6.7级
							1952-10-08, 5.5, 原平			等地震。
							1951-12-21, 6.2, 剑川		1952-09-30, 冕宁6.7;	3.5年内在距剑川
1951-11-18,	8.0	当雄	1951-11-18 ~ 1951-12-20	33	1951-12-21 ~ 1951-12-31	紧密型				400km内发生康定7.5
							1951-12-27, 6.0, 肃北	1952-01-23, 肃北5.5	1952-10-06, 青海北, 6.0	地震。
							1950-08-21, 5.5, 安多	1950-12-29, 尼玛5.7		2年内在安多250km内
1950-08-15,	8.6	察隅	1950-08-15 ~ 20	6	1950-08-21 ~ 09-13	紧密型				发生了当雄8.0、当雄
							1950-09-13, 建水5.7			7.5等地震。

了8次5级以上地震,其中包括2月24日显著的伽师6.8级地震,该次地震造成了严重的人员伤亡,而在距离玉门290 km的德令哈发生了2003年4月17日显著的6.6级地震,该两次地震是昆仑山口西8.1级

地震后大陆地区发生的最大的两次地震。另外,需要引起注意的是2002年9月28日青海杂多5.2级地震后,在玉门—唐古拉一带再次形成了一个5级以上地震带状有序分布,有可能是青藏块体下一个7级地震孕育中期阶段的异常表现,对该现象需要进一步的跟踪与研究。

以上分析由于所用资料有限,所得结论有待更多资料的补充、完善和发展。

[参考文献]

- [1] 马文静. 昆仑山口西8.1级地震主要异常及预报过程反思[J], 高原地震, 2002, 14(1): 2-10.
- [2] 江在森, 等. 昆仑山口西大地震前区域构造变形背景[A]. 见: 中国地震学会第九次学术大会论文摘要集[C]. 北京: 地震出版社, 2002. 48.
- [3] 宋治平, 等. 昆仑山口西大地震的地震活动异常特征[A]. 见: 中国地震学会第九次学术大会论文摘要集[C]. 北京: 地震出版社, 2002. 50.
- [4] 张永仙. 昆仑山口西大地震前的一些现象及对中国大陆地震形势的看法[A]. 见: 中国地震学会第九次学术大会论文摘要集[C]. 北京: 地震出版社, 2002. 54.
- [5] 杨立明. 昆仑山口西大地震孕育演化的阶段性研究[A]. 见: 中国地震学会第九次学术大会论文摘要集[C]. 北京: 地震出版社, 2002. 49.

PRIMARY STUDY ON THE MIGRATE OF LARGE-SCALE SEISMICITY PATTERN BEFORE AND AFTER LARGE EARTHQUAKE AND ITS SIGNIFICANCE FOR PREDICTION

YANG Li-ming^{1,2}, CHE Shi³

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

3. The Department of Observation and Prediction of CEA, Beijing 100036, China)

Abstract: The large-scale seismicity spatial ordering pattern and the turning characteristics of postseismic activity pattern of moderate-strong earthquake are studied in Qinghai - Xizang block from 1950. The results point out that the appearance of large-scale seismicity spatial ordering before large earthquake is an important stage in the process of strong earthquake development and it can conduct the $M_s \geq 7$ earthquake prediction. The breakout or turning of moderate-strong earthquake activity pattern is also an important stage in the process of postseismic activity evolvement, especially the earthquake which breaks down the pattern gives an indication of future seismic activity tendency. There is probability of reoccurring moderate - strong earthquakes or distinct events, and $M_s \geq 7$ earthquake in 1 ~ 3 year in the region and adjacent areas of earthquake that breaks out the seismic activity pattern.

Key word: Seismicity; Spatial ordering pattern; Activity pattern evolvement; Turning