

任雪梅、焦德成、蔡新华, 2017, 宁夏及邻区  $M_s \geq 5.0$  地震的前震和广义前震特征分析, 中国地震, 33(1), 91~100。

# 宁夏及邻区 $M_s \geq 5.0$ 地震的前震 和广义前震特征分析

任雪梅 焦德成 蔡新华

宁夏地震局, 银川市北京东路 244 号 750001

**摘要** 通过对宁夏及邻区 1970~2015 年 14 次  $M_s \geq 5.0$  地震前的中短期弱震的时空分布特征进行分析, 总结了该区域  $M_s \geq 5.0$  地震的前震、广义前震特征, 具体研究了空区、条带、信号地震和前兆地震等的时空特征, 分析了各种异常的地震预测指示意义, 并给出了宁夏及邻区直接前震的识别与判定标准。此外, 还分析了内蒙古 1976 年 9 月 23 日巴音木仁  $M_s 6.2$  地震前与 2015 年 4 月 15 日阿拉善左旗  $M_s 5.8$  地震前弱震活动特征间的差异。

**关键词:** 前震 广义前震 空区 条带 信号地震 前兆震群

[文章编号] 1001-4683(2017)01-0091-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

前震的特征与识别及其在强震中短期预测方面的应用研究, 一直是国内外利用测震学方法研究地震中短临预测的主要方向之一(王林瑛等, 2005)。我国曾有利用前震实现地震短临预测的先例, 如 1975 年 2 月 4 日海城 7.3 级、1999 年 11 月 29 日岫岩 5.4 级等地震。但中国大陆近代发生的十几次强震中有明显前震的不多, 除 1966 年 3 月 22 日邢台 7.2 级、1975 年 2 月 4 日海城 7.3 级等地震的前震形成序列, 最大震级分别为 5.2、4.6 以外; 还有 1976 年龙陵 7.3 级地震, 其主震前 25min 发生了 5.2 级前震; 2010 年玉树 7.1 级地震, 其主震前 2 个多小时发生 4.7 级前震(刘蒲雄等, 2012)。大震前有明显前震的震例不多, 而平静异常的时间尺度可为几天至几个月, 故前震往往难以作为临震判据(刘蒲雄, 2000)。多年的地震预测实践表明, 中强地震发生前出现前震的概率很低, 目前发现的有前震现象的中强地震与总的统计样本量之比小于 10%(陈颀, 1978; Chen et al, 2008), 且对其的识别、判定与中强震预测同样困难。

近年来的研究发现, 中强震孕育过程中在孕震区附近或沿地震构造带往往有中等地震活动, 其空间分布呈现出某种有序性(杨立明等, 2004), 诸如成组、丛集、迁移、条带、围空等。这些中等地震活动对后续中强地震在时间及空间上显示了一定的指示意义或前兆意义, 但它们又有别于前震, 此类地震应属广义前震。前震难觅, 不易识别, 相比之下, 广义前震活动

[收稿日期] 2015-09-07; [修定日期] 2015-12-10

[项目类别] 宁夏回族自治区科技攻关计划项目“宁夏境内 3~4 级地震的震兆意义及其应对策略研究”(2013ZYS145)资助

[作者简介] 任雪梅, 女, 1968 年生, 博士, 高级工程师。主要从事地震预报和工程地震等研究。E-mail: rxm1025@163.com  
焦德成, 通讯作者, 男, 1958 年生, 高级工程师, 主要从事地震地质和工程地震等研究工作。E-mail: dechjiao@sohu.com

的显著性和有序性则易于识别。广义前震的概念提出较早(茂木清夫,1979;赵根模,1980),近年来又得到较大发展。薛丁(2003)研究认为,1996年包头西6.4级地震前,在震中西部临河盆地出现显著的中等地震活动增强和丛集异常,且在时间上也表现出了集中的特征。杨向东等(2004)研究了华南地区14次中强地震前中等地震的活动特征,并据此提出了该地区中强震短期预测判据。董治平等(2008)分析了祁连山构造带1984年以来的13次中强地震,其中有广义前震的10次,占77%,研究认为,广义前震的有序活动可视为祁连山构造带中强地震发生的短临异常。

前震尚无统一的定义,但多数学者认为,前震是临近主震前短期内发生在主震震源区的地震。梅世蓉等(1993)将其定义为:“前震是指主震前发生在震源区内与主震有关的一些地震,前40天中发生在距主震100km内的地震被认为是有意义的前震,或称直接前震。”陈运泰等(2000)在论述破裂起始现象时指出:“瞬时前震,指的是在较大地震之前非常短的时间内(一般为1天或几天内)发生的、距离较大地震很近的小地震。”这些小地震被认为是较大地震的“种子”。王林瑛等(2005)给出了前震识别与判定标准,即“直接前震一般发生在主震事件前30天内;直接前震一般发生在与主震事件相距50km的范围内;直接前震与主震事件的震级差大致在1.0级以上。”上述定义都是针对直接前震的,由此可见,直接前震限定在强震孕育区内或边缘,与未来强震的孕育区关系密切。广义前震定义则是在直接前震定义上的拓延,陆远忠等(1985)对广义前震给出的定义为:“广义前震是发生在1个地震序列之前较长时间(几个月、几年甚至更长),较远距离(距震源数十千米甚至数百千米),与该序列孕育有关的单个地震(即前兆地震),或地震群(即前兆震群)以及它们的组合。”

本文通过对宁夏及邻区( $35^{\circ}00' \sim 40^{\circ}40'N, 103.5^{\circ} \sim 107^{\circ}40'E$ )1970~2015年以来14次 $M_s \geq 5.0$ 地震前的中短期地震进行时空特征分析,识别出了该区域每个 $M_s \geq 5.0$ 地震的前震和广义前震(空区、条带、信号地震和前兆地震等),总结了 $M_s \geq 5.0$ 地震前空区、条带、信号地震和前兆地震等的时间、空间特征,并根据这些特征,提出了今后对该区域进行地震预测时应如何综合利用前震和广义前震。此外,还分析了内蒙古1976年9月23日巴音木仁 $M_s 6.2$ 地震前与2015年4月15日阿拉善左旗 $M_s 5.8$ 地震前弱震活动特征间的差异。

## 1 研究对象

采用的全国弱震目录China2和全国强震目录CH48均为中国地震台网中心提供的速报资料,研究时段始于1970年。1970年以来宁夏及邻区共发生 $M_s \geq 5.0$ 地震15次,由于灵武1988年1月4日 $M_s 5.5$ 地震和1988年1月10日 $M_s 5.0$ 地震为双震,可视为1次地震事件,因此,仅分析灵武 $M_s 5.5$ 地震前的弱震活动特征,表1给出了这14次地震的参数。

本文从空区、条带、信号震、前兆震群等4个方面总结了14次 $M_s \geq 5.0$ 地震的前震、广义前震的特征。

## 2 前震、广义地震的特征

### 2.1 空区

1970年以来宁夏及邻区发生的 $M_s \geq 5.0$ 地震及其参数见表1,其中,6次地震震前在震中附近区域出现空区(表2、图1),由表2、图1可见,空区内的地震为主震和打破空区的地

震。本文统计的空区均属于第 II 类空区中的弱震空区,也称为孕震空区(国家地震局科技监测司,1990)。

由图 1 可见,除 1989 年 11 月 2 日固原  $M_s 5.0$ 、2015 年 4 月 15 日阿拉善左旗  $M_s 5.8$  等地震前空区内未出现打破空区平静的地震外,其它空区内在主震前都出现了打破空区平静的地震,出现的时间为主震前 35 天至 14 个月,其中 1982 年 4 月 14 日海原  $M_s 5.5$ 、1990 年 10 月 20 日景泰  $M_s 6.2$  等地震前空区内打破平静的地震出现时间较早,为主震前 1 年;其中,预测指示意义最显著的是 1976 年 9 月 23 日巴音木仁

表 1 1970 年以来宁夏及邻区发生的  $M_s \geq 5.0$  地震及其参数

序号	日期 (年-月-日)	北纬 /(°)	东经 /(°)	震级 $M_s$	地点
1	1970-12-03	35.85	105.55	5.5	宁夏西吉
2	1971-06-28	37.75	106.20	5.1	宁夏吴忠
3	1976-09-23	39.90	106.40	6.2	内蒙古巴音木仁
4	1982-04-14	36.75	105.50	5.5	宁夏海原
5	1984-11-23	38.07	106.22	5.3	宁夏灵武
6	1987-08-10	38.05	106.28	5.3	宁夏灵武
7	1988-01-04	38.07 37.98	106.27	5.5 5.0	宁夏灵武
8	1989-11-02	35.97	106.28	5.0	宁夏固原
9	1990-10-20	37.11	103.72	6.2	甘肃景泰
10	1991-01-13	40.40	105.60	5.2	内蒙古阿拉善左旗
11	1991-06-16	38.90	105.60	5.0	内蒙古阿拉善左旗
12	1991-09-13	40.20	105.50	5.1	内蒙古阿拉善左旗
13	2000-06-06	37.10	104.00	5.9	甘肃景泰
14	2015-04-15	39.80	106.30	5.8	内蒙古阿拉善左旗

表 2 宁夏及邻区  $M_s \geq 5.0$  地震前空区统计

序号	日期 (年-月-日)	震级 $M_s$	空区 震级	长轴长度 /km	空区 长轴方向	持续时间 /a
1	1970-12-03	5.5				
2	1971-06-28	5.1				
3	1976-09-23	6.2	$M_L \geq 3.0$	280	主震西南	5.0
4	1982-04-14	5.5	$M_L \geq 3.0$	170	主震偏东	2.0
5	1984-11-23	5.3				
6	1987-08-10	5.3				
7	1988-01-04	5.5				
8	1989-11-02	5.0	$M_L \geq 3.0$	100	近似正圆	5.5
9	1990-10-20	6.2	$M_L \geq 3.0$	400	主震东南	1.5
10	1991-01-13	5.2				
11	1991-06-16	5.0				
12	1991-09-13	5.1				
13	2000-06-06	5.9	$M_L \geq 3.0$	370	主震东北	1.3
14	2015-04-15	5.8	$M_L \geq 3.0$	70	主震西北	6.0

$M_s 6.2$  地震前的 8 月 19 日在主震西南 60km 处发生的  $M_L 3.3$  地震,其距主震发震只有 35 天;以上空区内打破空区平静的地震的震级为  $M_L 3.0 \sim 4.0$ 。由图 1 还可见,2015 年 4 月 15 日阿拉善左旗  $M_s 5.8$  地震前存在 2 个  $M_L \geq 3.0$  空区,其中,持续时间较长的于 2009 年 4 月出现,持续 6 年,长轴为 70km,2013 年 4 月又出现了新的空区,长轴近 400km;第 1 个空区在 2015 年 4 月 15 日阿拉善左旗  $M_s 5.8$  地震后消失,而第 2 个空区主震后依然存在。

2.2 条带

由 14 次震例条带统计结果可见(表 3),仅有 4 次震前出现了  $M_L \geq$

3.0 震级的条带,持续时间为 2~7 年。

图 2 为宁夏及邻区 1970 年以来  $M_s \geq 5.0$  地震前条带分布。由图 2 的 4 次震例可见,主震都发生在条带的端部及其附近;主震震级越大,条带越长,持续时间也越长。

2.3 信号震

地震活动向空区内部收缩或空区被打破,通常将在地震活动增强时段空区内部发生的

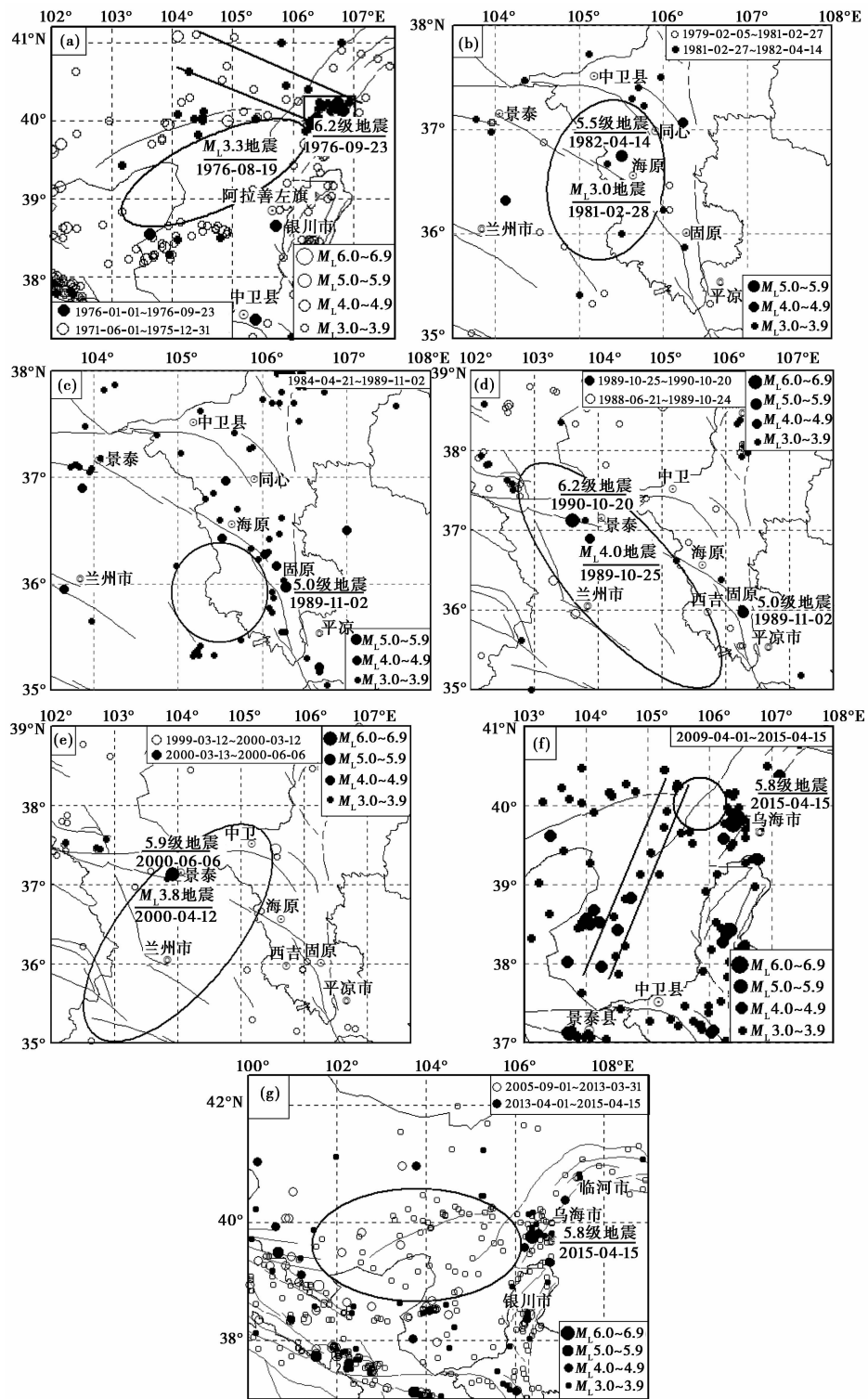


图1 宁夏及邻区1970年以来  $M_s \geq 5.0$  地震前空区分布

地震作为信号震,但并非每次大震前空区内部都出现信号震,由图 1 可见,宁夏及邻区 1970 年以来的 14 次震例中,仅 4 次出现了打破平静的地震,本文称其为 I 类信号震; I 类信号震中有些未出现在空区内,而是出现在主震震中附近,临近主震发生,震级  $M_L \geq 4.0$ ,且主震震中附近地震活动增强,此类地震以灵武-吴忠地区地震为代表(表 4),本文将其命名为 II 类信号震。

由表 4 可见,14 次震例中 4 次震前出现了 I 类信号震,4 次震前 II 类信号震,其中,3 次发生在宁夏南部及邻区; I 类信号震出现在主震前 35~410 天, II 类主震前 3~37 天, II 类信号震距主震发震时间较近,预测指示意义较强。主震前出现 II 类信

号震的 4 次中有 3 次在灵武-吴忠地区,该区域主震前  $M_L \geq 3.0$  地震活动特征为:随着主震的临近,震中区发生  $M_L \geq 3.0$  地震的时间间隔越来越小,震级越来越大;距主震发生 2 个月内,会发生 1 次或 2 次  $M_L \geq 4.0$  II 类信号震(图 3),因此,灵武-吴忠地区 II 类信号震的识别和判定须有以上弱震活动特征。

根据王林瑛等(2005)给出的前震、直接前震的识别与判定标准,由表 4 可见,本文的 I 类、II 类信号震中的一部分应属于直接前震,但王林瑛等(2005)制定的直接前震识别与判定标准不太适合宁夏及邻区。根据表 4 的前震特征,本文给出宁夏及邻区直接前震的识别与判定标准为:

(1)直接前震一般发生在主震前 60 天内(除 1982 年 4 月 14 日海原  $M_s 5.5$ 、1990 年 10 月 20 日景泰  $M_s 6.2$  等地震前的 I 类信号震出现在主震前 360 天,其它信号震均出现在主震前 60 天内);

(2)直接前震一般发生在与主震震中相距 35km 的范围内,若是在宁夏北部及邻区空区内出现的信号地震,则其与后续主震的空间距离在 65km 以内;

(3)直接前震与主震的震级差约为 1.0 以上(除 1971 年 6 月 28 日灵武 5.1 级地震前的 II 类信号震与主震的震级差为 0.6 以外,其它信号震与主震的震级均相差 1.0 以上。

**2.4 前兆震群**

宁夏及邻区 1970 年以来 14 次  $M_s \geq 5.0$  地震中有 5 次震前出现前兆性震群,且均发生在宁夏北部及邻区,宁夏南部及邻区  $M_s \geq 5.0$  地震前均未出现前兆性震群(表 5)。由表 5 可见,前兆震群一般发生在主震前 18~411 天,除 2015 年 4 月 15 日 5.8 级地震的前兆震群发生在主震前 411 天以外,其它 4 次均在主震前 18~156 天,即 6 个月之内;这些前兆震群均发生

**表 3 宁夏及邻区  $M_s \geq 5.0$  地震前的条带统计**

序号	日期 (年-月-日)	震级 $M_s$	条带 震级	条带长度 /km	条带 方向	持续时间 /a
1	1970-12-03	5.5				
2	1971-06-28	5.1				
3	1976-09-23	6.2	$M_L \geq 3.0$	230	主震西北	5.0
4	1982-04-14	5.5				
5	1984-11-23	5.3				
6	1987-08-10	5.3				
7	1988-01-04	5.5				
8	1989-11-02	5.0				
9	1990-10-20	6.2	$M_L \geq 3.0$	220	主震东北	7.0
10	1991-01-13	5.2	$M_L \geq 3.0$	170	主震东南	2.0
11	1991-06-16	5.0				
12	1991-09-13	5.1				
13	2000-06-06	5.9				
14	2015-04-15	5.8	$M_L \geq 3.0$	270	主震西南	6.0



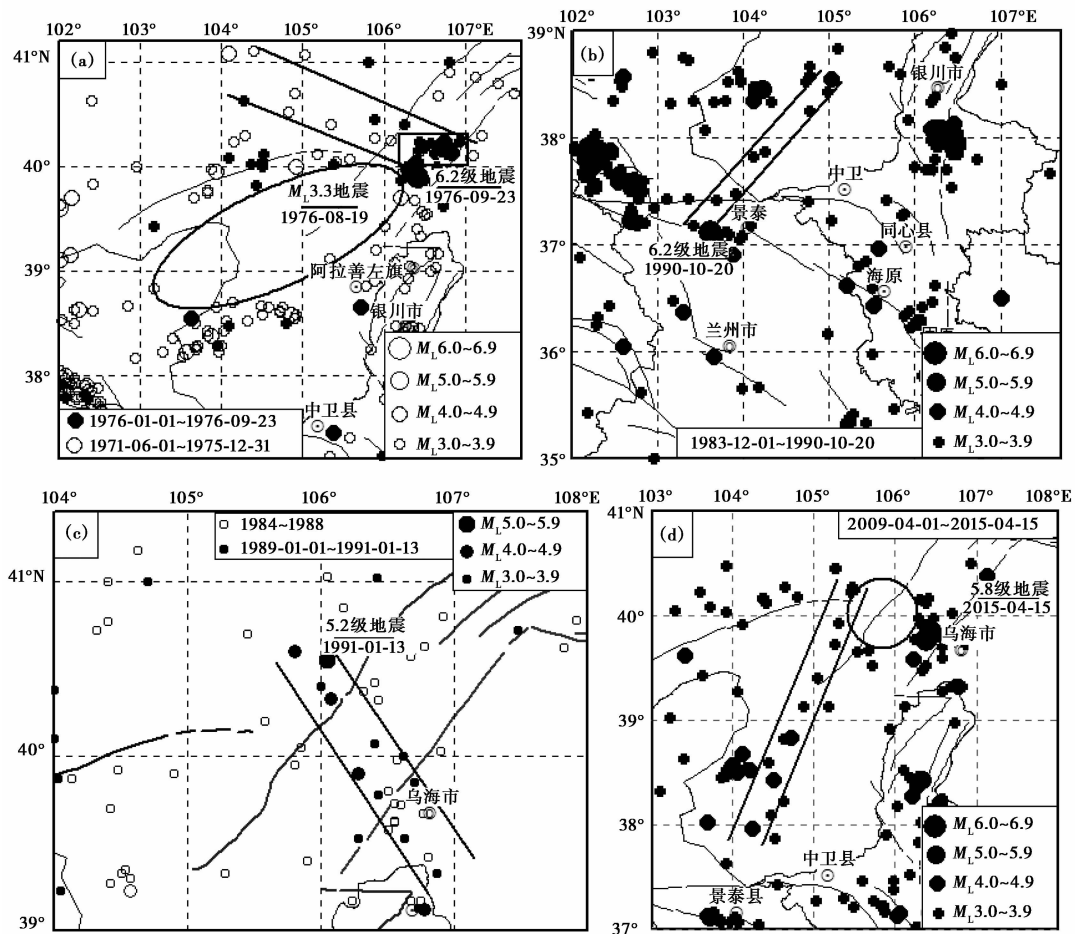


图2 宁夏及邻区1970年以来  $M_s \geq 5.0$  地震前条带分布

在距主震震中 60km 的范围内。

### 3 1976年9月23日巴音木仁 $M_s 6.2$ 地震前与2015年4月15日阿拉善左旗 $M_s 5.8$ 地震前弱震活动特征间的差异

由表1可见,内蒙古1976年9月23日巴音木仁  $M_s 6.2$  地震与2015年4月15日阿拉善左旗  $M_s 5.8$  地震震中仅相距约15km,震级差0.4,2个地震的震源机制解都是近SN向的走滑型,发震断层都为磴口-本井断裂,据此,这2个地震的前震和广义前震的特征应相同,但从上述分析可见,2个地震前存在许多差异。

(1) 2个地震前都存在5~6年的空区,空区的半径相差较大,1976年9月23日巴音木仁  $M_s 6.2$  地震前的空区长轴为280km,2015年4月15日阿拉善左旗  $M_s 5.8$  地震前的空区长轴仅为70km,这可能与主震震级的大小有关,但2015年4月15日阿拉善左旗  $M_s 5.8$  地震前还存在1个持续2年的较大范围的空区,地震发生后依然存在。因此,判断未来主震震级时应综合考虑2个空区的长轴。2个地震前都存在5~6年的条带,条带长度相差不大。2个地震

表 4 宁夏及邻区  $M_s \geq 5.0$  地震前空区内信号震统计

序号	地震类型	主震日期 (年-月-日)	震级 $M_s$	信号震日期 (年-月-日)	信号震 震级 $M_L$	与主震 震级差	与主震间隔 时间/天	与主震 间距离/km
1	II 类信号震	1970-12-03	5.5	1970-11-30	4.0	1.8	3	5.5
2	II 类信号震	1971-06-28	5.1	1971-06-11	4.9	0.6	17	9.0
3	I 类信号震	1976-09-23	6.2	1976-08-19	3.3	3.1	35	63.0
4	I 类信号震	1982-04-14	5.5	1981-02-28	3.0	2.8	410	28.0
5	II 类信号震	1984-11-23	5.3	1984-10-25 1984-10-26	4.2 4.4	1.5 1.3	29 28	21.0 8.0
6	II 类信号震	1987-08-10	5.3	1987-07-04	4.0	1.7	37	6.2
7		1988-01-04	5.5					
8		1989-11-02	5.0					
9	I 类信号震	1990-10-20	6.2	1989-10-25	3.4 4.0	3.0 2.4	360	34.0
10		1991-01-13	5.2					
11		1991-06-16	5.0					
12		1991-09-13	5.1					
13	I 类信号震	2000-06-06	5.9	2000-04-12	3.8	2.4	55	9.6
14		2015-04-15	5.8					

注：震级差为转换为  $M_L$  后的震级差。

表 5 宁夏及邻区  $M_s \geq 5.0$  地震前震群统计

序号	日期 (年-月-日)	震级 $M_s$	震群开始日期 (年-月-日)	震群最大震级 $M_L$	距主震 时间/天	与主震间 距离/km
1	1970-12-03	5.5				
2	1971-06-28	5.1	1971-06-10	4.8	18	10
3	1976-09-23	6.2	1976-04-17 1976-04-27	3.1 4.3	156 147	43 48
4	1982-04-14	5.5				
5	1984-11-23	5.3	1984-10-25	4.4	28	9
6	1987-08-10	5.3	1986-11-14	3.4	26	10
7	1988-01-04	5.5				
8	1989-11-02	5.0				
9	1990-10-20	6.2				
10	1991-01-13	5.2				
11	1991-06-16	5.0				
12	1991-09-13	5.1				
13	2000-06-06	5.9				
14	2015-04-15	5.8	2014-02-28	4.4	411	60

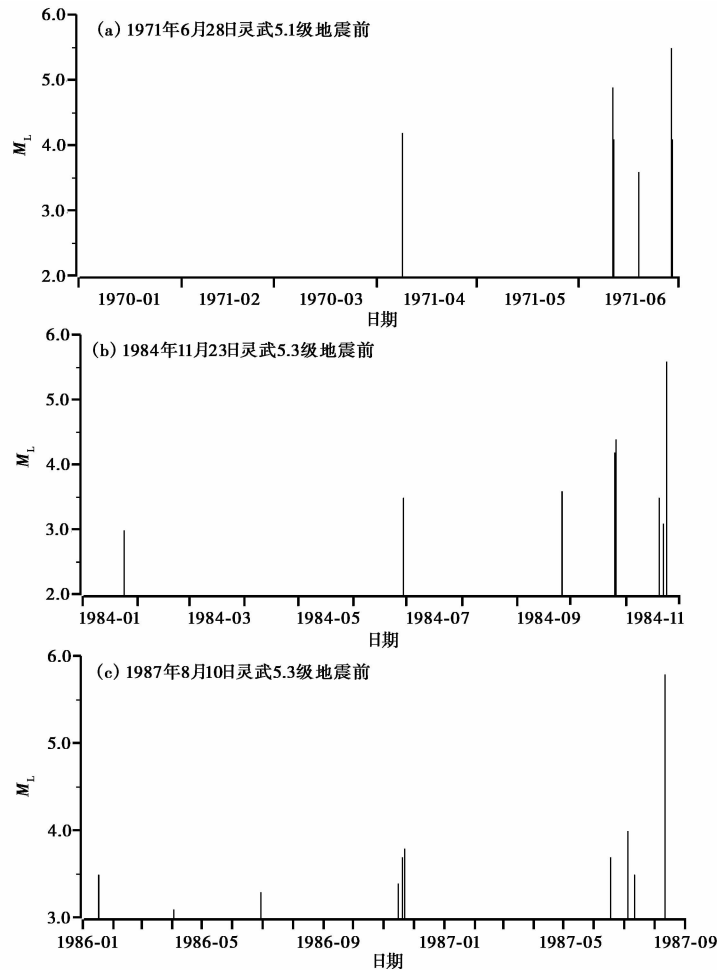


图3 1970年灵武-吴忠地区  $M_s \geq 5.0$  地震前距主震震中 50km 内的  $M_L \geq 3.0$  地震  $M-t$  图

前存在的空区和条带均属于中长期趋势性背景异常,表明震前都有显著的中长期趋势性背景异常。

(2) 2个地震前都存在前兆震群,但出现的时间相差较大,1976年9月23日巴音木仁  $M_s 6.2$  地震的前兆震群出现在主震前5个月,2015年4月15日阿拉善左旗  $M_s 5.8$  地震的在主震前13个月,前者的前兆震群具有短期预测指示意义,而后的仅具有中期预测指示意义。

(3) 1976年9月23日巴音木仁  $M_s 6.2$  地震前35天,空区内出现了I类信号震,而2015年4月15日阿拉善左旗  $M_s 5.8$  地震前则未见。

由此可见,2个地震前都存在显著的中长期趋势性背景异常,1976年9月23日巴音木仁  $M_s 6.2$  地震前存在短期和临震测震学异常,而2015年4月15日阿拉善左旗  $M_s 5.8$  地震前则不存在显著的短期和临震测震学异常。



## 4 结论及讨论

(1) 1970 年以来宁夏及邻区  $M_s \geq 5.0$  地震中仅有少数存在显著的广义前震,主要为空区和条带。空区为中长期趋势性背景异常,在地震前 1.3~6.0 年出现;条带也为中长期趋势性背景异常,在地震前 2~7 年出现。

(2) 1970 年以来宁夏及邻区  $M_s \geq 5.0$  地震中多数存在显著的前震,主要为信号震和前兆震群,这些前震的分布规律性较强,即 1970 年以来宁夏南部及邻区共发生  $M_s \geq 5.0$  地震 5 次,其中,3 次  $M_s \geq 5.0$  地震前出现 I 类信号震;1970 年以来灵武-吴忠地区共发生  $M_s \geq 5.0$  地震 4 次,其中,3 次地震前出现 II 类信号震;1970 年以来宁夏北部及邻区(包括灵武-吴忠地区)共发生  $M_s \geq 5.0$  地震 9 次,其中,5 次  $M_s \geq 5.0$  地震前出现前兆震群。

(3) I 类信号震为中短期趋势性背景异常,大多于主震前 35~410 天出现;II 类信号震为临震异常,主震前 3~37 天出现,II 类信号震距主震发震时间较近,预测指示意义较强;前兆震群为短期趋势性异常,大多于主震前 6 个月内出现。

(4) 前兆性震群常出现在宁夏北部及邻区的  $M_s \geq 5.0$  地震前。

(5) 给出了宁夏及邻区直接前震的识别与判定标准。

由以上分析可见,仅根据某一项前震特征判定未来  $M_s \geq 5.0$  地震时存在很大的不确定性,因此,在地震预测实践中,多种地震前兆特征在时空上的相互关联及其与未来地震的位置以及孕震时间进程的关联等可能需要特别关注。

## 参考文献

- 陈颀,1978,用震源机制一致性作为描述地震活动性的新参数,地球物理学报,21(2),21~43。
- 陈运泰、吴忠良、王培德等,2000,数字地震学,83~90,北京:地震出版社。
- 董治平、程建武、康庆强等,2008,祁连山构造带中强地震前广义前震活动探讨,西北地震学报,30(1),49~55。
- 国家地震局科技监测司,1990,地震学分析预报方法程序指南,7~8,北京:地震出版社。
- 刘蒲雄,2000,地震预报途径探讨,地震,20(增刊),8~11。
- 刘蒲雄、吕晓健,2012,2010 年青海玉树 7.1 级地震的前震识别及短临预报可能性研究,地震,32(3),47~51。
- 陆远忠、陈章立、王碧泉等,1985,地震预报的地震学方法,111~150,北京:地震出版社。
- 茂木清夫,1979,论巨大地震,国外地震,2,1~6。
- 梅世蓉、冯德益,1993,中国地震预报概论,69~73,北京:地震出版社。
- 王林瑛、陈佩燕、吴忠良等,2005,前震特征及其识别研究,地震学报,27(2),71~177。
- 薛丁,2003,包头西 6.4 级地震前显著中等地震活动增强和丛集异常,地震,23(4),71~76。
- 杨立明、王兰民,2004,民乐-山丹 6.1 级地震短期预报的科学总结,西北地震学报,26(1),1~9。
- 杨向东、刘特培,2004,中等地震对华南中强地震的指示意义,地震地磁观测与研究,25(3),42~47。
- 赵根模,1980,中国若干强震的前兆地震序列,地震研究,3,125~136。
- Chen Y, Li L, Li J, et al, 2008, Wenchuan earthquake: Way of thinking is changed, Episodes, 31(4), 374~377。

## Characteristic analysis of foreshocks and generalized foreshocks before the earthquakes with $M_s \geq 5.0$ in Ningxia and its adjacent area

*Ren Xuemei Jiao Decheng Cai Xinhua*

Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China

**Abstract** We analyze the short-term time and space distribution characteristics of weak earthquakes in Ningxia and its adjacent area from 1970 to 2015, the characteristics of foreshocks and generalized foreshocks and summarize the characteristics of the earthquakes with  $M_s \geq 5.0$  in the area. We study in detail the time and space of the empty area, stripes, signal earthquakes and precursor swarms, analyze the significance of prediction indicators and propose the recognition and judgment criteria of direct foreshocks in Ningxia and its adjacent area. We also analyze the different characteristics of weak earthquakes activity between the Bayinmuren  $M_s 6.2$  earthquake on September 23, 1976 and the Alashanzuoqi  $M_s 5.8$  earthquake on April 15, 2015 in Inner Mongolia.

**Key words:** Foreshock; Generalized foreshocks; Empty area; Stripe; Signal earthquake; Precursor swarm