

任雪梅、盛菊琴、蔡新华, 2016, 宁夏及邻区震群的前兆性分析, 中国地震, 32(4), 738~746。

宁夏及邻区震群的前兆性分析

任雪梅 蔡新华 盛菊琴

宁夏回族自治区地震局, 银川市兴庆区北京东路 244 号 750001

摘要 系统研究了宁夏及邻区 35 次小震群活动, 总结了震群活动的参数特征, 探讨了震群活动与中强以上地震的关系, 分析检验了前兆震群类型的判定指标。1970 年以来宁夏及邻区 35 次小震群中有 10 次对应了 5 级以上地震, 灵武-吴忠地区利用震群预测 5.0 级以上地震的效果较好, 不建议利用震群预测宁夏南部及邻区 5.0 级以上地震。通过前兆震群类型的判别判断后续是否有中强以上地震, 总体而言效果并不十分理想, 需要参考其它方法和手段综合判定。

关键词: 宁夏及邻区 震群 参数特征 震群类型的判定指标

[文章编号] 1001-4683(2016)04-0738-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

大量地震观测资料表明, 震群包含丰富的震兆信息, 而这些信息有可能是地震预测中重要的中、短期地震前兆。20 世纪 80 年代以来, 国内震群研究取得了较多的成果。不少研究表明, 一些震群发生后, 在短时间、近距离内往往有中强以上地震发生, 如姜秀娥等 (1983) 的研究表明, 唐山大震前在震中区外围形成震群活动环; 宋治平等 (2001) 研究了华北地区 1970 年以来的震群活动后认为, 震群活动的迁移性与阶段性对于强震的中期预测具有一定指导意义。但也有震群并不与中强地震对应, 李兴才等 (1983) 研究发现, 某些震群活动的高潮滞后于大地震, 并认为附近的震群活动是由大地震触发的。此外, 在判定前兆性、非前兆性震群指标方面也有不少研究 (陆远忠等, 1984; 朱传镇等, 1989; 王伟等, 1987), 这些研究指出, 由于地壳结构和断裂分布的差异, 不同地区的震群活动具有不同的特征。因此, 前震和前兆震群的分布与判断方法也具有一定的区域性特征, 区域的差异会给前震和前兆震群的判断带来某些失误。

宁夏及邻区位于我国强震频繁的南北地震带北段, 区内地震地质构造复杂, 无论强震还是中、小地震的发生频度都较高, 震群发生的概率也相对较高。分析研究宁夏及邻区的中、小地震震群, 提出宁夏及邻区前兆震群的区域判据, 对于减少后续中强以上地震判断的失误、为该区域中强以上地震的预测提供依据等具有一定的意义。本文系统研究了 1970 年以来宁夏及邻区发生的 35 次震群活动, 总结了宁夏及邻区震群活动的参数特征, 探讨了该地

[收稿日期] 2015-05-26; [修定日期] 2015-07-29

[项目类别] 宁夏回族自治区科技攻关计划项目 (2013ZYS145) 资助

[作者简介] 任雪梅, 女, 1968 年生, 博士, 副研究员, 主要从事地震预报和工程地震等研究工作。

E-mail: rxm1025@163.com

区震群活动与中强以上地震的关系,分析检验了判定前兆震群性质的指标,以期对该地区的地震预测研究及地震应急工作有所帮助。

1 研究区的选取和资料处理

1.1 选取研究区

从地质构造来看,宁夏及邻区($35^{\circ}00' \sim 40^{\circ}40'N$, $103^{\circ}30' \sim 107^{\circ}40'E$)以罗山-牛首山-三关口断裂为界,北部属华北块体的西缘,南部属青藏块体的北东缘,北、南两侧的受力方式、岩石物理性质以及地质构造条件等差异明显。从地震活动特征特别是现代弱震活动特征与中强地震的关系来看,北、南两部分差异显著。宁夏北部及邻区中强地震类型主要为前-主-余型,前震活动比较明显,震前区域地震活动特征以增强为主。宁夏南部及邻区中强地震类型主要为孤立型或前-主-余型,震前区域地震活动特征以平静为主,或局部地震活动稍显增强。而位于北、南交接部位的灵武-吴忠地区的地震活动又具有一定的特殊性,不仅地震空间分布相当密集,时间分布也呈显著密集特征,即通常情况下地震很少发生,若发生就连续发生一系列地震,乃至发生余震丰富的 5 级地震序列。考虑到以上地震活动特征和区域地震构造的差异性,根据宁夏及邻区中强以上地震类型的空间分布,将宁夏及邻区划分为 3 个区域:宁夏北部及邻区(I 区)、宁夏南部及邻区(II 区)和灵武-吴忠地区(III 区)(图 1)。

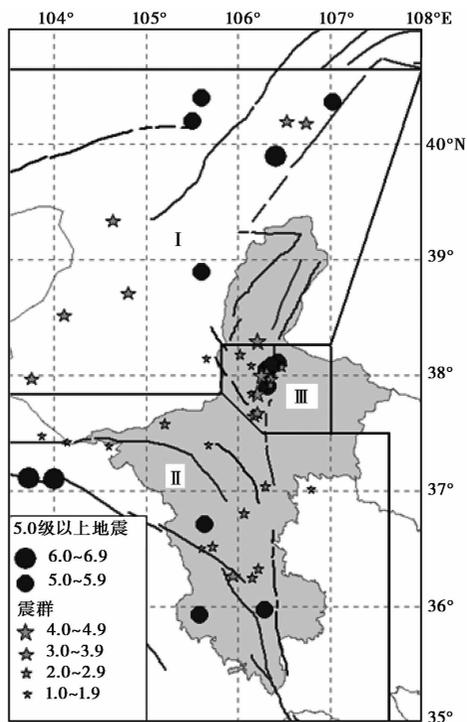


图 1 1970 年以来宁夏及邻区震群 5.0 级以上地震空间分布

1.2 资料处理

本研究中宁夏地震台网弱震目录来自宁夏区域地震台网资料^①,因1970年以来宁夏境内地震台网的监测能力逐步提高,故本文研究时段从1970年开始。全国弱震目录China2来自中国地震台网中心提供的全国弱震速报资料。

为了全面、系统研究宁夏及邻区中、小地震序列及震群特征,给出震群震后趋势判定指标,依据《地震学分析预报方法程式指南》(国家地震局科技监测司,1990)中关于震群的划分标准,并根据宁夏地震台网的监测能力,对原有震群的震级下限作了一些改动,编制程序统一对1970年以来宁夏及邻区弱震目录进行震群搜索和参数计算。震群定义如下:

(1)震群地震的震级下限为0.6级(原定义为0.2级);

(2)以滑动计算的每个震群的平均震中(经、纬度均值)为震群震中,其半径20km范围内最大日频次 ≥ 3 、总频次 ≥ 6 ;

(3)地震序列中最大地震震级为4.8,最大与次大地震震级差 ≤ 1.1 ;

(4)如果连续15天未记录到0.6级以上地震,则表示序列活动结束,以第1个地震发生日期为震群序列的起始日,以最后1个地震发生日期为该序列的终止日。

按照以上定义,删除宁夏台网弱震目录中5级以上地震的余震,编制程序对宁夏及邻区进行扫描,1970年1月~2009年6月在研究区共搜寻出震群21次;由于2009年以后宁夏弱震目录只包括边界外50km的弱震,因此2009年7月~2014年12月采用全国弱震目录China2,这样该时段在研究区共搜寻出震群14次(不包括甘肃平凉、华亭和白银等地区的矿震)(图1)。

2 震群活动时空分布特征

对获得的35次震群序列,以每次震群的开始时间为震群的发生时间,震群的平均经纬度为震群震中组成一个震群目录,表1为宁夏及邻区震群活动及参数一览表。震群空间分布见图1。

由图1、表1可见,宁夏及邻区的震群活动有如下特点:

(1)宁夏及邻区震群主要分布于内蒙古阿拉善左旗东北部的乌海附近,宁夏灵武-同心一带、海原-固原一带以及内蒙古阿拉善左旗中西部等区域,中、小震群的这种空间分布也说明上述区域是宁夏及邻区的地震活动较强区域。研究区最北震群为1976年4月27日~5月13日内蒙古巴音木仁4.2级震群,最南震群为固原地区的震群。

(2)1970年以来宁夏及邻区震级最大的震群为1984年10月25日~11月21日吴忠4.3级震群和2010年6月22日~7月8日永宁4.3级震群,最小的为2011年1月20日环县1.0级震群。震群最大震级的统计结果见表2。

由表2可以看出,研究区震群活动的最大震级在1.0~1.9、2.0~2.9和3.0~3.9这3个震级档的百分比相差不太大,为26%~37%。但3个分区的情况却相差很大,I区统计的9个0.6级以上震群中有8个最大震级都在3.0级地震以上,占89%,可见该区域震群的最大震级偏大;II区震群的最大震级主要分布在1.0~2.9之间,此类震群占该区域总数的93%,可以

^①宁夏回族自治区地震局汇编,1982,宁夏地震目录

表 1 宁夏及邻区震群活动及参数一览表

序号	所在分区	起始日期 (年-月-日)	北纬 /(°)	东经 /(°)	地点	最大 震级	个数	持续 天数	震群参数					
									U	K_4	h	ρ	F	b
4		1976-04-16	40.18	106.74	巴音	3.8	70	9	0.86	0.78	0.80	0.50	1.49	0.68
5		1976-04-27	40.20	106.52	木仁	3.2	9	16	0.51	0.28	0.10		0.77	
10		1994-01-14	37.97	103.75	阿左旗	3.8	8	24	0.54	0.72			1.05	
17		2004-07-24	38.71	104.80	阿左旗	3.3	12	14	0.19	0.46	0.50	0.54	0.47	0.39
19	I	2005-08-27	39.34	104.64	阿左旗	3.8	6	4	0.01	0.08			0.01	
23		2010-01-17	38.15	105.65	阿左旗	1.3	7	12	1.00	0.78			1.09	
25		2010-06-22	38.30	106.20	永宁	4.3	13	16	0.50	0.00	1.60	0.34	0.00	0.45
26		2010-12-09	38.52	104.11	阿左旗	3.7	16	24	0.56	0.67	0.10	0.49	1.35	0.29
35		2014-02-28	39.34	106.72	石嘴山	3.9	6	1	0.77	0.10	3.50	0.00	1.81	0.37
2		1972-09-17	36.27	105.94	固原	3.0	15	80	0.80	0.71	0.10	0.31	1.39	0.88
7		1986-07-14	36.33	106.22	固原	2.3	8	2	0.98	0.72			1.38	
14		2001-08-07	36.25	106.15	固原	2.6	6	23	0.93	0.53			1.39	
15		2004-01-02	36.50	105.60	海原	1.2	9	11	1.00	0.76			1.69	
16		2004-06-06	36.52	105.72	海原	2.8	6	4	1.00	0.74			2.59	
20		2007-01-31	37.58	105.20	中卫	2.3	8	21	0.24	0.09			0.44	
21	II	2009-04-21	37.40	105.68	中卫	1.1	14	67	0.83	0.79	0.10	0.95	1.19	0.82
22		2009-10-28	37.39	104.59	景泰	1.6	19	47	0.91	0.76	0.20	0.96	1.15	1.22
24		2010-05-27	37.04	106.29	同心	2.9	23	5	0.63	0.78	1.07	0.49	1.16	0.51
28		2011-01-18	36.81	106.06	同心	2.3	26	6	0.94	0.74	0.73	0.47	1.46	1.00
29		2011-01-20	37.02	106.79	环县	1.0	6	1	1.00	0.75			1.11	
31		2011-09-06	37.39	104.59	景泰	1.7	26	69	0.96	0.59	0.40	0.86	1.12	1.51
32		2011-11-02	37.43	104.14	景泰	1.1	18	78	0.85	0.79	0.10	0.80	0.95	2.17
33		2012-03-13	37.48	103.86	景泰	1.6	74	177	0.58	0.78	0.10	0.62	0.72	1.56
1		1971-06-10	37.84	106.20	吴忠	4.2	21	18	0.45	0.21	0.90	0.52	0.81	0.53
3		1973-09-25	38.03	106.30	吴忠	3.8	8	3	0.04	0.03	0.98		0.07	
6		1984-10-25	38.00	106.25	吴忠	4.3	11	28	1.00	0.55	0.40	0.61	2.33	
8		1986-11-14	37.97	106.35	吴忠	3.2	15	19	0.41	0.68	1.30	0.52	0.63	
9		1992-03-09	37.65	106.17	青铜峡	3.7	6	1	0.02	0.03			0.04	
11	III	1994-11-21	38.08	106.47	吴忠	2.5	6	3	0.65	0.24			0.83	
12		1995-05-21	37.65	106.17	青铜峡	3.0	44	78	0.67	0.50	0.40	0.47	0.92	1.13
13		2001-02-02	38.09	106.14	吴忠	1.5	7	2	0.94	0.72			1.43	
18		2004-07-30	37.68	106.20	灵武	3.6	6	9	0.74	0.04			1.30	
27		2010-12-17	37.84	106.14	青铜峡	1.6	10	35	1.00	0.74	0.10		1.41	
30		2011-04-21	37.92	106.35	灵武	2.2	14	6	1.00	0.71	0.10	0.57	1.30	1.34
34		2012-09-08	38.18	106.02	青铜峡	2.3	6	4	1.00	0.36			1.67	

注:计算 h 时最小样本量为 9 个地震;计算 ρ 、 b 时最小样本量为 12 个地震

表 2 宁夏及邻区震群的最大震级统计结果

区域	震群总个数	最大震级在不同震级档的个数及百分比					
		1.0~1.9		2.0~2.9		3.0~3.9	
宁夏及邻区	35	10	29%	9	26%	13	37%
宁夏北部及邻区(Ⅰ区)	9	1	11%	0	0	8	89%
宁夏南部及邻区(Ⅱ区)	14	7	50%	6	43%	1	7%
灵武-吴忠地区(Ⅲ区)	12	2	17%	3	25%	5	42%

看出该区域震群的最大震级与Ⅰ区相比明显偏小;Ⅲ区震群最大震级主要分布在3.0~3.9之间,与Ⅰ、Ⅱ的情况相似。

(3)序列中地震频次在20以下的震群居多,其中,Ⅰ区8次,占该区域震群总数的89%;Ⅱ区10次,占71%;Ⅲ区10次,占83%。地震频次最多的震群为2012年3月13日~9月6日甘肃景泰1.6级震群和1976年4月16~25日内蒙古巴音木仁3.8级震群。

(4)Ⅰ区震群活动时间持续1~15天的5次,占该区域震群总数的56%,16~30天的4次,占44%;Ⅱ区震群活动时间持续1~15天的6次,占43%,16~80天的7次,占50%;Ⅲ区震群活动时间持续1~15天的7次,占58%,16~30天的3次,占25%。可以看出,Ⅱ区震群持续时间比其它2个区域的要长,持续时间最长的是2012年3月13日~9月6日甘肃景泰1.6级震群,该震群最大震级仅为1.6,但频次为74。

总之,震群序列中地震频次、震群持续时间与震群的最大震级之间没有明确的线性关系;不同地区的震群活动具有其自身特征,宁夏北部及邻区和灵武吴忠地区震群的最大震级偏大,频次较少,持续时间在1个月以内;宁夏南部及邻区震群的最大震级偏小,频次较少,持续时间相对较长。可以看出,宁夏北部及邻区和灵武吴忠地区同属于银川-河套地震带,震群特征相似,但灵武吴忠地区区域范围小,震群活动频繁,故震群分布密度较大,不像其它2个区域的震群分布较分散,这也是单独分区研究该区域震群特征的原因。

3 震群与中强以上地震关系分析

《地震学分析预报方法程式指南》(国家地震局科技监测司,1990)将小震群发生后1~2年内,周围500km范围内发生的5级以上中强地震视为对应地震。为了更好地反映宁夏及邻区小震群的映震效果,本文将小震群发生后1年内、300km范围内发生的5级以上中强地震视为对应地震。为了对比二者的实际映震效果,分别按照以上的时空范围统计了实际映震情况。按照《地震学分析预报方法程式指南》(国家地震局科技监测司,1990)的时空范围,研究区35次震群中有23次对应了地震,占66%;如果按照本文规定的时空范围,则有8次对应了地震,占23%。但考虑到有些对应地震的空间距离较远,其物理意义值得怀疑,综合两方面因素后,最终规定小震群发生后1.5年内、周围300km范围内发生的5级以上中强地震视为对应地震。据此,研究区35次震群中有10次对应了地震,占29%(表3)。

从表3可以看出:

(1)宁夏南部及邻区的小震群与中强以上地震间的关系不大,1970年以来发生的14次小震群,仅有3次对应了甘东南5级以上地震;宁夏北部及邻区的9次小震群,有3次对应

表 3 宁夏及邻区震群类型及其与中强地震关系统计结果

序号	分区	震群起始日期 (年-月-日)	U-K 组合	检 验	U-ρ 组合	检 验	K-ρ 组合	检 验	U-K-ρ 组合	检 验	全组合	检 验	对应地震	ΔR /km	Δt /天
4		1976-04-16	前兆	✓	前兆	✓	前兆	✓	前兆	✓	前兆	✓	1976-09-23 巴音木仁 6.2 级	38	157
5		1976-04-27	非前兆	×							前兆	✓	1976-09-23 巴音木仁 6.2 级		
10		1994-01-14	前兆	×							前兆	×	无		
17		2004-07-24	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	无		
19	I	2005-08-27	非前兆	✓							非前兆	✓	无		
23		2010-01-17	前兆	×							前兆	×	无		
25		2010-06-22	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	无		
26		2010-12-09	前兆	×	前兆	×	前兆	×	前兆	×	前兆	×	无		
35		2014-02-28	前兆	✓	前兆	✓	非前兆	×	非前兆	×	前兆	✓	2015-04-15 阿左旗 5.8 级	60	411
2		1972-09-17	前兆	×	前兆	×	前兆	×	前兆	×	前兆	×	无		
7		1986-07-14	前兆	×							前兆	×	无		
14		2001-08-07	非前兆	✓							非前兆	✓	无		
15		2004-01-02	前兆	✓							前兆	✓	2004-09-07 甘肃岷县 5.0 级	250	249
16		2004-06-06	前兆	✓							前兆	✓	2004-09-07 甘肃岷县 5.0 级	260	93
20		2007-01-31	非前兆	×							非前兆	×	2008-3-30 肃南 5.0 级	286	404
21	II	2009-04-21	前兆	×	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	前兆	×	无		
22		2009-10-28	前兆	×	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	前兆	×	无		
24		2010-05-27	前兆	×	前兆	×	前兆	×	前兆	×	前兆	×	无		
28		2011-01-18	前兆	×	前兆	×	前兆	×	前兆	×	前兆	×	无		
29		2011-01-20	前兆	×							前兆	×	无		
31		2011-09-06	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	前兆	×	无		
32		2011-11-02	前兆	×	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	前兆	×	无		
33		2012-03-13	前兆	×	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	前兆	×	无		
1		1971-06-10	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	前兆	✓	1971-06-28 吴忠 5.1 级	10	18
3		1973-09-25	非前兆	✓							非前兆	✓	无		
6		1984-10-25	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	前兆	✓	1984-11-23 灵武 5.3 级	0	31
8		1986-11-14	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	非前兆	×	1987-08-10 灵武 5.3 级	10	264
9	III	1992-03-09	非前兆	✓							非前兆	✓	无		
11		1994-11-21	非前兆	✓							非前兆	✓	无		
12		1995-05-21	非前兆	×	前兆	✓	非前兆	×	非前兆	×	前兆	✓	1995-07-22 甘肃永登 5.8 级	290	62
13		2001-02-02	前兆	×							前兆	×	无		
18		2004-07-30	非前兆	✓							非前兆	✓	无		
27		2010-12-17	前兆	×	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	前兆	×	无		
30		2011-04-21	前兆	×	非前兆	✓	非前兆	✓	非前兆	✓	前兆	×	无		
34		2012-09-08	非前兆	✓							非前兆	✓	无		

注:震群前兆识别组合没有给出结果的,是由于震群个数太少,不能计算参数造成的

了5级以上地震,对应率为33%;灵武吴忠地区的12次小震群,有4次对应了5级以上地震,对应率为33%。

(2)统计发现,1970年以来宁夏及邻区最大震级为2.7级以上的震群有18次,其中8次对应了5.0级以上地震,因此建议今后在宁夏及邻区利用震群预测5.0级以上地震时,应统计最大震级为2.7级以上的震群的映震效果。

(3)1976年4月16~25日巴音木仁3.8级震群最显著的特征是平均日频次为7.8,在35次震群中日频次最多,因此当宁夏北部及邻区再次出现类似的震群时,应注意该区域发生6级以上地震的可能;1970年以来灵武吴忠地区最大震级为2.7级以上的震群有7次,其中4次对应了5级以上地震,其映震效果在这3个地区中最好。

(4)灵武吴忠地区的震群映震效果较好,这与该地区的地震地质条件有关。该地区位于银川盆地南段,处于SN向断裂与NW向断裂的交汇部位,发震断层由北向南分别为银川隐伏断裂、黄河断裂、牛首山断裂。该地区的地震活动特征具有一定的特殊性,地震空间分布相当密集,时间分布也呈显著的密集特征。由于该地区的地震地质条件和地震活动具有特殊性,因此震群活动映震效果比其它2个地区好。

(5)2009年4月开始,宁夏及邻区的小震群活动明显活跃,至2012年9月8日,共有14次小震群发生,3年5个月内的震群数量仅比1970年以来43年间的20次小震群数量少6次,且宁夏南部及邻区发生的小震群为8次,是其它2个区域的2倍,小震群开始活跃的时间也比其它2个区域早。分析认为这是由于宁夏南部及邻区与汶川8.0级地震震中的距离较其它2个区域近,因此受其影响也较大;2008年汶川8.0级地震后,宁夏由南向北3~4级地震活动都出现了增强,而小震群活动增强的起始时间迟于3~4级地震活动,即从2009年1月初开始至2012年9月底结束,因此认为2009~2012年宁夏及邻区的小震群活动可能受到了汶川8.0级地震的触发。

6)宁夏南部及邻区最大震级为2.7级以上的震群有3次,其中仅有1次对应了甘东南5.0级以上地震,这与该区域5级地震前弱震活动出现中短期平静现象相关联(任雪梅等,2006),因此利用震群来预测该地区5.0级以上地震是不可取的。

4 前兆震群识别及检验

在震群研究中,一般先要判定其震群性质,即通过参数计算判断出前兆震群或非前兆震群。《测震学分析预报方法》(国家地震局预测预防司,1997)给出了判定前兆震群的指标,其中规定判定前兆震群的单项指标为 $U>0.5$ 、 $K>0.7$ 、 $\rho<0.55$ 、 $b>0.65$ 、 $h<1.0$ 中的任一个,且认为利用多项指标判定前兆震群的效果要优于单项指标。综合判定前兆震群的指标有 $U-K$ 、 $U-\rho$ 、 $K-\rho$ 和 $U-K-\rho$ 等组合,本文将其中 K 值指标调整为 $K>0.65$,比文献中的略小。综合判定前兆震群的标准如下:

(1) $U-K$ 组合:当 $U>0.5$ 、 $K>0.65$ 时,则认为是 $U-K$ 型前兆震群;

(2) $U-\rho$ 组合:当 $U>0.5$ 、 $\rho<0.55$ 时,则认为是 $U-\rho$ 型前兆震群;

(3) $K-\rho$ 组合:当 $K>0.65$ 、 $\rho<0.55$ 时,则认为是 $K-\rho$ 型前兆震群;

(4) $U-K-\rho$ 组合:当 $U>0.5$ 、 $K>0.65$ 、 $\rho<0.55$ 时,则认为是 $U-K-\rho$ 型前兆震群。

(5)目前所用的Mapsis软件的前兆震群识别中增加了 F 值参数指标。本研究利用该软

件对6个震群参数(U 、 F 、 K 、 ρ 、 h 、 b)进行计算,除以上4种组合外,本研究还采用全组合,即6项指标 $U>0.5$ 、 $K>0.65$ 、 $\rho<0.55$ 、 $h<1.0$ 、 $F>0.70$ 、 $b>0.65$ 中,满足其中的任意3项者,即认为是前兆震群。

采用以上5种组合分别判定震群的类型,并对其后中强地震进行对应检验,探讨研究区震群类型与中强震间的关系,寻找适合研究区震群类型判别的较好指标。如果震群发生后判定为前兆震群,且其后发生了地震并符合本文给出的对应地震的判定标准,则认为检验是正确的;否则就是错误的。相反,如果震群发生后判定为非前兆震群,且其后没有对应地震,则认为检验是正确的,否则就是错误的。

由表3可见,利用 U - K 组合检验正确的14次(14/35),占40%; U - ρ 组合12次(12/19),占63%; K - ρ 组合10次(10/19),占53%; U - K - ρ 组合10次(10/19),占53%;如果采用6个指标的全组合判定,检验正确的17次(17/35),占49%。如果仅考虑最大震级为2.7级以上的震群,利用 U - K 组合,其后检验正确的9次(9/18),占50%; U - ρ 组合5次(5/11),占45%; K - ρ 组合3次(3/11),占27%; U - K - ρ 组合3次(3/11),占27%;如果采用6个指标的全组合判定,其后检验正确的13次(13/18),占72%。

由此可见,研究区判定前兆、非前兆震群采用 U - ρ 、 K - ρ 、 U - K - ρ 等组合或全组合效果相对较好,检验正确的约占50%,这可为今后震群发生后的趋势判定提供参考。如果仅考虑最大震级为2.7级以上的震群,则判定前兆、非前兆震群时采用全组合的效果相对较好。

但总体而言,通过前兆震群类型的判别判断后续是否有中强以上地震,在宁夏及邻区的效果并不十分理想,需要综合其它方法和手段进行判定。

5 结论

本文系统研究了收集到的35次震群活动资料,分析了宁夏及邻区震群活动的参数特征,探讨了该地区震群活动与中强以上地震间的关系,分析检验了前兆震群类型的判定指标,得到以下结论:

(1)宁夏及邻区震群序列中地震频次和震群持续时间与震群的最大震级之间没有明确的线性关系。不同地区震群活动具有其自身特征,宁夏北部及邻区和灵武吴忠地区震群的最大震级偏大,频次较少,持续时间在1个月以内;宁夏南部及邻区震群的最大震级偏小,频次较少,持续时间相对较长。

(2)宁夏南部及邻区的小震群与中强以上地震间的关系不大,仅有3次对应了甘东南5级以上地震,这与该区域5级地震前弱震活动出现中短期平静现象相关联(任雪梅等,2006);宁夏北部及邻区1970年以来的9次小震群,有3次对应了5级以上地震,对应率为33%;灵武-吴忠地区的12次小震群,有4次对应了5级以上地震,对应率为33%。

(3)统计发现,1970年以来宁夏及邻区最大震级2.7级以上的震群有18次,其中8次对应了5.0级以上地震。因此,今后利用震群预测宁夏及邻区5.0级以上地震时,应统计最大震级为2.7级以上的震群的映震效果;灵武-吴忠地区利用震群预测5.0级以上地震的效果最好,但不建议利用震群预测宁夏南部及邻区5.0级以上地震。

(4)研究区判定前兆、非前兆震群采用 U - ρ 、 K - ρ 、 U - K - ρ 等组合或全组合效果相对较好,如果仅考虑最大震级为2.7级以上的震群,则判定前兆、非前兆震群时采用全组合的效果相

对较好。

宁夏及邻区中的灵武吴忠地区的震群映震效果较好,其他地区的震群映震效果较差,因此判定一个区域发生震群后续是否有中强以上地震,效果并不十分理想,需要参考其它方法和手段综合判定。

参考文献

- 国家地震局科技监测司,1990,地震学分析预报方法程序指南,25~28,北京:地震出版社。
- 国家地震局预测预防司,1997,测震学分析预报方法,105~174,北京:地震出版社。
- 姜秀娥、陈非比,1983,区域震群与唐山大震,地震学报,5(2),146~156。
- 李兴才、冯树文,1983,震群活动的一种可能触发机制,地震学报,5(3),297~303。
- 陆远忠、宋俊高、戴维乐,1984,一个判断震情的指标——震群的 U 值,地震学报,6(增刊),495~508。
- 任雪梅、延海军,2006,宁夏南部及邻区 $M_L \geq 3.0$ 地震平静与中强以上地震的关系,地震研究,29(2),113~116。
- 宋治平、徐平、薛艳,2001,华北地区震群活动的阶段性特征,地震,21(1),47~52。
- 王炜、杨德志,1987,利用 Weibull 分布研究华北地区前兆震群特征,中国地震,3(4),13~21。
- 朱传镇、王林瑛,1989,震群信息熵异常与地震预测,见:许绍燮、陆远忠、朱传镇等,地震预报方法实用化研究文集(地震学专辑),229-242,北京:学术书刊出版社。

The precursor analysis of earthquake swarms in Ningxia and its adjacent area

Ren Xuemei Cai Xinhua Sheng Juqin

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

Abstract We systematically analyzed 10 out of the 35 earthquake swarms in Ningxia and its adjacent area, summarized the characteristics of earthquake swarms and discussed the relationship between earthquake swarms and medium-strong $M \geq 5.0$ earthquakes in Ningxia and its neighboring area since 1970. Swarm forecast is recommended for $M \geq 5.0$ earthquakes in the Lingwu-Wuzhong region but not for $M_s \geq 5.0$ earthquakes in southern Ningxia and its neighboring area. Whether there is a subsequent medium-strong earthquake, the general effect of the swarm precursor discrimination is not very good and need the reference to other methods and means.

Key words: Ningxia and adjacent area; Earthquake swarms; Characteristics of earthquake swarms; Criteria of precursory earthquake swarms