

97, 19(4)
1-5

1995年宁夏牛首山震群序列分析与预报

张文孝 赵卫明 柴炽章 许文俊

(宁夏回族自治区地震局, 银川 750001)

p 315.2
p 315.7

摘要 介绍了1995年宁夏回族自治区牛首山附近发生的3次震群的序列特征, 对震群的发震构造、环境因素和预测问题进行了探讨, 认为这3次震群均属前兆震群, 为多方向的断层小破裂所致, 与附近青铜峡水库储水关系不大。

主题词 序列分析 震群 地震预报 宁夏

1 引言

1995年2月31日至11月25日, 在宁夏回族自治区中部的牛首山附近发生了3次震群, 其中5月21日至10月27日的震群共记到小震6870次, 最大震级 $M_L 3.6$, 这3次震群的小震频次高, 延续时间长, 为宁夏地震台网建立以来所少有的, 从而引起了各有关地震预报部门的重视和一定程度的社会恐慌。本文在详细收集与震群有关资料的基础上, 介绍了这3次震群的序列性, 对震群的发震构造、环境因素和预测问题进行了探讨, 力求对此少见的震群事件得出较为全面、客观的认识。

2 震群序列情况与特征

宁夏地震观测台网始建于1966年, 1970年后基本完善。该台网对牛首山所在的宁夏中部地区地震的监测能力为 $M_L \geq 2.0$ 。1987年银川遥测台网建立后, 牛首山附近地区地震监测能力提高到了 $M_L \geq 1.5$, 其中牛首山传输子台放大倍数约20万倍, 可较全面地记录到距牛首山台20 km范围内 $M_L \geq 0.5$ 地震。

1995年在牛首山附近发生了3次震群事件, 具体见表1, 其中震群的经纬度取震群中最大地震的位置。3次震群中绝大多数地震距牛首山台在10 km以内, 牛首山台记录到了这些地震, 其中第二次震群的小震频次高、延时长, 而第一和第三次震群的最大震级、总次数和延续时间均明显不如第二次震群。以下主要介绍第二次震群的序列特征。

表1 1995年牛首山3次震群参数

序号	起止时间	北纬	东经	次数	最大震级	b值	U值	K值
1	1995-01-31~02-06	37°42'	106°05'	95	2.2		0.2	0.89
2	1995-05-21~10-27	37°40'	106°10'	6870	3.6	1.01	0.5	0.75
3	1995-11-15~11-25	37°38'	106°02'	12	1.4		1.0	0.96

收稿日期: 1996-04-15

第一作者简介: 张文孝, 男, 1943年生, 研究员, 主要从事地震活动性及综合预报研究工作

根据宁夏地震台网的记录,从1995年5月21日至10月27日,共发生小震6870次,其中 $1.0 \leq M_L \leq 1.9$ 地震509次, $2.0 \leq M_L \leq 2.9$ 地震45次, $3.0 \leq M_L \leq 3.9$ 地震5次,6月21日发生的 $M_L 3.6$ 地震为最大地震,其震源深度10 km. 表2给出了这次震群序列中 $M_L \geq 3.0$ 地震的参数.

表2 牛首山震群中 $M_L \geq 3.0$ 地震参数

序号	发震时间	北纬	东经	震级(M_L)	震源深度(km)
1	1995-05-21-12:35:41.6	37°39'	106°10'	3.2	7
2	1995-05-26-21:56:16.3	37°39'	106°09'	3.0	8
3	1995-06-21-16:28:38.4	37°31'	106°11'	3.6	10
4	1995-08-09-17:23:16.6	37°41'	106°05'	3.0	12
5	1995-10-23-10:36:01.8	37°35'	106°20'	3.0	6

通过统计分析,发现这次震群序列的主要特征为:

(1) 衰减慢,起伏大,并有成丛发生的特征.5次 $M_L \geq 3.0$ 地震发震时间比较分散,在震群开始和结束时都有发生.除9月份外,其余各月都有 $M_L \geq 2.0$ 地震发生.从频次看,6月21日至7月4日为地震的密集发生时段,其次在5月21日,5月28日,8月9日和8月26日前后出现过4次频次较高的小震密集时段.另外,多数 $M_L \geq 2.5$ 地震前都出现过明显的小震频次升高现象(图1和图2).

(2) 震中分布以 $37^{\circ}40'N$, $106^{\circ}10'E$ 附近地震最为密集,总体分布无明显优势方向, $M_L 3.6$ 主震发生在其南端(图3).

(3) 这次震群序列各有关参数为: $b = 1.01 \pm 0.08$ (图4), $U = 0.5$, $K = 0.75$, $\rho = 0.46$.以5月21日 $M_L 3.2$ 地震和6月31日 $M_L 3.6$ 主震为起始日所作的H值均明显小于1.0,其中后者的H值为0.4.用 $M_L \geq 2.0$ 地震计算的分维数 $D_0 = 0.43$, $M_L \geq 1.5$ 地震的

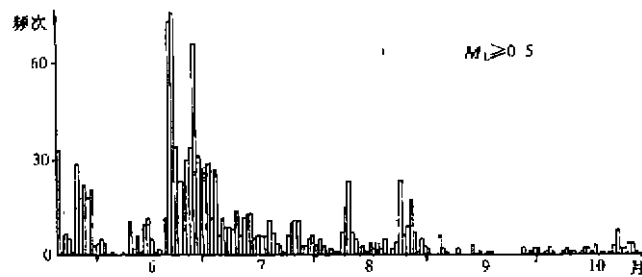


图1 牛首山震群小震日频次图

Fig. 1 Daily frequency of small earthquakes of the Niushoushan swarm.

分维数 $D_0 = 0.47$ (图5).

根据《地震学分析预报方法程式指南》^[1]中对前兆震群的判别方法, b , K 和 ρ 值均满足前兆震群的指标,仅 U 值不满足,但处于判别阈值点上.另外,通过对宁夏及邻区震群的研究得知,一般前兆震群的 $D_0 < 0.5$,如1976年巴音木仁

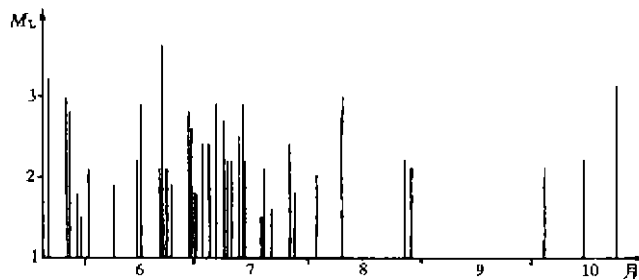


图2 牛首山震群 $M-t$ 图($M_L \geq 1.5$)

Fig. 2 The $M-t$ relation of the Niushoushan swarm.

6.2级地震前兆震群的 $D_0 = 0.43$ 。因此,认为该震群应属于前兆震群。

(4) 震群的发展时间受潮汐变化的影响比较明显。震群的总调制比为0.31,大于调制日所占的比例数0.27,特别是8月10日,8月26日和10月24日(均为阴历初一或十五)的大潮日,其调制比均大于0.5(图6)。调制比增大,说明震源区的不稳定性增强,易受触发因素的影响而发生地震。1976年巴音木仁6.2级地震前震群的调制比为0.49,也属高值。因此,经对宁夏及邻区中强以上地震前区域地震调制比的研究分析,认为调制比出现高值属于异常情况。

3 震源机制与发震构造的探讨

用宁夏地震台网记录的第二次震群中 $M_L 3.6$ 主震的P波初动符号所作的震源机制解见图7和表3。表3中还列出了1992年3月9日 $M_L 4.2$ 地震的震源机制解,这次地震为宁夏地震台网建立以来在牛首山附近发生的最大的一次地震。由于这两次地震的震级不大,能比较清晰记到P波初动符号的台站较少,所求的震源机制解仅供参考。

各台记录到的3次震群的小震P波初动符号均呈正负相间变化,即一段时间为正,一段时

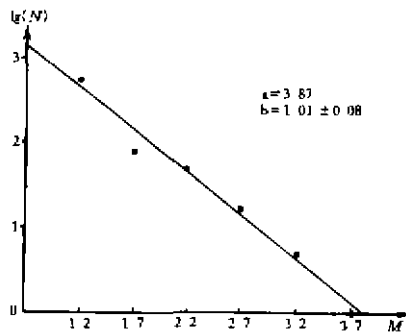


图4 牛首山震群b值曲线($M_L \geq 1.5$)

Fig.4 Magnitude-frequency curve of the Niushoushan swarm

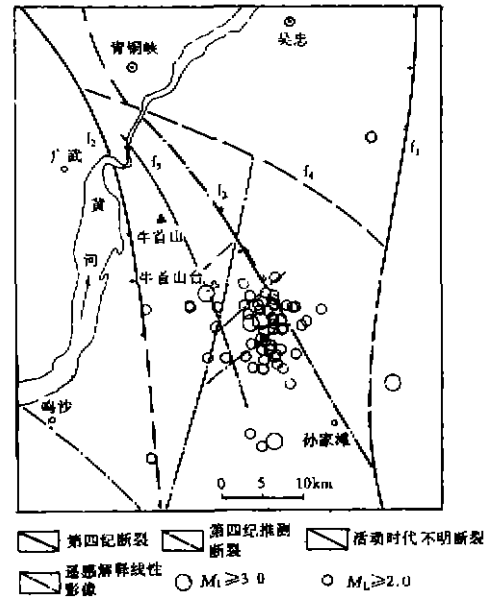


图3 牛首山地区断裂构造和小震分布

Fig.3 Distribution of faults and small earthquakes in Niushoushan area.

f_1 鄂尔多斯西缘断裂; f_2 牛首山西麓断裂;
 f_3 牛首山东北麓断裂; f_4 牛首山台地前缘断裂;
 f_5 牛首山山内断裂

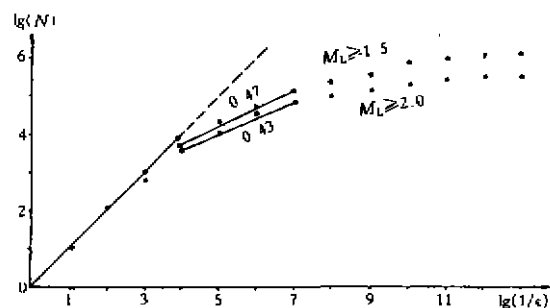


图5 牛首山震群时间分维曲线

Fig.5 Fractal curve of the Niushoushan swarm

间为负,不论正号还是负号都占有相当的比例。表4列出了各台记录到第二次震群小震的P波初动符号的正号数与符号总数之比。若震群由一条断层的破裂产生,则各台记录到的小震P波初动符号绝大多数应是一致的,这表明3次震群序列并非由一条断层破裂产生,而很可能是多个方向的小破裂的结果。

由图3可见,在牛首山附近30 km范围内分布有多条断层^[2],震群所处位置为一多组活动构造的交汇区,此处介质比较破碎,应力易于集中,也易于释放。由表3还可以看出,两次地

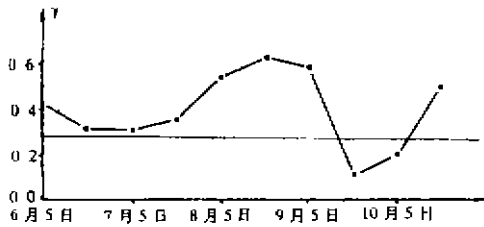


图6 牛首山震群小震调制比曲线

Fig 6 Modulation ratio curve of small earthquakes of the Niushoushan swarm.

震的震源机制节面走向比较一致, P 轴方位均为北东向, 与宁夏区域应力场的方向一致^[3], 但节面的倾向正好相反, 这表明该处存在有多条发震构造. 再考虑到第二次震群小震震中分布的无方向性, 可认为这 3 次震群序列的发生是在北东向的区域应力场作用下由多方向的断层小破裂(即多组发震构造)所致.

需要说明的是, 震群西侧约 20 km 处是黄河青铜峡水库. 该水库 1958 年动工兴建, 坝体高度 42.7m, 设计总库容 $6.06 \times 10^8 \text{m}^3$. 1962 年 2 月截流灌溉, 水头抬高 3m, 1967 年 12 月发电, 水头抬高 9 m. 因泥沙的淤积, 现实库容已不足 10^8m^3 . 水库建成至今已 28 年之久, 此期间在牛首山震群分布区附近曾有零星小震发生, 但活动水平比周围的吴忠、灵武地区及中卫、中宁地区明显偏低. 在牛首山震群的集中分布区域内, 除了 1971 年吴忠南 5.1 级地震序列期间发生过不到 10 次 $2.5 \leq M_L \leq 4.2$ 地震和 1992 年 3 月 9 日吴忠南 4.2 级地震外, 其它时段极小有 $M_L \geq 2.5$ 地震发生. 在距青铜峡水库库区 5 km 范围之内, 1970 年以来无 $M_L \geq 3.0$ 地震, $M_L \geq 2.0$ 地震也极少发生. 因此, 青铜峡水库储水对地震的触发作用是不明显的, 可以排除水库诱发震群的可能性.

4 关于预测问题的讨论

这 3 次震群发震的时间和空间非常密集, 也可以认为是一次时间较长、发震数量较多的小震活动, 其本身就是一

种值得重视的异常情况. 按文献[1]中判定前兆震群的指标, 除第一和第二次震群的 U 值正常外, 其它参数均不正常, 3 次震群都可判定为前兆震群. 距牛首山台 500 km 范围内于 1995 年 7 月 22 日发生了甘肃永登 5.8 级地震($\Delta \approx 310 \text{ km}$), 正好发生在第二次震群中最大地震后一个月. 永登地震是否完全对应了这 3 次震群尚待进一步研究.

震的震源机制节面走向比较一致, P 轴方位均为北东向, 与宁夏区域应力场的方向一致^[3], 但节面的倾向正好相反, 这表明该处存在有多条发震构造. 再考虑到第二次震群小震震中分布的无方向性, 可认为这 3 次震群序列的发生是在北东向的区域应力场作用下由多方向的断层小破裂(即多组发震构造)所致.

需要说明的是, 震群西侧约 20 km 处是黄河青铜峡水库. 该水库 1958 年动工兴建, 坝体高度

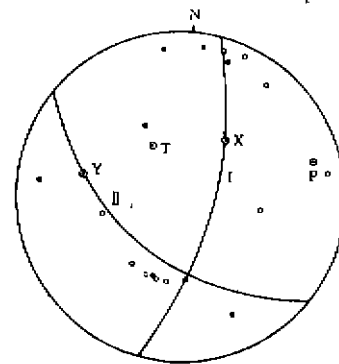


图7 1995年6月21日牛首山 $M_L 3.6$ 地震震源机制

Fig.7 Focal mechanism of the Niushoushan $M_L 3.6$ earthquake on June 21, 1995

表3 牛首山附近两次地震震源机制解

发震时间	震中位置		震级 (M_L)	深度 (km)	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		N 轴		符号总数
	北纬	东经			走向	倾角	倾向	走向	倾角	倾向	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
1992-03-09	37°40'	106°13'	4.2	10	6°	80°	ES	96°	85°	WS	50°	4°	142°	12°	296°	78°	12
1995-06-21	37°31'	106°11'	3.6	10	10°	65°	NW	124°	50°	NE	69°	10°	329°	48°	167°	40°	9

表4 牛首山第二次震群初动符号正号与符号总数之比

牛首山	小口子	同心	中卫
$\frac{308}{539} = 0.57$	$\frac{14}{41} = 0.34$	$\frac{16}{22} = 0.73$	$\frac{10}{27} = 0.37$

统计宁夏及邻区($35^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $103^{\circ}30'\sim 107^{\circ}40'\text{E}$)1975~1992年所发生的地震,其中有26次震群活动,在距这些震群250 km范围内共发生过11次中强地震。由于大部分震群的小震数量较少,统计参数 b 值和 ρ 值的可靠性和稳定性较差,故仅分析这些震群的 U 值和 K 值与中强地震的对应关系,结果为:

(1) 按震群发生后2年内在其周围250 km范围内发生中强震的预报方案,在26次震群中,有21次震群不论其指标如何变化,均有中强地震与之对应,占81%,表明震群与中强地震的对应率是比较高的,震群的多发时段也就是中强地震的活跃时段。

(2) 按文献[1]中判定前兆震群的单项指标 $U>0.5$ 和 $K\geq 0.75$ 以及 $U-K$ 组合指标 $U>0.5$ 与 $K\geq 0.7$,预报时间为2年,距离为250 km,符合上述条件的震群与中强地震的对应率分别为68%,64%和68%,低于震群与中强震的直接对应率。

(3) 若用26次震群参数的均值 $U=0.6$ 和 $K=0.7$ 作为判别前兆震群的单项指标和 $U-K$ 组合指标,选择最小预报范围130 km和对应率最高的预报时间间隔1.5年,符合上述条件的震群与中强震的对应率分别为76%,72%和80%。此对应率虽略低于震群与中强地震的直接对应率,但预报的时空范围明显减小,其中空间范围减小了近一半,这对实际地震预报是非常有益的。按此方案,这3次震群所对应的中强地震区域范围应在宁夏及毗邻地区。

参考文献

- 1 国家地震局科技监测司.地震学分析预报方法程序指南.北京:地震出版社,1990.
- 2 国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂带课题组.鄂尔多斯周缘活动断裂带.北京:地震出版社,1988.
- 3 赵知军,王玉髓,刘秀景.1987年8月10日灵武5.5级地震前后小震活动图象及震区应力场特征.西北地震学报,1989,11(3):63-68

SEQUENCE ANALYSIS AND PREDICTION OF THE NIUSHOUSHAN SWARMS IN 1995

ZHANG Wenxiao ZHAO Weiming CHAI Chizhang XU Wenjun
(*Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region*)

Abstract

The problems about the sequence features, causative structures and prediction of the swarms near Mt. Niushoushan of Ningxia in 1995 are discussed in this paper. It is considered that these swarms were all premonitory events, which did not relate to the water storage of the Qingtongxia reservoir and resulted from the action of a few fractures in different directions.

Key words Sequence analysis, Earthquake swarm, Earthquake prediction, Ningxia