

宁夏及邻区 5 级以上地震前中等地震活动增强特征研究

任雪梅, 马禾青, 赵知军, 谢晓峰

(宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川 750001)

摘要:通过对 1965 年以来宁夏及邻区 $M_L \geq 5.0$ 以上地震前中等地震资料的分析, 发现大多存在中等地震活动增强特征. 在 A 区中等地震活动增强异常结束后 7 个月内发生 5 级地震的概率为 0.71; B 区在 3 年内发震概率为 0.60. 发震地点位于异常分布范围的外围连线附近的概率为 0.79. 其预测效能 R 值评分为 0.75. 因此中等地震活动增强可以作为本区 5 级以上地震的一种中期预测方法.

关键词:宁夏; 中等地震活动增强; 发震概率; 地震预测

中图分类号: P315.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)03-0267-06

0 引言

中强以上地震发生前中等地震活动特征的研究, 在国内开展得较为普遍. 马宗晋等在 1966~1976 年中国大陆地区发生的九大地震进行研究后发现, 多数强震前都有中等地震的集中持续活动^[1]. 郁曙君在对大华北 5 级以上地震研究后发现, 早在震前 5 年就会出现中等地震的集中持续活动^[2], 在华北地区对这种震兆现象的定量研究与地震预报方法^[3]也趋于成熟.

一些研究表明, 宁夏及邻区的多数 5 级以上地震在震前会出现 4 级信号前震, 但尚欠缺系统地对中强地震前中等地震活动特征的统计研究. 本文对 1965 年 1 月~2001 年 6 月宁夏及邻区的中等地震活动增强特征进行了统计研究, 从时、空、强三方面探讨了中等地震和未来中强地震之间的定量关系.

1 资料选取

宁夏及邻区的范围选取为 $35^{\circ} \sim 40.7^{\circ}N$, $103.5^{\circ} \sim 107.7^{\circ}E$, 研究时间取为 1965 年 1 月至 2001 年 6 月. 1965~1969 年的地震资料采用宁夏地震目录, 1970 年以后采用中国地震局地震分析预报中心编制的《地震目录》. 选取的中等地震为 $4.0 \leq M_L \leq 4.9$, 参照文献[4]对个别 $M_L 5.0$ 以上地震目录进行了修正. 对所用资料中的 5 级以上地震进行了余震删除(距离主震震中距离为 50 km 范围内的 4 级以上地震).

根据《中国地震烈度区划图概论》^[4], 宁夏及邻区大致可划分为 2 个区(图 1), 即 A 区和

收稿日期: 2001-09-10

作者简介: 任雪梅(1968—), 女(汉族), 四川崇州人, 工程师(现在中国地震局兰州地震研究所攻读硕士学位), 从事地震活动性预报与研究工作.

B 区. A 区属华北地震区, 为银川—河套地震带的西部; B 区属青藏高原地震区, 为祁连山—六盘山地震带的东北部. 因此本文对 2 个区的地震活动分别统计和研究.

2 中等地震活动增强的参数

在一个研究区内, 如果 2 年内连续发生了 3 次或 3 次以上 $4.0 \leq M_L \leq 4.9$ 的地震, 即定义为中等地震活动增强. 可采用逐年滑动的办法选取中等地震活动增强时段.

据此在研究区中找到 13 次中等地震活动增强时段, 其中 A 区 8 次, B 区 5 次(表 1).

本文从时、空、强三要素出发, 选用以下 3 个参量作为描述中等地震活动增强状态的定量指标: (1) 增强地震能量 E : 即在一个中等地震活动增强时段内满足定义条件的所有地震的能量累加, 以 10^{12} 焦耳为单位. (2) 增强地震持续时间 T : 一个增强活动时段从第一次地震到最后一次地震的时间差, 以月为单位. (3) 增强地震折合圆半径 R : $R = \sqrt{S/\pi}$, 其中 S 为所有参加增强活动的地震在空间分布上所围成的凸多边形的面积; R 的单位为 km. 如果地震为一震群, 则 R 取值为 $60 \text{ km}^{[3]}$.

所有 13 个中等地震活动增强时段的描述参数列于表 1.

表 1 宁夏及邻区 1965 年 1 月~2001 年 6 月中等地震活动增强的描述参数

分区	序号	起始时间	终止时间	持续时间/月	能量/ $[\times 10^{12} \text{J}]$	圆半径/km	增强震数/个
A	1	1967-11-03	1971-06-11	43	0.628	127.93	16
	2	1973-02-01	1973-11-18	9.5	0.106	92.79	6
	3	1975-04-25	1976-09-12	16.5	0.099	76.95	6
	4	1977-06-30	1981-12-09	53	0.466	126.30	14
	5	1983-03-11	1984-10-26	19.5	0.276	105.65	6
	6	1989-02-10	1990-06-14	16	0.512	86.29	6
	7	1992-03-09	1995-03-13	36	0.374	110.69	5
	8	1996-08-12	1998-08-24	24.5	0.220	113.22	7
B	9	1969-07-09	1970-11-30	17	0.111	51.41	5
	10	1972-07-05	1973-05-16	10.5	0.103	31.11	3
	11	1974-04-22	1976-06-28	26	0.217	62.24	6
	12	1985-04-29	1986-12-30	20	0.088	36.43	5
	13	1991-03-07	1993-11-27	32	0.181	61.32	6

3 中等地震活动增强与 5 级以上地震的关系

根据中国地震局地震分析预报中心编制的《地震目录》和部分宁夏地震目录, 1965 年 1 月~2001 年 6 月宁夏及邻区共记录到 20 次 M_L 5.0 以上的地震, 对这 20 次地震均作了中等地震活动增强异常检验(表 2, 图 2). 由于灵武地区 1987 年 8 月 10 日的 5.8 级地震、1988 年 1 月 4 日的 5.8 级地震和 1988 年 1 月 10 日 5.4 级地震为同一个震群事件, 故检验时作为同一个地震(将 3 次地震的能量和折合成同等地震能量的 1 次地震). 1991 年阿拉善左旗的 3 次 5 级以上地震虽不属同一震群, 但发震时间和发震地点相近, 本文在统计分析时也作为同一地震考虑. 因此在本文的研究时段内共计有 16 次地震事件.

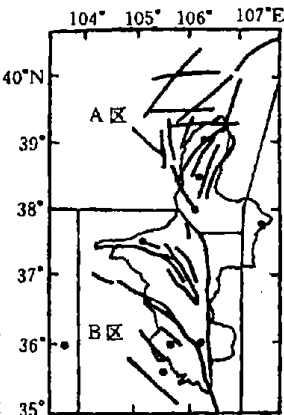


图 1 宁夏及邻区分区示意图

Fig. 1 Sketch of divisional areas of Ningxia and neighbor areas.

表 2 宁夏及邻区 5 级以上地震目录(1965 年 1 月~2001 年 6 月)

分区	发震时间	纬度	经度	地点	M_L
A	1971-06-28	37.75°	106.20°	吴忠	5.5
	1976-09-23	39.90°	106.40°	巴音木仁	6.4
	1983-01-17	40.37°	107.02°	磴口	5.5
	1984-11-23	38.07°	106.22°	灵武	5.6
	1986-06-03	38.45°	104.22°	阿拉善左旗	5.3
	1987-08-10	38.05°	106.28°	灵武	6.0*
	1991-01-13	40.55°	106.05°	阿拉善左旗	5.8*
	1996-01-04	38.78°	104.63°	阿拉善左旗	5.3
	1999-03-20	39.82°	106.67°	乌海	5.3
B	1970-12-03	35.85°	105.55°	西吉	5.8
	1973-09-28	37.37°	106.20°	同心	5.0
	1982-04-14	36.75°	105.50°	海原	6.0
	1989-11-02	35.97°	106.28°	固原	5.3
	1991-10-30	37.17°	106.08°	同心	5.1
	1998-07-29	36.78°	105.40°	海原	5.3
	1999-03-18	37.45°	105.55°	中宁	5.3

注: * 震级为震群中几次地震能量和的折合震级

3.1 主震发震地点与中等地震活动增强中每次地震震中的关系

由图 2 可以计算得到主震距中等地震活动增强中每次地震的距离. 经统计主震位置靠近第一次中等地震位置的有 1 次, 占 7%; 靠近最后一次中等地震位置的有 5 次, 占 36%; 二者共占 43%.

另外, 由图 2 可以看出, 主震震中位置靠近由增强中等地震所围成的凸多边形的外围连线附近的有 11 次, 占 78.6%; 靠近凸多边形顶点的有 8 次, 占 57.1%. 由此可作为今后在预报中预测主震发震地点的参考.

3.2 主震发震时间

从表 3 可以看出, 主震滞后于中等地震活动增强中最后一次中等地震的时间在 A 区为 1~13 个月, 其中滞后 7 个月内的有 5 次, 占 71.4%; 滞后 1 年内的有 7 次, 占 85.7%. 在 B 区为 1~69 个月, 其中滞后半年内的有 2 次, 占 40%; 滞后 3 年内的有 3 次, 占 60%, 还有 2 次的滞后时间长达 5~6 年. 可见, B 区的主震滞后时间远远大于 A 区. 上述数据可作为预测今后主震发震时间的参考.

3.3 主震震级

郁曙君认为, 主震震级和中等前震的能量 E 、持续时间 T 和活动范围 R 有关^[2]. 先采用华北震区的统计公式^[2]进行计算

$$M = 4.1753 + 0.0495E + 0.0205T + 0.0156R$$

(1)

然后根据结果进行检验. 如果误差较大(即主震的计算震级与实际震级误差范围大于±0.5), 再进一步修正该公式.

得到的结果是: B 区主震的计算震级与实际震级误差≤±0.5; 而 A 区主震的计算震级与实际震级误差范围从-1.8 到+1.4. 表明 B 区使用该公式的统计效果很好, 而 A 区的统计效果则不理想, 笔者认为这主要是因为 A 区的范围较大, 超出主震的前震范围所致.

对上述公式进行修正, 得到 A 区的统计公式

$$M = 4.128 + 0.050E + 0.020T + 0.006R$$

(2)

据式(2)得到的结果见表 3. 其中震级误差大于±0.5 的有两次地震, 即 1976 年巴音木仁

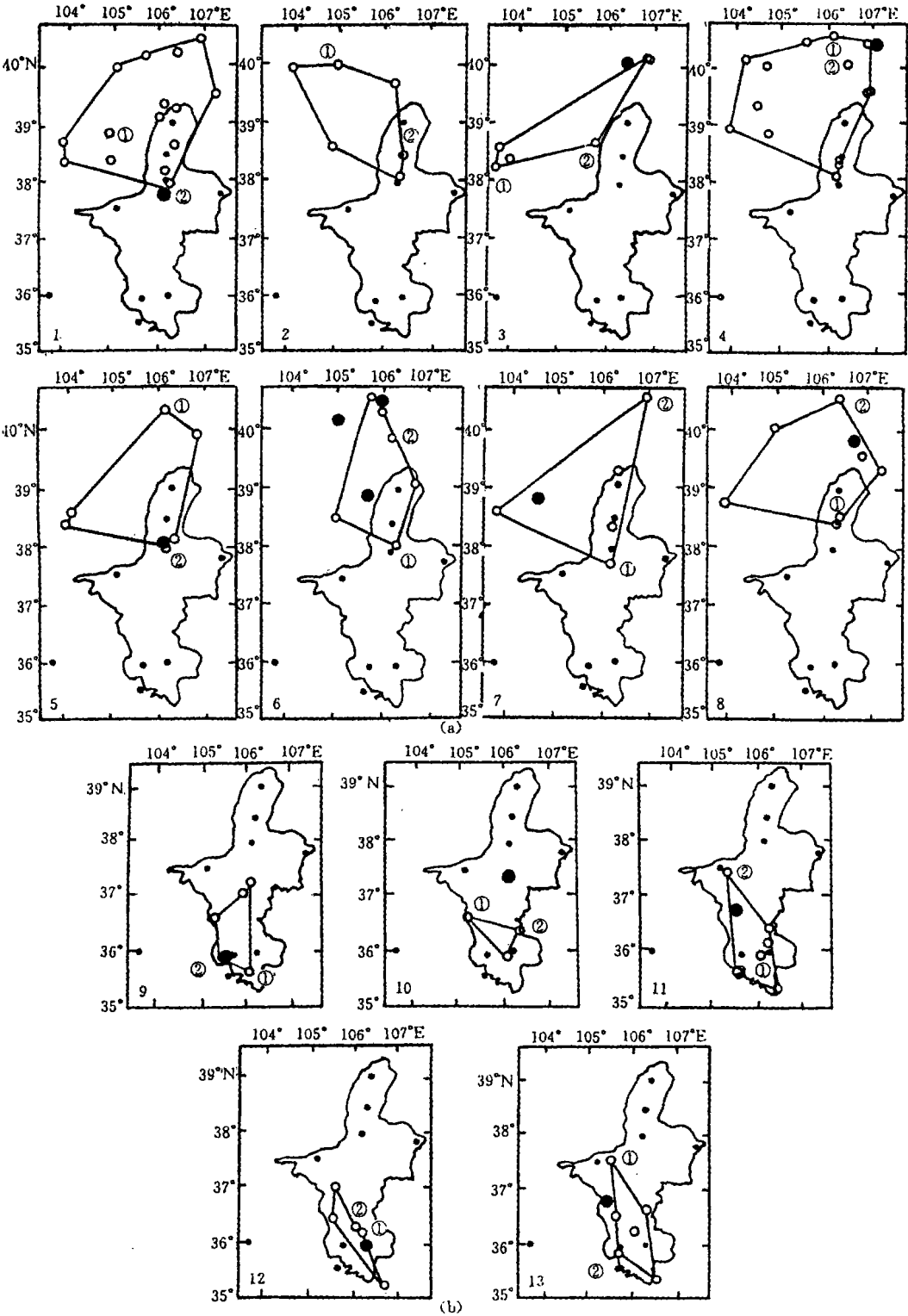


图 2 宁夏及邻区 5 级以上地震前中等地震活动增强图像
Fig. 2 Image of the seismicity increment for moderate earthquakes before $M \geq 5$ strong ones in Ningxia and neighbour areas.

6.4 级地震和 1991 年阿拉善左旗的 3 次 5 级以上地震的折合地震. 前者的震中已靠近 A 区边界, 部分前震位于 A 区范围之外, 未统计在内, 故影响了计算的准确. 笔者认为第 2 次中等地震活动增强异常也反映巴音木仁 6.4 级地震, 将第 2 和第 3 次异常的参数相加得到的震级为 6.0, 与实际发生的 6.4 级地震相差 0.4, 对应较好. 这样将第 2、3 次合并后的 12 次计算震级中只有一次与实际地震震级相差大于 0.5 级, 占总数的 8 %.

4 效果检验

在进行检验时, 如果某一中等地震活动增强异常结束后 2 年内在研究区内有 5 级以上地震发生, 且计算震级与实际主震震级相差不大于 0.5 级, 认为对应关系好; 相差大于 0.5 级, 视为对应关系较好; 无 5 级以上地震发生, 为虚报. 若有 5 级以上地震发生, 但震前无中等地震活动增强异常, 则为漏报. 若 5 级以上地震发生在异常结束 2 年后, 也视为对应关系较好. 计算与检验结果均列于表 3 中.

表 3 预测效果检验

分区	序号	预测地震		实发地震			检评		
		增强结束时间	$M_{\text{测}}$	发震时间	地点	M	ΔM	滞时/月	评价
A	1	1971-06-11	5.8	1971-06-28	吴忠	5.5	0.3	1	好
	2	1973-11-18	4.9	无					虚报
	3	1976-09-12	4.9	1976-09-23	巴音木仁	6.4	-1.5	1	较好
	4	1981-12-09	6.0	1983-01-17	磴口	5.5	0.5	13	好
	5	1984-10-26	5.2	1984-11-23	灵武	5.6	-0.4	1	好
		无		1986-06-03	阿拉善左旗	5.6			虚报
		无		1987-08-10	灵武	6.0 **			漏报
	6	1990-06-14	5.0	1991-01-13	阿拉善左旗	5.8 **	-0.8	7	较好
	7	1995-03-13	5.5	1996-01-01	阿拉善左旗	5.3	0.2	10	好
	8	1998-08-24	5.3	1999-03-20	乌海	5.3	0	7	好
B	9	1970-11-30	5.3	1970-12-03	西吉	5.8	-0.5	1	好
	10	1973-05-16	4.9	1973-09-28	同心	5.0	-0.1	4	好
	11	1976-06-28	5.7	1982-04-14	海原	6.0	-0.3	69	较好
	12	1986-12-30	5.2	1989-11-02	固原	5.3	-0.1	34	较好
		无		1991-10-30	同心	5.1			漏报
	13	1993-11-27	5.8	1998-07-29	海原	5.3	0.5	56	较好
		无		1999-03-18	中宁	5.3			漏报

由表 3 可以作出以下统计: 将 13 次中等地震活动增强时段作为 12 次中等地震活动增强异常, 异常后对应地震的有 12 次, 占 100%. 在研究时段内发生了共 16 次 5 级以上地震 (震群和发震地点、时间相近的地震在统计时按同一地震对待), 地震前有中等地震活动增强异常的 12 次, 占 75%; 地震前无异常的 4 次, 占 25%.

预测效能采用许绍燮的 R 值方法进行评分^[3], $R = \text{有震报准确率} - \text{虚报率}$, 这里 $R = 0.75 - 0 = 0.75$, 这表明中等地震活动增强对 5 级以上地震是有一定预测能力的.

5 结论与讨论

(1) 中等地震活动增强可以作为宁夏及邻区 5 级以上地震的中期预测方法. 其预测效能评分 $R = 0.75$.

(2) A 区中等地震活动增强异常结束后 7 个月内发震的概率为 0.71; B 区中等地震活动

增强异常结束后 3 年内发震的概率为 0.60. 发震地点位于所有参加增强活动的地震在空间围成的凸多边形的外围连线附近的概率为 0.79. 主震震级与中等地震活动增强的描述参数 E 、 T 、 R 有关, B 区用华北地区的统计公式较准确; A 区则误差较大, 故重新修正了 A 区的统计公式. A 区和 B 区的差异反映了两区地震活动的差异性.

- (3) 1973 年 2 月至 11 月的中等地震增强后未对应 5 级以上地震,
1976 年巴音木仁 6.4 级地震的震前异常.
5 级以上地震, ,
.
(4) 5 级以上地震的 4 次漏报中有 3 次发生在宁夏中部中宁、 ,
.
(5) , , .
[]

[1] , , . 1966~1976 年中国九大地震[M]. : , 1982.
[2] . 5 级以上地震的震兆—— [A]. : .
, [C]. : , 1989. 142—153.
[3] . [M]. : , 1990.
[4] . [M]. : , 1990.
[5] . [A]. : . [C]. : , 1989. 586—590.

STUDY ON CHARACTERISTICS OF THE SEISMICITY ENHANCEMENT OF MODERATE EARTHQUAKES BEFORE $M \geq 5$ EVENTS IN NINGXIA AND ITS ADJACENT AREAS

REN Xie-mei, MA He-qing, ZHAO Zhi-jun, XIE Xiao-fen
(Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China)

Abstract: Through analysing the seismicity data before $M_L \geq 5.0$ earthquakes in Ningxia and its adjacent areas since 1965, it is found that there mostly is the characteristics of enhancement of moderate earthquakes before $M_L \geq 5.0$ earthquakes. In A part of the study area, the probability for occurrence of $M_L \geq 5.0$ earthquake is 0.71 after anomaly of the enhancement of moderate earthquakes in 7 months; and it is 0.60 in 3 years in B part. The probability that earthquake locats near the outer linked lines of all earthquakes in one enhancement of moderate earthquakes is 0.79. Its R -value is 0.75. So the enhancement of moderate earthquakes can be a middle period prediction method for $M \geq 5$ earthquake in this region.

Key words: Ningxia; The enhancement of moderate earthquakes; The probability of earthquake occurrence; Earthquake prediction