

宁夏海原5.5级地震序列活动特征

王振声 肖丽珠 曹克信

(兰州地震研究所)

摘 要

1982年4月11日廿、宁交界宁夏境内海原县蒿川公社发生一次5.5级地震。本文参考宏观考察结果研究这次地震序列活动类型、视出射角的变化以及地质条件,确定这一序列为孤立型,并发现震前静宁台的视出射角曾达到低值 22.9° ;这一现象与1980年4月18日及23日本里两次5.2级地震震前,1981年8月13日内蒙丰镇5.5级地震震前相类似。

一、前 言

1982年4月14日宁夏海原境内发生一次 $M_s=5.5$ 级地震。这次地震有感范围较大,西从兰州,东至平凉、庆阳,南起天水、宝鸡,北抵银川平原,有感面积约12万平方公里。极震区位于海原县蒿川公社。经考察确定极震区烈度为Ⅳ度图(1)。

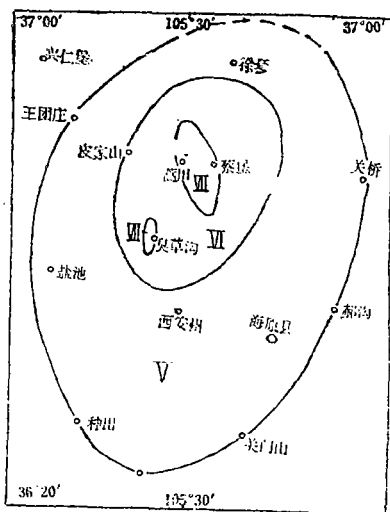


图 1 1982年4月14日宁夏海原蒿川5.5级地震

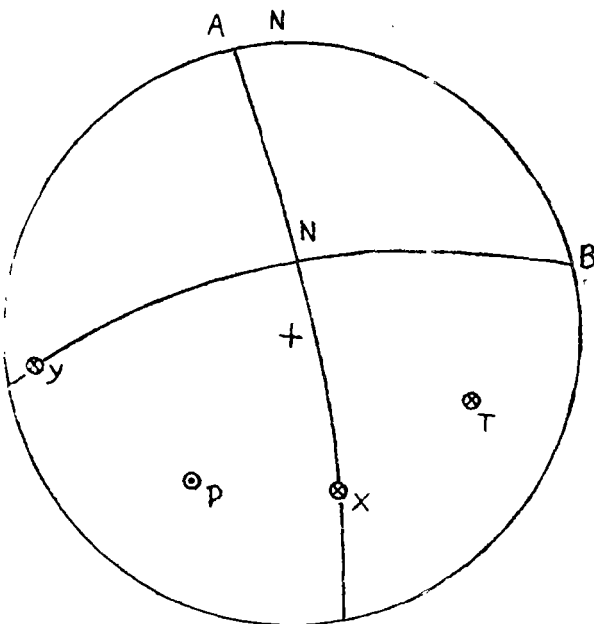


图 2 震源机制解

这次地震经仪器测定，地震基本参数为：

发震时刻：1982年4月14日14时36分5秒9秒

震中座标：36.7°N, 105.6°E

震源深度：18公里（地球所九室定）

震级 M_s ：5.5

主震的震源机制解（据徐纪人）为：

节 面	走 向	倾 向	倾 角	错 动 力		P		T		N	
				方 位	仰 角	方 位	仰 角	方 位	仰 角	方 位	仰 角
A	352°	W	84°	169°	25°	219°	20°	123°	13°	4°	63°
B	79°	S	64°	262°	5°						

二、地震活动背景

海原位于南北地震带北段，甘肃、宁夏交界的六盘山震区，历史上地震活动频繁、强度大，共发生26次破坏性地震，其中世界有名的海原1920年8.5级大震震中仅与这次地震震中相隔22.2公里。李孟奎同志曾据《中国地震目录》编绘成六盘山地区地震的震级时间序列分布图（图8）。图中呈现出

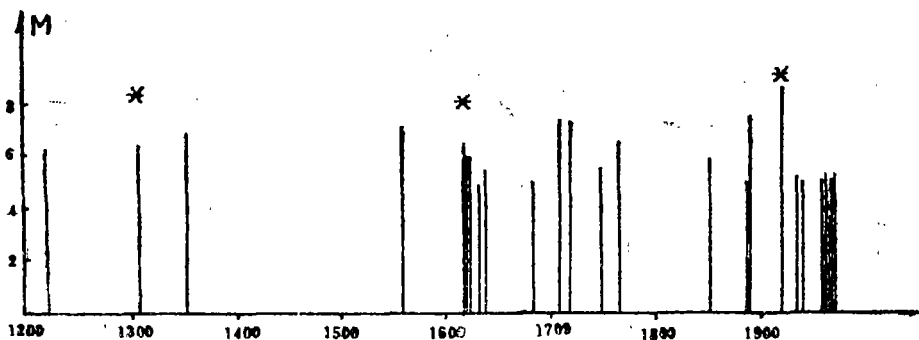


图3 六盘山地区地震的M—T图（公元1000—1923年）图中“*”号表示震中烈度达九度以上的地震（据《中国地震目录》）

该区地震存在着明显的起伏。最近一次破坏性地震是1970年12月3日5.4级地震，震中位于海原以南的西吉县（表1）。此后这一震区中强震明显减少。

1978年起，震区附近中强震活动开始增强。到1982年蒿川5.5级地震止，先后共有8次 $M_s=3.8\sim 4.3$ 级地震发生（表2）。

值得注意的是从1979年起，4年之内在距蒿川200公里左右的范围内发生4级以上地震3次，它们分布于蒿川的南北两侧。如将礼县、银川、陇县三点连成一三角形，那么即位于三角形三边垂直平分线交点O'的附近（图4a）。这次震中距O'点为25.2公里。

表 1

六盘山地震区强震目录

编 号	发震日期	震中位置	震 级	震中烈度	备 注
1	1219.5.21	固 原	6.5	八—九	
2	1306.9.12	固原南	6.5	九	
3	1352.4.18	会宁东南	7	九	
4	1561.7.25	中 宁	7.3	九—十	
5	1622.10.25	固原北	7	九—十	
6	1624.7.4	庄 浪	6	七—八	
7	1627.2.16	中宁附近	6	八	
8	1631.7	宁 县	5	六	
9	1638.1	海 原	5.5	七	
10	1686	同心东北	5	六	
11	1709.10.14	中卫南	7.5	十	
12	1718.6.19	通 渭	7.5	十	
13	1748.11.21	固原北	5.5	七	
14	1765.9.2	武山、甘谷	6.5	八—九	
15	1852.5.26	中 卫	6	八	
16	1887.7.	红 水	5	六	
17	1888.11.2	景泰附近	6.3	八	
18	1920.12.16	海 原	8.5	十一—十二	不包括余震
19	1934.9.22	海 原	> 5	七	
20	1939.3.13	靖 远	5	六	
21	1959.1.31	西 吉	5	六	
22	1959.1.31	景 泰	5.3	六	
23	1962.7.27	海 原	5	五	
24	1962.10.9	海原东南	4.7	六	
25	1967.10.16	靖远打拉池	4.8	五	
26	1970.12.3	西 吉	5.4	七	

(据《中国地震目录》、略有修改)

表2 1977—1981年地震目录

编 号	年	月	日	时	震 中			M_s
					φ	λ	地名	
1	1977	7	20	21	37°18' N	102°37' E	天 祝	3.9
2	1978	6	14	14	35°52' N	105°35' E	西 吉	3.9
3	1978	8	6	16	38°08' N	106°10' E	永 宁	3.8
4	1979	1	18	15	36°35' N	105°29' E	海 原	3.8
5	1979	7	25	20	34°29' N	105°21' E	礼县东北	4.7*
6	1979	11	6	2	38°23' N	106°14' E	银 川	4.1*
7	1980	6	24	11	35°01' N	106°57' E	陇 县	4.3*
8	1981	3	31	14	37°00' N	106°08' E	同心东北	3.9

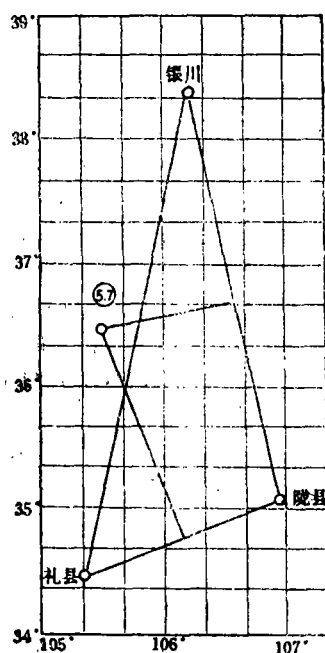


图4a 测定值与观测值的位置

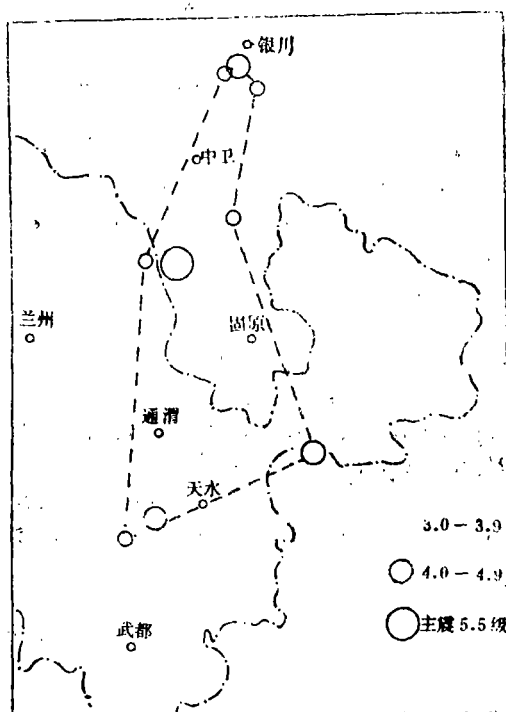


图4b 蒿川5.5级地震前平静区示意图

我们利用1973年—1982年4月(蒿川5.5级地震以前)的地震观测资料在南北带北段(34°10'—38°30'N, 104°45'—107°00'E) (图4b)对蒿川5.5级地震前的地震平静特点进行了研究。

首先将蒿川5.5级地震中标在图上,然后按与时间进程相反的顺序,将中、小地震震中画在图上,发现,从1979年2月以后,在该区形成了 M_s 为3—4级的地震“闭锁区”(图4b)。图中虚线为“闭锁区”的边界。通过计算、求得了相应的闭锁时间”(表3)。

表 8

年	M_s		N_0	δ
	3—3.9	4—4.9		
1973	8	2	3.5	4.5
1974	4	1	"	0.5
1975	8		"	-0.5
1976	6		"	2.5
1977	4		"	0.5
1978	4		"	0.5
1979	1	1	"	-2.5
1980	2	1	"	-1.5
1981	8		"	-0.5
1982				

表中 N_0 为该区间 t 时间(1973年—1982年4月)内震级 M_s 在3—4级范围内的平均地震次数。 N_H 为该区间 T 时间1979年2月—1982年4月期间,相应震级范围内的地震次数, δ 为 N_H 与 N_0 的偏差。

在空间上把地震次数 N_H 相对于地震平均次数 N_0 减少的地区叫地震平静区, $N_H < N_0$ 的地区叫做震级范围为 ΔM_s 的地震“减少区”,相应的时间为地震“减少时间” T 。在 $N_H = 0$ 的特殊情况下,称为震级范围 ΔM_s 的地震“闭锁区” S_s ,相应的时间为“闭锁时间” T_s ,地震平静区包括了地震“减少区”和地震“闭锁区”两类。

从表8中可看出,1973年到1978年, N_H 与 N_0 的偏差为正值,且 $\delta^+ > 0.003$,概率值不可能接近 3σ ,而1979年以后, N_H 与 N_0 的偏差为负值,且 $\delta < 0.003$,概率值超过了 3σ (7)。特别是从1981年6月至1982年4月,该区 $N_H = 0$,“闭锁时间” T_s 达9个月,结果,1982年4月14日,闭锁区内发生一次 M_s 为5.5的地震。

上述资料表明,在震中分布图上,明显地存在 M_s 为3—4级的地震闭锁区。与此同时,在 $\delta < 0.003$ 的水平上所区分的地震平静性,有可能对 $M_s \geq 5.0$ 的地震危险性进行估计。

三、序列活动特征

1981年以来,这一地震区每月地震频次平均为 3.0 ± 1.5 次,82年1月突升至8次。这些弱震活动位于未来续发性强震的东南侧,展布在122平方公里的领域内,按小震群面积 A 与震级 M_s 的关系式(4),

$$\lg A = 1.1M_s - 4.52 \quad (1)$$

计算,求得未来续发性强震应为6.0级(图5)。

弱震活动于2、3月持续进行,但频次降为每月2次(图5)4月14日终于在景泰北发生1.6级地震后,蒿川这一序列即开始活动。至6月底,共发生余震21次。最大余震发生在5月27日,为3.2级。

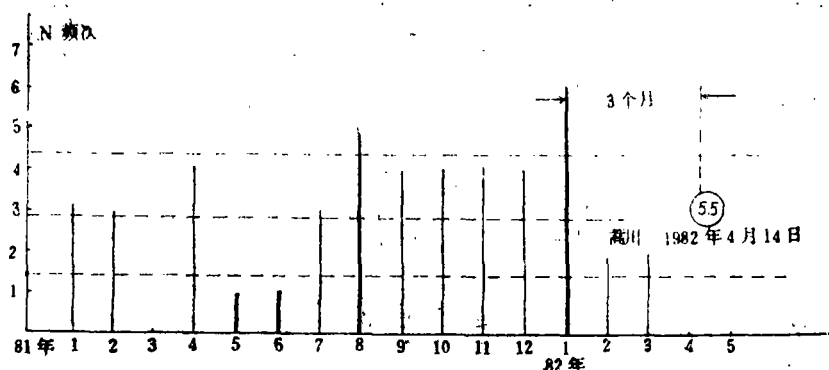


图 5 1981年每月地震频次表

这次序列活动主震释放能量占序列释放总能量的

$$\frac{E_{\text{主}}}{E_{\text{总}}} = \frac{1.58 \times 10^{20}}{(1.58 + 0.004) \times 10^{20}} = 99.7\%$$

主震与最大余震之差为 $\Delta M_s = 5.5 - 3.2 = 2.3$ 。序列活动 b 值为 1.27, p 值为 2.0。按能量可以确定为孤立型序列活动。

余震分布于 $35^\circ 44' N \sim 36^\circ 54' N$, $104^\circ 34' E \sim 106^\circ 28' E$ 之间, 密集在 275 平方公里的范围内。5 月份开始向固原方向展开活动, 6 月份转向海原南西吉一带活动, 此后渐趋正常。如以余震集中区面积代入 (1) 式则得主震震级 6.30 这就意味着这次序列活动释放能量应相当于一次 6.3 级地震。由于孤立型序列活动其绝大部分能量由主震释放, 而这次主震震级又为 5.5, 所以还应有 6.2 级地震能量贮存于震源形变体中 (2)。

四、序列活动前离源角的变化

观测发现, 较大地震发生前应力场有变化。可以设想这些变化会影响介质的强度与状态, 从而对地震射线也有影响。

理论表明, 地震射线是由下列方程表达:

$$p = \frac{\gamma \cos e}{v} = \frac{\gamma}{v} \frac{C \tan e}{(1 + \tan^2 e)^{1/2}} \quad (2)$$

上式称为射线方程, p 为射线参量, 这一参量是通过 γ 、波速 v 与出射角 e 来决定的。 γ 值还与深度 h 有关, 归根结底 p 值与震源深度 h 出射角 e 及波速有关。对于一条射线来说, p 值是一常量; 对于不同射线来说, 参数 p 是不同的 [5]。

在近震中, 出射角与离源角是互为余角的。即: $i_h = 90^\circ - e$ (3)

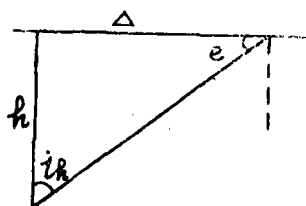


图 6

将 (3) 代入出射角与视出射角的关系式则得: $\sin i_h = \frac{v_p}{v_s} \cos$

$$\frac{90^\circ + e}{2} \quad (4)$$

式中 $\frac{v_p}{v_s}$ 为地震射线出射点的波速比, 由图 6 及 (4) 式可见, 离源角与

Δ 、 h 及 $\frac{v_p}{v_s}$ 参量有关。我们选取了静宁台与通渭台的记录以研究序

列活动前离源角的变化(表4, 5)。发现两台的离源角都有显著的变化, 这种变化之大, 令人费解, 我们将与离源角有关的几个参量列于表中, $\frac{v_p}{v_s}$ 是按静宁台, 通渭台的记录报告在同等精度下求得的。 h 则是由图3所示关系中求得的, 发现波速比的变化不足以影响离源角如此之大, 而按下式:

$$\operatorname{tg} e = \frac{h}{\Delta} \quad (5)$$

所求的 h 值, 则又与一般事实不符。因此, 我们认为离源角的变化大与波速比及 h 无关, 很可能与这一地震序列活动的成因有关。因不属本文范围, 有待进一步深入讨论。

表4 静宁台离源角的变化

年 月 日	震 中	Δ (Km)	$\frac{v_p}{v_s}$	e	i_h	h (Km)	$\frac{v_p}{v_s}$
82.1.6	海原东南	97	22.9°	17.0°	73.0°	29	1.700
82.1.8	"	98	47.0°	56.7°	33.3°	149	1.701
82.1.9	西吉东北	74	37.2°	39.7°	50.3°	61	1.705
82.2.3	固原南	65	55.5°	59.1°	30.9°	108	1.761

表5 通渭台离源角的变化

82.1.1	西吉东北	142	24.4°	20.5°	69.5°	53	1.702
82.1.6	海原东南	146	37.1°	39.6°	50.4°	120	1.705
82.1.8	"	144	37.8°	40.4°	49.6°	122	1.724
82.1.8	"	145	24.3°	20.5°	69.5°	54	1.709
82.1.9	西吉东北	122	42.2°	45.6°	44.4°	124	1.683
82.2.3	固原南	114	36.5°	38.9°	51.1°	91	1.714
82.2.18	西 吉	133	34.0°	35.7°	54.3°	95	1.321

五、地 质 条 件

这次地震发生在两个褶皱中间的构造盆地即海原盆地内部。盆地北部是香山褶皱带、属陇西系的外旋褶皱带(1)。

香山褶皱带展布方向为NWW(图7), 其北缘断裂规模大, 活动性强。南西华山褶皱带展布方向也为NWW。该褶皱带北缘大断裂长达500公里, 是1920年海原8.5级大震的发震断裂带。

据考察报告(1), 震中区的西部兴仁堡至臭草沟N30°W方向构造线可能是一隐伏断层, 长约40余公里, 推测可能为这次地震的发震构造。

按仪器观测资料: 震前于82年1月份这一地震区小震活动频次增强, 弱震活动展布方向也为NWW向(图8)。可以推断, 这次地震系由NWW向的断裂带活动所致。

由此可见, 这次地震为单一型构造断裂活动。按这种地质条件, 这次地震序列活动为孤立型序列

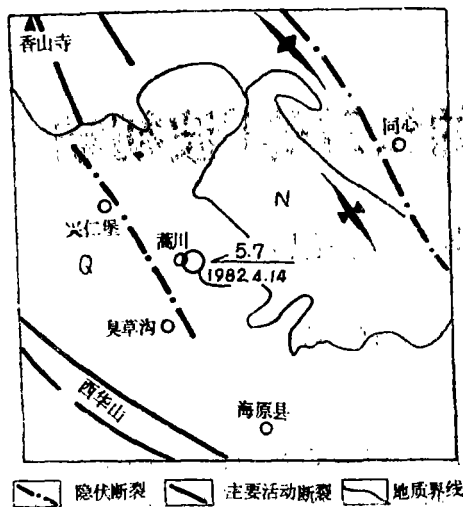


图7 震区构造略图

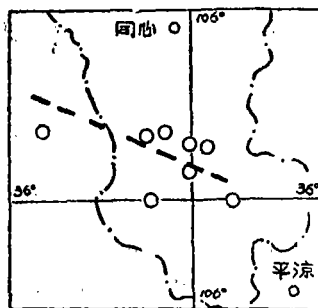


图8 震前弱震分布

活动的又一佐证(2)。

六、小 结

综上所述,可以得知:

1. 1982年4月14日盖川5.5级地震,按能量及地质条件来看,是一孤立型序列活动。序列活动中 $b=1.27$, $p=2.0$ 。震前1日小震活动密集于主震的东南侧,距主震为155公里,分布于122平方公里的范围内。余震分布于主震附近275公里范围内,如按形变能计算,则震源形变体中还应贮存—6.2级地震能量有待条件成熟时释放。

2. 这一序列活动在NWW向单一型的构造断裂带上,是有利于孤立型序列活动的地质条件。就释放能量来说,主震占序列总能量的99.7%,由上述两点可以确定该序列为孤立型序列。

参 考 文 献

- (1)海原地震考察队,1982年海原5.5级地震考察报告,兰州地震研究所考察报告,1982年5月。
- (2)王振声,从能量及地质条件研究孤立型序列活动特征,地震研究,1982;3期。
- (3)甘肃地震台网报告,1981年—1982年。
- (4)王振声,震群型地震序列活动特征,地震研究,1983,2期。
- (5)傅淑芳、刘宝诚、李文艺,地震学教程,下册,P.82,地震出版社,1980。
- (6)1920年海原大地震,兰州地震研究所、宁夏地震队编著,地震出版社,1980年。
- (7)韩大宇、傅征祥,地震物理研究,北京地震出版社,1982年。