

海原5.5级地震序列活动特点

1.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^[1](表1)。其中1920年海原8.5级地震震中与这次地震震中相隔22.2公里。李孟奎同志曾根据《中国地震目录》编绘成六盘地区地震的震级时间序列分布图(图1)，图中明显呈现出该区地震存在明显的起伏。1970年西吉5.5级地震后，这一震区中强震明显减少。1978年后，震区附近中强震活动开始有所增强，到这次海原5.5级地震前共发生8次 $M_s=3.8-4.3$ 级地震(表2)。

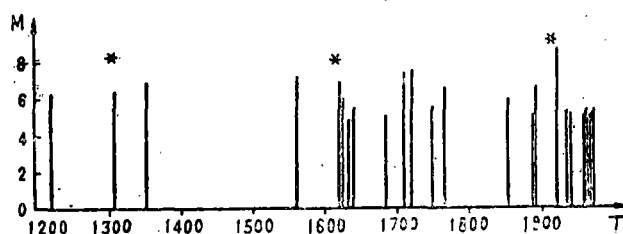


图1 六盘山地区地震的M—t图(公元1000—1923年)

图中·号表示震中烈度达九度以上的地震

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	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	Ⅶ—Ⅷ		14	1765.9.2	武山、甘谷	6.5	Ⅶ—Ⅷ	不包括余震
2	1306.9.12	固原南	6.5	Ⅷ		15	1852.5.26	中卫	6	Ⅶ	
8	1352.4.18	会宁东南	7	Ⅷ		16	1887.7	红水	5	Ⅵ	
4	1561.7.25	中宁	7.3	Ⅷ—Ⅸ		17	1888.11.2	景泰附近	6.3	Ⅶ	
5	1622.10.25	固原北	7	Ⅷ—Ⅸ		18	1920.12.16	海原	8.5	Ⅶ—Ⅷ	
6	1624.7.4	庄浪	6	Ⅶ—Ⅷ		19	1934.9.22	海原	大于5	Ⅶ	
7	1627.2.16	中宁附近	6	Ⅶ		20	1939.3.13	靖远	5	Ⅵ	
8	1631.7	宁县	5	Ⅵ		21	1959.1.31	西吉	5	Ⅵ	
9	1638.1	海原	5.5	Ⅶ		22	1959.1.31	景泰	5.3	Ⅵ	
10	1686	同心东北	5	Ⅵ		23	1962.7.27	海原	5	V	
11	1709.10.14	中卫南	7.5	X		24	1962.10.9	海原东南	4.7	Ⅵ	
12	1718.6.19	通渭	7.5	X		25	1967.10.16	靖远打拉池	4.8	V	
13	1748.11.21	固原北	5.5	Ⅶ		26	1970.12.3	西吉	5.4	Ⅶ	

值得注意的是，从1979年起4年之内在距这次地震宏观震中海原县蒿川200公里左右的范围内发生3次大于4级的地震，它们分布于蒿川的南北两侧。如将礼县、银川、陇县连成一三角形，那么震中即位于三角形三边垂直平分线交点O'的附近(图2)。这次地震震中距O'点25.2公里。

表 2

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
8	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	8	31	14	37°00' N	106°08' E	同心东北		3.9

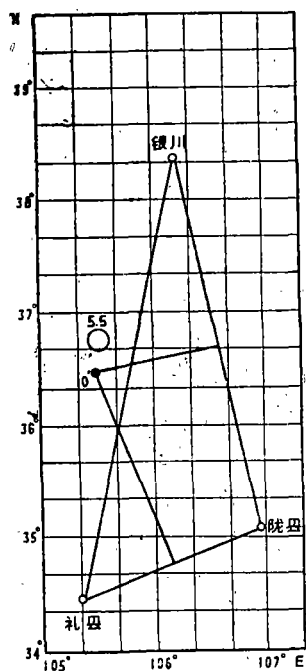


图 2

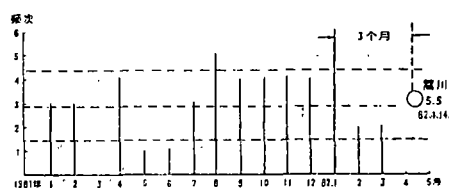


图 3 1981年弱震月频次图

2. 序列活动特征

1981年以来, 这一地震区每日地震频次平均为 3.0 ± 1.5 次, 1982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, 距主震震中155公里, 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^[3] $A = 1.1 M_s - 4.52$ 计算求得未来继发性强震震级为6.0级。

弱震活动于2、3月持续进行, 但频次降为每月2次(图3)。4月14日景泰北发生1.6级地震后, 蒿川地震序列即开始活动, 5.5级主震发生至6月底止共发生余震21次, 最大余震发生在5月27日, 震级为3.2级。

这次序列活动中, 主震释放能量占序列释放总能量的99.7%。主震与最大余震之差为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。

主震后的余震分布于 $35^{\circ}44' N - 36^{\circ}54' N, 104^{\circ}34' E - 106^{\circ}28' E$ 之间, 密集在275平方公里的范围内。5月份开始转向固原方向活动, 6月份转向海原以南的西吉一带活动。此后活动逐渐趋向正常。按余震面积推算主震震级为6.3级。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。由于是孤立型序列活动, 其绝大部分能量由主震释放, 而这次主震震级又为5.5级, 所以还应有6.2级地震能量贮存于震源形变体中^[2]。

3. 序列活动中地震射线视出射角的变化

观测发现, 较大地震发生前应力场有所变化。这些变化影响着介质的强度与状态, 从而对地震射线也有所影响。

地震射线由下列方程所表达:

$$p = \frac{r \cos e}{v} = \frac{\operatorname{ctg} e}{(1 + \operatorname{ctg}^2 e)^{1/2}} \cdot \frac{r}{v} \quad (1)$$

其中P为射线参量。这一参量由r、波速V及出射角e来决定的,上述r值又与深度h有关,所以p值与震源深度h、出射角e及波速有关。对于一条射线,p值为一常量。不同射线的参数p是不同的。因此p是表达地震射线特征的一种参数^[4]。

在近震中处,(2)式中e值可由视出射角 $\bar{e}$ 来表达

$$\cos e \approx \frac{v_p}{v_s} \cos \frac{90^\circ + \bar{e}}{2} \quad (2)$$

$$\cos e = \frac{\Delta}{\sqrt{\Delta^2 + h^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{\Delta}\right)^2}} \quad (3)$$

将(3)式简化得:

$$\cos \frac{90^\circ + \bar{e}}{2} \approx \frac{1}{\frac{v_p}{v_s} \sqrt{1 + \left(\frac{h}{\Delta}\right)^2}} \quad (4)$$

由此可见,视出射角 $\bar{e}$ 与 Δ , h及 $\frac{v_p}{v_s}$ 有关。我们选取了静宁台的记录以研究地震序列活动前

视出射角的变化情况(表3)。1982年1月6日的一次地震视出射角呈现最低值为22.9°。

表3 蒿川地震前静宁台
视出射角变化表

年	月	日	震中	Δ	$\bar{e}$
82	1	6	海原东南	97公里	22°.9
		8	海原东南	98公里	47°.0
		9	西吉东北	74公里	37°.2
	2	8	固原南	65公里	55°.5

(据熊小易测定)

1980年4月18日及23日的青海木里两次5.2级地震、1981年8月13日丰镇5.5级地震、1973年8月11日南坪6.5级地震、1974年1月16日及1974年11月17日南坪5.7级地震的序列活动前皆出现有视出射角在30°以下的

情况。由(4)式分析 $\bar{e}$ 是由 $\frac{v_p}{v_s}$ 及 $\frac{h}{\Delta}$ 值来

确定的。将(4)式微分得:

$$d\left(\cos \frac{90^\circ + \bar{e}}{2}\right) = d \frac{1}{\frac{v_p}{v_s} \sqrt{1 + \left(\frac{h}{\Delta}\right)^2}} = d[a^{-1}(1+b^2)^{-1/2}]$$

化简后得4式的误差方程:

$$d\bar{e} = \frac{2[a^{-2}(Hb^2)^{-1/2}da + a^{-1}b(1+b^2)^{-3/2}ab]}{\sin \frac{90^\circ + \bar{e}}{2}} \quad (5)$$

式中,

$$a = \frac{v_p}{v_s}, \quad b = \frac{h}{\Delta}.$$

观测表明 $\frac{V_P}{V_S}$ 变化范围一般为 1.4—1.9, 静宁台 $\frac{h}{\Delta} = 0.22$ 。因此如以下列各值代入 (5) 式:

$a = 1.732$, $b = 0.184$, $da = 0.3$, $db = 0.2$, $\bar{e} = 47^\circ$, 则得 $d\bar{e} = 14.5^\circ$ 。

这就是说 $\frac{V_P}{V_S}$ 及 h 的变化最多只影响地震的射线的视出射角变化 14.5° 。显然 $\bar{e}$ 的变化不

完全与 $\frac{V_P}{V_S}$ 及 h 的变化有关, 很可能与地震序列的成因有关。

4. 地质条件

这次地震发生在海原盆地内部, 盆地北部是香山褶带, 盆地南部是南西华山褶带, 展布方向为北西西。该褶带北缘大断裂长达 500 多公里, 是 1920 年海原 8.5 级地震的发震断裂带。

据考察, 震中区西部兴仁堡至臭草沟可能有一条长约 40 余公里的隐伏断裂, 推测可能为这次地震的发震断裂。

据仪器观测, 震前于 1982 年 1 月, 这一地震区弱震活动展布方向也为北西西向 (图 4)。

可以推断这次地震是由北西西向断裂带活动所致。这次地震为单一型构造断裂活动, 是这次地震序列活动为孤立型序列活动的又一佐证^[2]。

(兰州地震研究所 王振声 肖丽珠 曹克信)

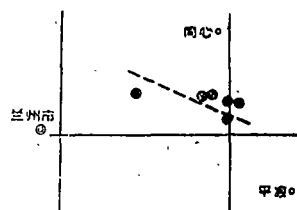


图 4 震前弱震分布

参 考 文 献

- [1] 国家地震局兰州地震研究所、宁夏回族自治区地震队, 一九二〇年海原大地震, 地震出版社, 1980.
- [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, Vol. 5, No. 3, 1980.
- [3] 王振声、肖丽珠, 震群型地震序列活动特征, 地震研究, (待发表).
- [4] 傅淑芳、刘宝诚、李文芝, 地震学教程, 地震出版社, 1980.