

地震空区及条带附近地震破裂特征的震例研究

王金周¹, 刘文龙², 陈宇卫³, 凌学书³, 何小伟³, 刘东旺³

(1. 中国科技大学, 安徽 合肥 230026; 2. 上海市地震局, 上海 200062; 3. 安徽省地震局, 安徽 合肥 230031)

摘要: 选取邢台 1981 年 $M_S5.8$ 、菏泽 1983 年 $M_S5.9$ 和射阳 1987 年 $M_S5.1$ 三个震例, 研究了孕震中后期中小地震的破裂特征. 结果表明: 震前区域内中小地震多倾向于单侧破裂; 邢台、菏泽地区的中小震具有优势的破裂面走向, 与主震破裂面一致或共轭; 震前中小地震的环境应力值 τ_0 略大于正常时期; 射阳不存在优势破裂面走向; 菏泽 $M_S5.9$ 和射阳 $M_S5.1$ 孕震空区边缘上的地震都倾向于单侧破裂, 并且主破裂方向都不指向空区内部.

关键词: 单侧破裂; 破裂方向; 环境应力值; 地震空区; 地震条带

中图分类号: P315.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2002)02-0167-07

0 引言

地震活动性方法经过“六五”、“七五”攻关, 已成为我国当前最重要的一类地震预测方法. 其中孕震空区和地震条带是这类方法中受到普遍认可、用得最多的两种方法. 但空区、条带的确定仍存在相当的主观随意性, 从而增加了虚报和漏报, 而且须到后期发生了相当数量地震后才能较好地识别出来. 空区、条带等异常图像是震源附近区域的应力状态和介质性质发展到一定孕震阶段的体现, 载有应力状态和介质性质变化的信息. 研究如何从地震波上识别与提取这些信息, 不仅可以提高这几种方法预测地震的准确率, 还将有助于对这些异常图像物理机理的认识.

1 资料选取

本文分析了 1981 年 11 月 9 日邢台 $M_S5.8$ 、1983 年 11 月 7 日菏泽 $M_S5.9$ 和 1987 年 2 月 17 日射阳 $M_S5.1$ 三个震例. 时空范围的选取主要是参考了有关震例总结中孕震空区和地震条带的时空范围^[1-4], 一般选取主震附近 200~300 km 和震前 2~3 年, 同时考虑到收集资料的方便, 只取了 113°E 以东地区. 同时还选取了一些正常时期的地震记录, 以资比较.

选取的震级 $M_L \geq 3.0$, 主要考虑太小的地震记录不清楚. 对于 $M_S3.0$ 左右的地震, 选取震中距在 150~250 km 的台站记录; 对于 $M_S4.0$ 左右的地震, 选取 200~400 km 的台站记录, 以保证记录不出格而又有一定幅度. 每个地震选取三个以上台站的垂直向记录.

2 1981年11月9日邢台 $M_s5.8$ 地震

图1是邢台 $M_s5.8$ 地震前以及该地区正常时期一些中小地震的破裂特征图. 箭头表明其破裂方向, 双侧箭头表明其倾向于双侧破裂 ($L_0/L \leq 0.88$). 小震条带据文献[1]给出. 由图1及表1中可见, 震前6个地震中有5个倾向于单侧破裂 ($L_0/L \geq 0.89$), 一个为双侧破裂; 而正常期5个地震中仅一个为单侧破裂, 4个为双侧破裂.

表1 邢台 $M_s5.8$ 地震前后中小地震破裂特征及环境应力值

发震时间	经纬度	M_s	台站组合	破裂方式 (L_0/L)	主破裂方向	$\tau_0 / \times 10^4 \text{ Pa}$
1980-08-07	37.6°N, 114.4°E	3.6	昌黎/张家口, 张家口/马道裕, 马道裕/沙城, 沙城/太师屯, 太师屯/南山村	单侧 (0.96)	321.3°	1186.8
1981-04-17	36.1°N, 113.8°E	3.3	沙城/上房山, 上房山/承德 承德/张家口, 张家口/昌黎	单侧 (1.00)	297.9°	440.0
1981-08-26	35.8°N, 114.0°E	2.9	昌黎/完县, 完县/黄壁庄 黄壁庄/昌黎	单侧 (0.97)	303.0°	214.6
1981-10-23	36.1°N, 115.2°E	3.2	上房山/黄壁庄, 黄壁庄/昌黎 昌黎/龙泉寺	单侧 (0.97)	123.7°	333.2
1981-11-02	37.2°N, 114.8°E	3.0	上房山/昌黎, 上房山/龙泉寺 昌黎/龙泉寺	单侧 (0.93)	112.8°	277.3
1981-11-04	36.8°N, 114.0°E	3.3	昌黎/龙泉寺, 龙泉寺/上房山 上房山/昌黎	双侧 (0.80)	126.6°	403.8
1988-11-04	35.4°N, 115.3°E	2.8	聊城/邹县, 邹县/济南 济南/聊城	双侧 (0.86)	130.9°	170.5
1989-10-12	35.2°N, 115.2°E	2.6	泰安/济南, 济南/聊城 聊城/邹县	双侧 (0.83)	108.8°	142.1
1990-10-27	36.3°N, 115.2°E	2.9	邹县/泰安, 泰安/聊城 聊城/济南	双侧 (0.73)	155.1°	373.4
1991-11-11	35.0°N, 115.1°E	2.6	邹县/聊城, 聊城/泰安 泰安/济南	单侧 (0.93)	339.2°	112.7
1995-08-23	35.5°N, 115.0°E	2.9	济南/聊城, 聊城/苍山 苍山/牛岚	双侧 (0.83)	328.2°	277.3

震前6个地震的平均破裂面走向为 124.2° , 方差为 9.7° ; 正常期5个地震的平均破裂面走向为 140.6° , 方差为 20.8° . 二者相差 16° , 考虑到误差范围, 不能认为有明显差别. 但主震前的离散度较正常时期小, 表明小震破裂面方向更趋一致. 主震的破裂面走向是 $36^{[6]}$, 与地震条带方向一致, 而与主震前的中小地震平均破裂面走向共轭, 因此它们是受同一孕震应力场控制的.

地震前的6个中小地震平均环境应力值 τ_0 为 $477.5 \times 10^4 \text{ Pa}$, 均方差为 $356.9 \times 10^4 \text{ Pa}$; 正常时期的5个地震平均 τ_0 值为 $215.5 \times 10^4 \text{ Pa}$, 均方差为 $108.1 \times 10^4 \text{ Pa}$. 考虑到 τ_0 的测定误差, 可以认为震前的 τ_0 值略大于正常期的 τ_0 值.

3 1983年11月7日菏泽 $M_s5.9$ 地震

图2是菏泽 $M_s5.9$ 地震前以及该地区正常时期的一些中小地震破裂特征图, 异常地震条带据文献[1], 孕震空区的空间范围据文献[2]. 与邢台地震的情况相似, 震前6个地震5个倾

向于单侧破裂, 1 个为双侧破裂; 而正常时期的 5 个地震双侧破裂占了 4 个, 仅 1 个单侧破裂, 形成明显差别. 震前 6 个地震的平均破裂面走向为 128.2° , 均方差 15.0° ; 正常时期的 5 个地震平均破裂面走向 140.6° , 均方差 20.8° . 二者相比走向相差 12.4° , 在测定误差之内基本一致, 但震前的均方差略小于正常时期. 主震的震源机制解两个节面走向分别为 42° 和 114° , 其极震区形状似不对称蝶形, 显示 N 65° W 和 N 45° E 两个长轴方向. 烈度达 VII 度, VII 度区长轴呈 NW 向⁷⁾. 因此这次地震可能是以 NW 向为主的双侧断层活动的结果. 主活动断层走向与条带走向及震前中小地震的优势破裂面走向一致. 从图中还可看到, 菏泽 $M_S5.9$ 震前, 1981-04-17、1981-10-23、1982-05-29 三个地震位于孕震空区边缘, 它们都倾向于单侧破裂且主破裂方向指向空区外部.

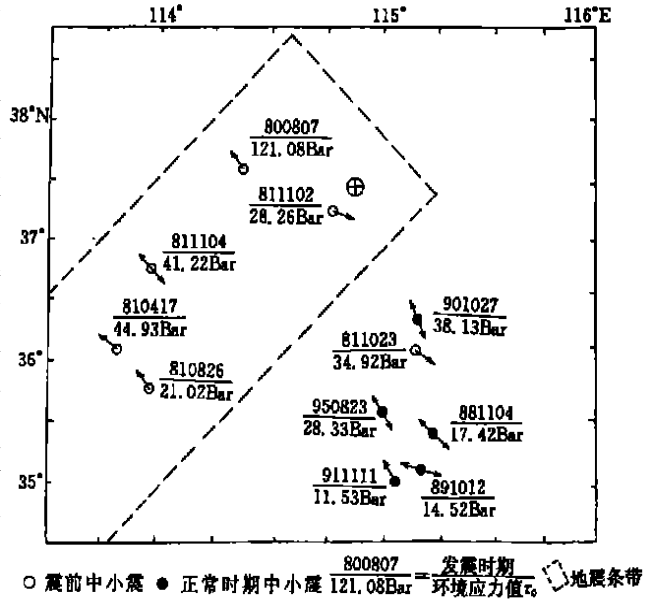


图 1 邢台 $M_S5.8$ 地震前后中小地震破裂特征及环境应力值

Fig. 1 Fracture feature and environment stress τ_0 of moderate and small shocks before and after Xingtai $M_S5.8$ earthquake.

表 2 菏泽 $M_S5.9$ 地震前后中小地震破裂特征及环境应力值

发震时间	经纬度	M_S	台站组合	破裂方式 (L_1/L_2)	主破裂方向	$\tau_0 / \times 10^4 \text{ Pa}$
1981-04-17	36.1°N, 113.8°E	3.3	沙城/上房山, 上房山/承德, 承德/张家口, 张家口/昌黎	单侧 (1.00)	297.9°	440.0
1981-10-23	36.1°N, 115.2°E	3.2	上房山/黄壁庄, 黄壁庄/昌黎 昌黎/龙泉寺	单侧 (0.97)	123.7°	333.2
1981-11-02	37.2°N, 114.8°E	3.0	上房山/昌黎, 上房山/龙泉寺 昌黎/龙泉寺	单侧 (0.93)	112.8°	277.3
1981-11-04	36.8°N, 114.0°E	3.3	昌黎/龙泉寺, 龙泉寺/上房山 上房山/昌黎	双侧 (0.80)	126.6°	403.8
1982-05-29	36.6°N, 114.6°E	4.1	沙城/太师屯, 太师屯/喇叭沟 喇叭沟/沙城	单侧 (0.93)	312.5°	2368.7
1983-04-07	37.3°N, 114.8°E	2.9	上房山/龙泉寺, 龙泉寺/涞源 涞源/完县	单侧 (1.00)	335.5°	333.2
1988-11-04	35.4°N, 115.3°E	2.8	聊城/邹县, 邹县/济南 济南/聊城	双侧 (0.86)	130.9°	170.5
1989-10-12	35.2°N, 115.2°E	2.6	泰安/济南, 济南/聊城 聊城/邹县	双侧 (0.83)	108.8°	142.1
1990-10-27	36.3°N, 115.2°E	2.9	邹县/泰安, 泰安/聊城 聊城/济南	双侧 (0.73)	155.1°	373.4
1991-11-11	35.0°N, 115.1°E	2.6	邹县/聊城, 聊城/泰安 泰安/济南	单侧 (0.93)	339.2°	112.7
1995-08-23	35.5°N, 115.0°E	2.9	济南/聊城, 聊城/苍山 苍山/牛岚	双侧 (0.83)	328.9°	277.3

震前6个地震的 τ_0 平均值为 695.7×10^4 帕, 均方差为 821.3×10^4 帕; 正常时期的5个地震平均 τ_0 值为 215.5×10^4 帕, 均方差 108.1×10^4 帕, 略小于震前, 也与邢台 M_s 5.8震例相似。

4 1987年2月17日射阳 M_s 5.1地震

图3是射阳地震前及该地区正常时期的一些中小地震破裂特征图, 地震条带和孕震空区据文献[3]。震前共确定10个地震的破裂方式, 其中9个倾向于单侧破裂, 1个倾向于双侧破裂; 正常期的5个地震中4个双侧破裂, 1个单侧破裂, 与前两个震例类似。

从图中可见, 在 $119^\circ \sim 121.5^\circ E$, $30.5^\circ \sim 35.5^\circ N$ 的区域里, 无论在射阳 M_s 5.1震前还是在正常时期, 都不存在明显的优势破裂面方向。震前的破

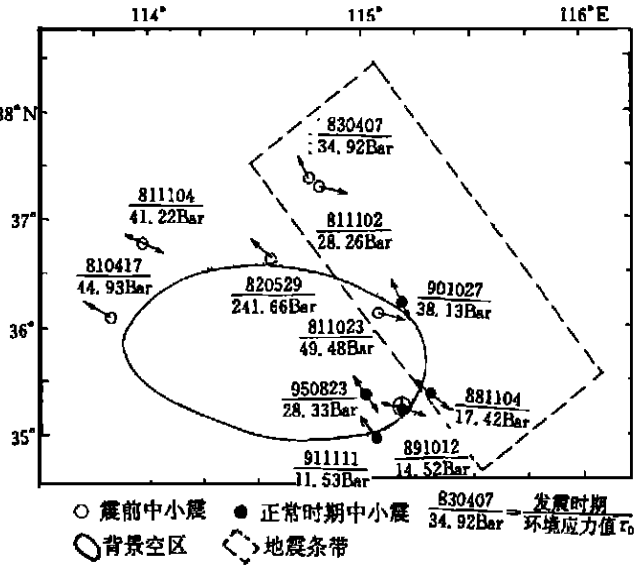


图2 菏泽 M_s 5.9地震前后中小地震破裂特征及环境应力值

Fig. 2 Fracture feature and environment stress τ_0 of moderate and small shocks before and after Heze M_s 5.9 earthquake.

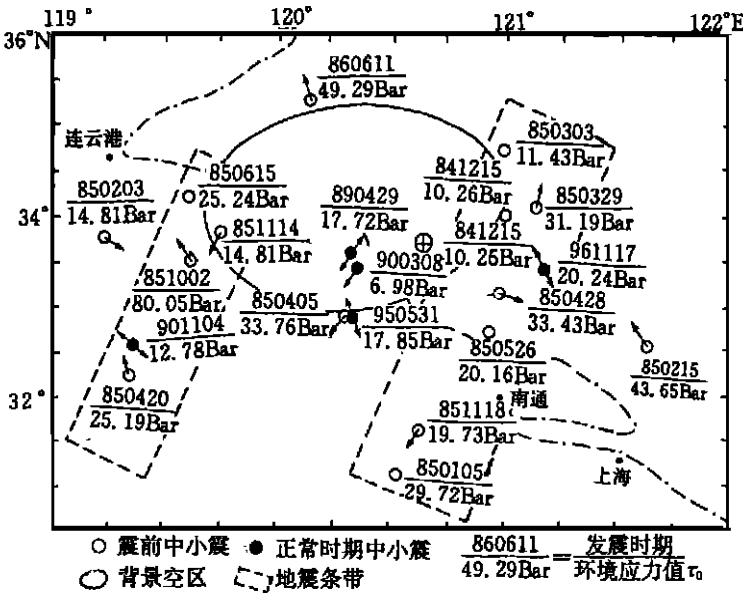


图3 射阳 M_s 5.1地震前后中小地震破裂特征及环境应力值

Fig. 3 Fracture feature and environment stress τ_0 of moderate and small shocks before and after sheyang M_s 5.1 earthquake.

裂面方向均值为 96.5° , 均方差为 58.2° ; 正常期均值为 100.6° , 均方差为 60.3° 。这与前两个震例很不相同, 可能由于该地区跨华北断块和扬子断块两大一级构造单元, 构造和应力场较复杂, 而射阳 M_s 5.1地震较小, 孕震应力场控制的范围不大造成的。刘蒲雄等指出^{[1][2]}: (1) 沿地震条带(或主条带)是剪切变形最强烈的地带, 一般它与震源易滑面方向即未来主破裂面方向一致; (2) 条带尺度与区域应力场出现优势取向的范围是相当的, 且在时间上也是同步的; (3) 条带的持续时间大致反映了震源区非弹性变形

过程所经历的时间, 也就是说条带的形成是与未来主震受同一应力场控制, 前两个震例的中小地震破裂面方向也支持这一观点。射阳地震条带上中小地震的主破裂方向表明它们并非受同

一孕震应力场控制,因此我们认为在射阳地震前并不存在两条 NNE 向异常地震条带.在图 3 上可看到,震前空区边缘有 1985-03-29、1985-04-04、1985-10-02、1985-11-14 和 1986-06-11 几个地震,它们都倾向于单侧破裂,且主破裂方向没有指向空区内部.

表 3 射阳 $M_s 5.1$ 地震前后中小地震破裂特征及环境应力值

发震时间	经纬度	M_s	台站组合	破裂方式 (L_o/L)	主破裂 方向	$\tau_o / \times 10^4 \text{ Pa}$
1984-12-15	34.0°N, 121.0°E	2.5	不足三个台记录	无法确定	无法确定	100.9
1985-01-06	31.1°N, 120.5°E	2.5	不足三个台记录	无法确定	无法确定	291.1
1985-02-09	33.8°N, 119.2°E	2.4	嘉山/灵璧, 灵璧/宿迁 宿迁/嘉山	单侧 (1.00)	112.8°	145.0
1985-02-15	32.6°N, 121.6°E	3.3	南京/杭州, 杭州/无锡 无锡/南京	双侧 (0.83)	316.4°	428.3
1985-03-29	34.1°N, 121.1°E	2.5	沭阳/盐城, 盐城/灌云 灌云/溧阳	单侧 (0.97)	16.4°	305.8
1985-04-04	32.9°N, 120.3°E	2.6	常熟/南通, 南通/靖江 靖江/南京	单侧 (0.93)	235.7°	331.2
1985-04-20	32.2°N, 119.4°E	2.4	泾县/嘉山, 嘉山/巢湖 巢湖/溧阳	单侧 (0.93)	330.2°	247.0
1985-04-28	33.1°N, 121.0°E	2.9	常熟/南京, 南京/无锡 无锡/溧阳, 溧阳/靖江	单侧 (1.00)	119.3°	327.3
1985-05-26	32.7°N, 120.9°E	2.5	不足三个台记录	无法确定	无法确定	198.0
1985-11-14	33.8°N, 120.0°E	2.4	宿迁/新沂, 新沂/溧阳 溧阳/灌云	单侧 (0.97)	212.7°	145.0
1985-11-18	31.6°N, 120.6°E	2.5	杭州/南京, 南京/溧阳 溧阳/杭州	单侧 (0.93)	201.2°	193.1
1986-06-03	34.7°N, 121.0°E	2.3	不足三个台记录	无法确定	无法确定	111.7
1986-06-11	35.3°N, 120.1°E	3.3	南京/盱眙, 盱眙/泗洪 泗洪/宿迁	单侧 (0.97)	341.8°	473.3
1986-06-15	34.2°N, 119.6°E	2.4	不足三个台记录	无法确定	无法确定	256.8
1986-10-02	33.5°N, 119.6°E	3.3	溧阳/徐州, 徐州/嘉山 嘉山/南京, 南京/蚌埠	单侧 (0.95)	328.5°	785.0
1989-04-29	33.6°N, 120.3°E	3.0	宿迁/沭阳, 沭阳/连云港 连云港/盱眙, 盱眙/灌云	双侧 (0.72)	38.4°	173.5
1990-03-08	33.4°N, 120.4°E	2.3	溧阳/淮阴, 淮阴/连云港 连云港/灌云	单侧 (0.93)	217.3°	68.6
1990-11-04	32.6°N, 119.4°E	2.8	盱眙/溧水, 溧水/溧阳	双侧 (0.87)	295.0°	125.4
1996-05-31	32.8°N, 120.3°E	2.5	查汀/房山, 房山/通关山 通关山/查汀	双侧 (0.86)	323.7°	175.4
1996-11-17	33.4°N, 121.2°E	3.1	通关山/东大山, 东大山/查汀 查汀/通关山	双侧 (0.73)	168.4°	198.9

射阳 $M_s5.1$ 震前共测定了 15 个中小震 τ_0 值, 其均值为 $289.3 \times 10^4 \text{ Pa}$, 均方差为 $175.4 \times 10^4 \text{ Pa}$. 其中 1986 年 10 月 2 日 $M_s3.3$ 地震的 τ_0 最大, 为 $785.0 \times 10^4 \text{ Pa}$, 比均值高出 2.8 倍均方差. 谢华章等^[3] 认为此震是逼近地震. 如果不计此前震, 其余 14 个地震的平均 τ_0 值为 $253.8 \times 10^4 \text{ Pa}$, 均方差为 $113.6 \times 10^4 \text{ Pa}$; 正常时期 5 个地震的平均 τ_0 值为 $148.1 \times 10^4 \text{ Pa}$, 均方差为 $51.9 \times 10^4 \text{ Pa}$, 也略小于震前.

5 结论和讨论

(1) 对邢台 $M_s5.8$ 、菏泽 $M_s5.9$ 和射阳 $M_s5.1$ 三个震例的研究表明, 在震中附近 $3^\circ \times 3^\circ$ 区域内, 当进入发震前 2 年左右的孕震中后期时, 发生的中小地震多数倾向于单侧破裂, 而同样区域内正常时期的中小地震大多数倾向于双侧破裂.

(2) 邢台、菏泽地区两次中强震的孕震中后期和正常时期发生的中小地震, 其破裂面走向都具有显著的优势方向, 并且基本一致为 $N50^\circ W$ 左右, 表明该区域存在着统一的应力场. 孕震中后期的破裂面走向较正常期的更趋于一致. 地震前中小地震优势破裂面走向与地震条带一致, 与主震破裂面走向一致或共轭, 表明它们都受该应力场的控制.

(3) 孕震中后期中小地震的环境应力值 τ_0 略大于正常时期.

(4) 在 $31.5^\circ \sim 35.5^\circ N, 119^\circ \sim 121.5^\circ E$ 范围内, 无论在射阳地震孕震中后期还是在正常时期, 中小地震破裂面走向都没有显著的优势方向, 表明它们并非受同一孕震应力场的控制, 因此射阳地震前并不存在两条 NNE 向地震条带.

(5) 在菏泽地震和射阳地震的孕震空区边缘各分别测定了几个地震的破裂特征, 它们都倾向于单侧破裂, 并且主破裂方向都不指向空区的内部.

(6) 1986 年 10 月 2 日 $M_s3.3$ 地震被认为是射阳地震的逼近地震, 其 τ_0 值比均值高出 2.8 倍均方差. 其他两个震例中也发现震前有一个地震的 τ_0 值显著高于其他地震, 并且这个地震符合广义前震的时空强特征. 如邢台震例中的 1980 年 8 月 7 日 $M_s3.6$ 地震, τ_0 值为 $1186.8 \times 10^4 \text{ Pa}$, 高出平均值 2 倍均方差; 在菏泽震例中的 1982 年 5 月 29 日 $M_s4.1$ 地震, τ_0 值为 $2368.3 \times 10^4 \text{ Pa}$, 也比平均值高出 2 倍均方差. 是否广义前震的 τ_0 值远高于其他地震? 由于本文只有三个震例, 且单个地震的 τ_0 值相对误差又较大, 难作结论, 留待今后更多震例的研究.

上海地震局黄佩同志为本文绘制了部分图件, 在此谨表谢意!

[参考文献]

- [1] 刘蒲雄, 陈章立. 地震条带及其在地震预报中的应用[A]. 见: 地震预报方法实用化研究文集, 地震学专辑[C]. 北京: 学术书刊出版社, 1989. 63—84.
- [2] 王伟, 黄冰树, 陆远忠, 等. 孕震空区方法在地震预报中的应用及其效能的研究[A]. 见: 地震预报方法实用化研究文集, 地震学专辑[C]. 北京: 学术书刊出版社, 1989. 1—24.
- [3] 谢华章, 王爱玲. 江苏射阳 5.1 级地震的前兆性地震活动图象[J]. 地震, 1988, (6): 1—7.
- [4] 胡莲英. 江苏射阳 5.1 级地震的中期预报和震前短临异常[J]. 西北地震学报, 1989, 11(1): 33—39.
- [5] 梅世蓉, 等. 一九七六年唐山地震[M]. 北京: 地震出版社, 1982.
- [6] 王泽泉, 刁桂苓. 1981 年 11 月 9 日邢台 5.8 级地震的机制解[J]. 地震, 1983, (2): 39—40.
- [7] 山东省地震预报研究中心. 1983 年山东菏泽 5.9 地震及其短临前兆[J]. 地震, 1985, (2): 12—17.

STUDY ON THREE EARTHQUAKE CASES FOR FRACTURE FEATURE OF MODERATE AND SMALL SHOCKS NEAR SEISMIC BELTS AND GAPS

WANG Jing-zhou¹, LIU Wen-long², CHEN Yu-wei³
LIN Xue-shu³, HE Xiao-wei³, LIU Dong-wang³

- (1. *University of China Science and Technology, Hefei 230026, China;*
2. *Seismological Bureau of Shanghai, Shanghai 200062, China;*
3. *Seismological Bureau of Anhui Province, Hefei 230031, China*)

Abstract: Three cases of Xingtai $M_S5.8$, Heze $M_S5.9$ and Sheyang $M_S5.1$ earthquakes are chosen and the fracture feature of moderate and small shocks before the earthquakes are studied. The result shows: 1. The shocks occurred during the seismogenic period show ten dency of unilateral fracture; 2. The shocks before Xingtai and Heze earthquakes possess a dominant direction of fracture plane, that is similar or conjugate to the strikes of seismic belts and fracture planes of main earthquakes; 3. The environment stress τ_0 of the shocks before the earthquakes is slightly larger than those during the normal period; 4. There is not a dominant direction of fracture plane for the shocks before Sheyang earthquake, therefore it is deduced that there is not seismic belt before the event; 5. Before Heze and Sheyang earthquakes, the moderate and small shocks occurred on the edge of seismic gaps show tendency of unilateral fracture, and their directions of principal fracture generally do not point to the interior of gaps.

Key words: Unilateral fracture; Direction of fracture plane; Environment stress; Seismic gap; Seismic belt

(上接 166 页)

- [1] . . [J] . , 1990, 12(1):31—46.
[2] . . [J] . , 1986, 9(3): 299—313.
[3] . Benioff 带的形态及其应力状态[J] . , 1987, 30(2): 144—157.
[4] . ○ [M] . : . 1980. 89—90.
[5] . [J] . , 1982, 4(4): 35—40.

FEATURES OF FOCAL-MECHANISM SOLUTIONS IN NINGXIA AND ITS NEIGHBORING REGION

ZHAO Zhi-jun, LIU Xiu-jing, KANG Ling-yan

(*Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China*)

Abstract: The focal-mechanism solutions of 372 earthquakes in Ningxia and its neighboring regions are evaluated by using Nulff net. Basing on these data the direction of principal compressive stress and principal strain stress in this region are obtained by use Wulff net again. The dominant direction of P axle is NE $30^\circ \sim 70^\circ$, and one of T axle is NW $300^\circ \sim 330^\circ$. According main acting force is horizontal or nearly horizontal, most of the tectonic faults which causing earthquake should be strike-slip or nearly strike-slip faults.

Key words: Focal-mechanism solution; Principal compressive stress; Principal strain stress; Strike-slip movement