

宁夏南部地区地震活动特征

赵知军, 刘秀景, 任雪梅, 谢晓峰

(宁夏回族自治区地震局, 宁夏银川 750001)

摘要: 研究了宁夏南部地区($35^{\circ}20' \sim 37^{\circ}40' N$, $104^{\circ}30' \sim 106^{\circ}30' E$)小震综合机制解的变化特征. 发现在中强地震前, 该地区小震综合机制解的 P 轴方位偏离平均值, 向 E 或 SE 偏转, 其仰角有增大的趋势, 同时小震纵波(P_n 和 P_g)初动符号一致. 6 次中强地震的震源机制解表明, 该地区 P 轴方位与主压应力方向基本一致, 因此该地区发生破坏性地震的可能性不大. 近几年来地震活动图像显示, 该地区的地震活动有向中卫、中宁和同心地区集中的迹象.

关键词: 宁夏; 应力场; 震源机制解; P 轴; 地震活动趋势

中图分类号: P315.3⁺3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2001)02-0142-07

0 引言

宁夏南部地区的范围为 $35^{\circ}20' \sim 37^{\circ}40' N$, $104^{\circ}30' \sim 106^{\circ}30' E$, 包括中卫、中宁、同心、海原和固原等县. 近几年来, 该地区地震活动有所增强, 1998 年 4 月 11 日在同心发生了 $M_L 4.6$ 地震, 同年 7 月 29 日在海原发生了 $M_L 5.3$ 地震, 1999 年 3 月 18 日在中宁发生了 $M_L 5.0$ 地震. 在 1 年时间内连续发生了 3 次中等强度地震, 这是值得重视的. 探讨这一地区地震活动图像及应力场的变化, 对分析判断该地区未来地震形势是有重要意义的.

1 宁夏南部地区中强地震前小震综合机制解变化特征

该区域共有 5 个基本台站(图 1). 这些台站是中卫台、海原台、同心台、固原台和牛首山台. 各台小震综合机制解的 P 轴平均方位分别为: 中卫台 $N30^{\circ}E$, 海原台 $N35^{\circ}E$, 同心台 $N72^{\circ}E$, 固原台 $N80^{\circ}E$, 牛首山台 $N55^{\circ}E$ ^[1, 2], 表明宁夏南部地区的主压应力场方向为 NE 或 NEE, 与区域应力场的方向^[3]基本一致.

宁夏南部及其周边地区自 1982 年以来共发生了 14 次中等强度地震(图 1, 表 1), 包括发生在同心、中宁地区的 2 次 $M_L 4.7$ 和 1 次 $M_L 4.6$ 地震. 将这 14 次地震按时间段分为 7 组, 每组作为一次地震事件看待. 在这 7 次地震事件中, 地震前后 P 轴方向发生变化的有 19 台次, 其中变化最大的为海原台, 1998 年该台 P 轴向南偏转 139° . 出现 P 轴仰角增大的有 13 次, 最大的变化发生在中卫台, 1982 年 4 月 14 日海原 $M_L 5.8$ 地震前该台 P 轴仰角变为 86° , 近于直立(图 2, 表 2).

收稿日期: 2000-03-16

作者简介: 赵知军(1946-), 男(汉族), 甘肃天水人, 高级工程师, 主要从事测震分析及地震活动性研究工作.

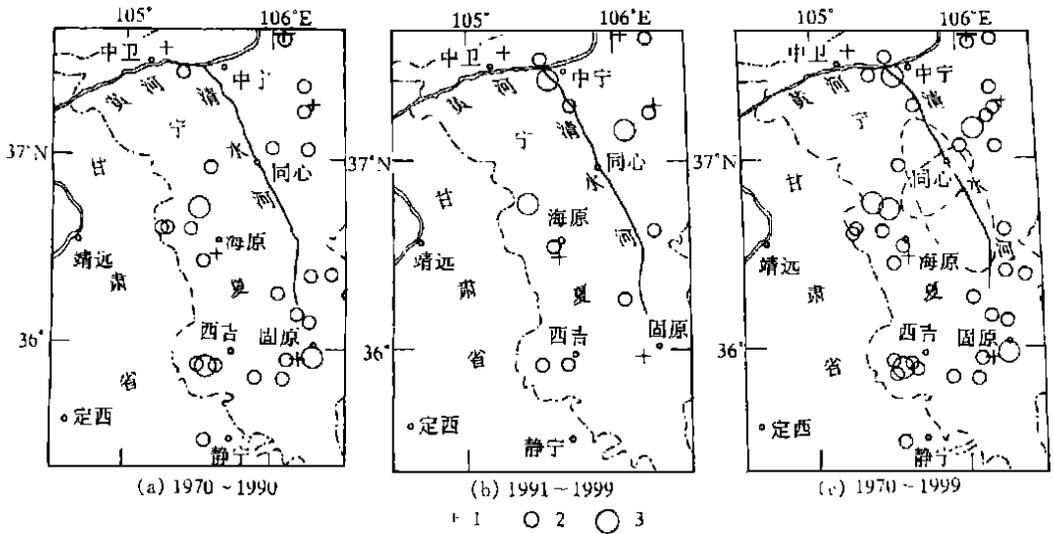


图 1 宁夏南部地区台站及 1970 年以来 $M_L \geq 4.0$ 地震分布

Fig. 1 Distribution of seismic stations and $M_L \geq 4.0$ earthquakes since 1970 in south Ningxia.

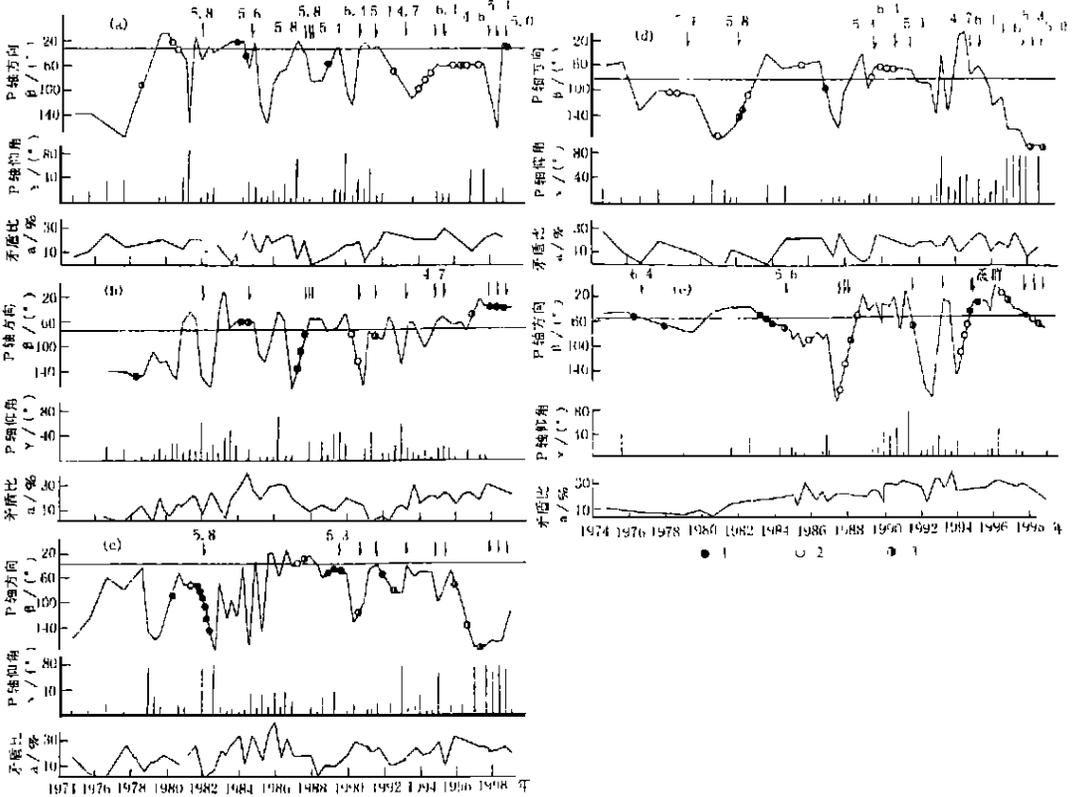


图 2 宁夏南部地区各台 P 轴方向、仰角和矛盾比曲线

Fig. 2 Curves of direction and elevation angle of the P axis and contradictory ratio of synthetic focal mechanism of small earthquakes for 5 stations in south Ningxia.

表 1 宁夏南部 1970~1999 年 $M_L \geq 4.0$ 地震参数

发震时间	震中位置			震级 (M_L)	震源深度 /km	精度
	北纬	东经	地点			
1970-02-23	37°14'	106°11'	同心	4.0	20	2
1970-04-16	37°05'	106°00'	同心	4.0	2	—
1970-11-30	35°52'	105°30'	西吉	4.0	30	2
1970-12-03	35°51'	105°33'	西吉	5.5	12	1
1971-06-11	37°38'	106°05'	吴忠	4.2	4	—
1971-07-20	35°50'	105°54'	西吉	4.3	10	1
1972-07-05	36°37'	105°15'	海原	4.3	1	—
1972-08-23	35°50'	106°04'	西吉	4.1	2	—
1973-05-16	36°23'	106°23'	固原	4.8	18	1
1973-09-28	37°22'	106°12'	同心	4.5	30	1
1974-04-22	35°56'	106°07'	固原	4.4	35	1
1974-08-23	36°23'	106°16'	固原	4.3	15	1
1975-11-08	35°30'	105°34'	静宁	4.4	1	—
1976-02-13	36°09'	106°17'	固原	4.0	19	1
1976-06-28	37°21'	105°23'	中卫	4.4	20	1
1978-06-14	35°52'	105°38'	西吉	4.4	16	1
1979-01-18	36°38'	105°28'	海原	4.3	1	—
1981-03-31	37°04'	106°14'	同心	4.4	32	1
1982-04-14	36°45'	105°30'	海原	5.8	20	1
1984-01-17	36°39'	105°17'	海原	4.6	35	1
1985-04-29	36°10'	106°10'	固原	4.0	1	—
1986-03-22	36°58'	105°34'	同心	4.0	23	1
1986-07-08	36°26'	105°31'	海原	4.3	2	—
1986-12-30	36°17'	106°02'	固原	4.2	20	1
1989-11-02	35°58'	106°17'	固原	5.3	27	1
1991-03-07	37°33'	105°30'	中宁	4.5	28	1
1991-10-30	37°10'	106°05'	同心	5.1	19	1
1992-01-24	36°15'	106°03'	固原	4.0	24	1
1992-03-09	37°40'	106°13'	吴忠	4.2	10	1
1992-12-14	36°32'	105°35'	海原	4.0	16	1
1993-07-11	36°39'	106°16'	同心	4.7	15	1
1993-11-27	35°53'	105°40'	西吉	4.1	25	1
1995-04-27	37°18'	105°41'	中宁	4.7	15	1
1997-01-05	35°55'	105°30'	西吉	4.2	10	1
1998-04-11	37°16'	106°15'	同心	4.6	26	1
1998-07-29	36°47'	105°24'	海原	5.3	18	1
1999-03-18	37°27'	105°33'	中宁	5.0	13	1

2 P 波 (P_n 和 P_g) 初动符号一致性特征

从物理意义上讲, 某一区域 P 波初动符号为正说明该区域处于拉张状态; 初动符号为负说明该区域处于受压状态; 符号紊乱表明该区域应力场处于一种恢复或不稳定的调整状态. 一般来讲, 当同性符号连续出现时, 其后很可能发生中强地震. 符号紊乱出现在震前则通常意味着应力在积累, 出现在震后时可以认为是异常结束的信号. 宁夏南部地区在中等强度地震前小震 P 波初动符号一致性较好的有 23 次 (每半年做一张综合解图), 持续时间最长的为 1982 年海原 M_L 5.8 地震. 自 1980 年 7 月至 1983 年 2 月海原台连续记录了 7 次小震的 P 波初动符号一致的现象, 其中 6 次为正号 (图 2, 表 2), 说明该地区在 3 年多的时间内垂直运动比较强烈.

在图 2 中还给出了小震综合机制解矛盾比曲线. 由图 2 可见, 各台矛盾比一般小于 30%, 说明小震综合解的稳定性较好, 由此得出的结果是可信的.

表 2 宁夏南部地区中强地震前小震综合解 P 轴方向、仰角及符号一致性

序号	地震	牛首山台			中卫台			同心台			海原台			固原台			
		P 轴方向	P 轴仰角	初动符号													
1	1982-04-14 海原 5.8	—	—	—	157°	86°	—	147°	64°	—	149°	81°	—	—	—	—	+
																	+
																	+
																	+
																	+
2	1984-11-23 灵武 5.6	—	—	+	—	—	+	—	—	+	126°	—	—	—	—	—	+
																	+
																	×
3	1987-08-10 灵武 5.8 1988-01-04 灵武 5.8 1987-01-10 灵武 5.4	188°	—	—	120°	72°	—	169°	74°	+	—	—	—	136°	—	+	+
																	×
																	—
4	1989-11-02 固原 5.3 1990-10-20 景泰 6.4 1991-10-30 同心 5.1	—	75°	×	127°	83°	—	163°	—	—	134°	—	—	—	—	—	+
																	+
																	+
																	×
5	1993-07-11 同心 4.7	170°	—	—	110°	—	×	135°	60°	—	—	78°	×	—	75°	—	187°
																	—
6	1995-04-27 中宁 4.7 1995-07-22 永登 6.1	148°	—	—	—	—	—	—	—	—	105°	73°	—	—	—	—	—
																	—
																	+
7	1998-04-11 同心 4.6 1998-07-29 海原 5.3 1999-03-18 中宁 5.0	—	—	+	161°	52°	×	—	—	+	174°	—	+	165°	—	—	+
																	×
																	+
																	×
																	×

注: + 表示 P 波初动为正号; - 表示 P 波初动为负号; × 表示 P 波初动符号紊乱.

3 1970 年以来宁夏南部地区的地震活动特征

3.1 时间分布特征

从 1970 年到 1990 年 20 年的时间内, 在中宁、中卫和同心地区共发生 $M_L \geq 4.0$ 地震 11 次, 年频次为 0.55 次. 从 1991 年到 1999 年 8 年时间内就发生 $M_L \geq 4.0$ 地震 8 次, 说明从 1991 年开始该地区 $M_L \geq 4.0$ 地震活动明显增强, 特别是从 1998 年以来有加速的迹象, 每年发生近 2 次, 而且震级有所增大, 见图 1b 和图 3a.

3.2 空间分布特征

1970~1990 年 $M_L \geq 4.0$ 地震主要分布在西吉、海原和固原地区 (图 1a, 图 3b). 1991~1999 年地震明显向北迁移, 而且分布相对集中, 在 $36^{\circ}20'N$ 以南地区只发生了 3 次地震, 见图 1b 和图 3a. 由图 1c 可以看出, 在中卫、中宁和同心地区似乎有 2 条地震活动条带, 一条呈 NE

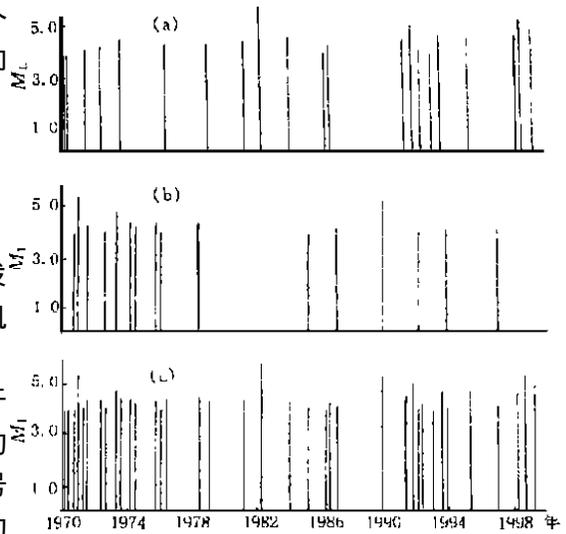
向,另一条呈 NW 向,沿清水河断裂分布.2 个条带交汇的地区就是宁夏南部的中心地区,即同心地区.

4 宁夏南部地区几次中等强度地震的震源机制解特征

自 1991 年 10 月以来,宁夏南部地区共发生了 6 次 $M_L \geq 4.6$ 地震.这 6 次地震的震源机制解见图 4.

1991 年 10 月 30 日同心 M_L 5.1 地震位于罗山西麓断裂带上.其震源机制解的节面 II 的走向与地质构造比较接近.根据震中落在正号区,中等应力轴仰角大于 60° 推断,该次地震的发震断层为走滑型压性逆断层.若节面 II 为实际断层面,则其运动方式为顺时针或右旋运动(图 4a).

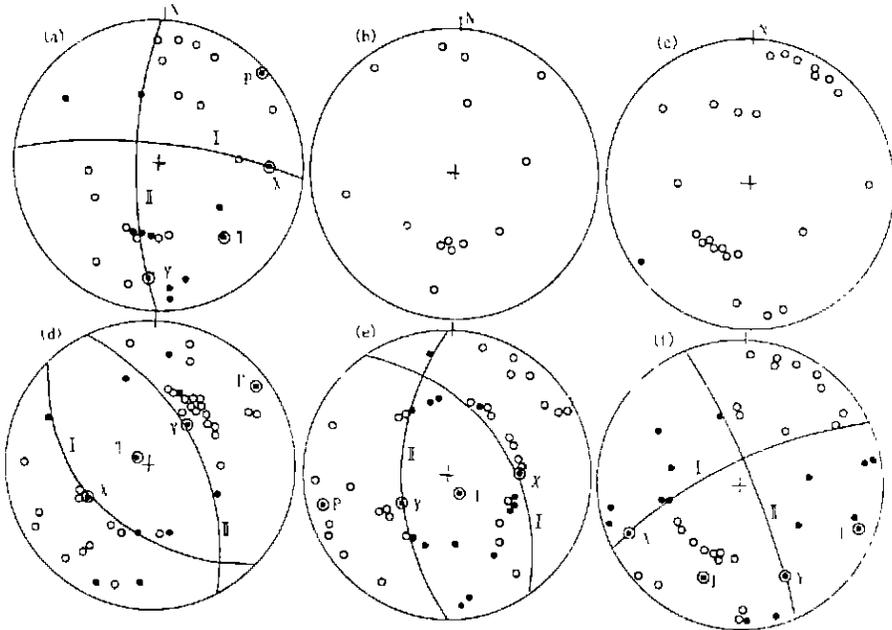
1993 年 7 月 11 日同心 M_L 4.7 地震的纵波初动符号全为负号(图 4b); 1995 年 4 月 27 日中宁 M_L 4.7 地震的纵波初动符号除兰州台为正号外,其它各台均为负号,说明这 2 次地震属于典型的塌陷型地震,即其震中区下沉(图 4c).



(a) 中卫、中宁、同心地区($36^\circ 30' \sim 37^\circ 40' N, 104^\circ 30' \sim 106^\circ 30' E$);
 (b) 西海固地区($35^\circ 20' \sim 36^\circ 30' N, 104^\circ 30' \sim 106^\circ 30' E$);
 (c) 宁夏南部地区($35^\circ 20' \sim 37^\circ 40' N, 104^\circ 30' \sim 106^\circ 30' E$)

图 3 宁夏南部地区 1970 ~ 1999-06 地震的 $M-t$ 图

Fig. 3 Map of $M-t$ of earthquakes in south Ningxia from 1970 to 1999-06.



(a) 1991-11-30 同心 M_L 5.1; (b) 1993-07-11 同心 M_L 4.7; (c) 1995-04-27 中宁 M_L 4.7;
 (d) 1998-04-11 同心 M_L 4.6; (e) 1998-07-29 海原 M_L 5.3; (f) 1999-03-18 中宁 M_L 5.0

图 4 宁夏南部地区 6 次中强地震的震源机制解

Fig. 4 Focal mechanism solutions of 6 mid-strong earthquakes in south Ningxia.

1999 年 3 月 18 日中宁 M_L 5.0 地震位于清水河与黄河的交汇入口处, 发震构造走向为 336° . 由震中位于负号区, 零轴仰角大于 60° 并接近网心推断, 该次地震的发震断层为走滑型张性正断层(震中位于网心为纯正断层). 若节面 II 为断层面, 则该断层的运动形式为顺时针右旋错动(图 4f).

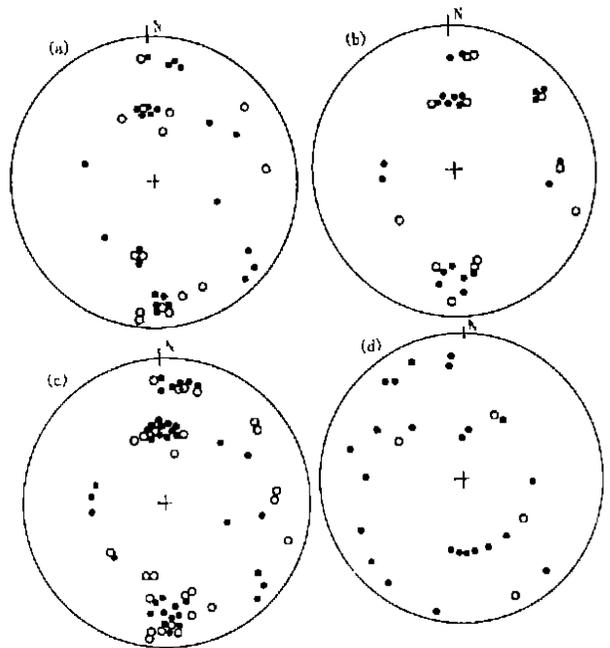
1998 年 4 月 11 日同心 M_L 4.6 地震(图 4d)和 1998 年 7 月 29 日海原 M_L 5.3 地震(图 4e)的中等应力轴仰角均小于 30° , 且主张应力 T 轴的仰角大于主压应力 P 轴的仰角; 震中都落在正号区; 中等应力轴出地点非常接近吴氏网边缘, 特别是同心 M_L 4.6 地震的中等应力轴仰角只有 9° , 由此推断, 这 2 次地震的发震断层为平推分量较小的压性逆断层. 无论是节面 I 还是节面 II, 其走向均为 NW ~ NNW 向.

上述 6 次地震中有 4 次地震的震源机制解显示主压应力方向为 NE, 说明宁夏南部地区的区域应力场没有发生大的变化.

5 结论与讨论

从图 2 和表 1 可以看出, 1970 年以来各台 P 轴方位均偏离平均值, 向 E—SE 方向偏转, 仰角增大, 表明宁夏南部地区应力场处于不稳定状态. 1998 年同心台记录的小震 P 波初动符号大部分为正号, 见图 2b 和图 5a、b 和 c. 1998 年中卫台 P 轴方向急剧向南偏转, 1990 年 1~6 月初动符号绝大部分为正号, 见图 2a 和图 5d. 海原台和固原台 P 轴方向连续向南偏转, 而且在 1998 年这 2 个台的 P 轴方向非常接近, 大致为 $160^\circ \sim 187^\circ$. 说明西吉、海原和固原地区的应力场变化范围较大. 自 1994 年开始牛首山台的 P 波初动符号出现正负交替变化(图 2e), 这一方面可能是牛首山台附近 1994~1995 年发生的千余次小震群的影响, 另一方面可能是同心 M_L 4.7 和中宁 M_L 5.0 地震的异常反映. 就 P 轴仰角而言, 除了同心台连续出现 P 波初动符号为正号, 无法求得仰角外, 其它 4 个台 P 轴仰角在上述地震前均有增大的趋势, 海原和固原 2 个台尤为明显. 这充分显示该地区地壳垂直运动在加强. 自 1998 年 7 月 29 日海原 M_L 5.3 和 1999 年 3 月 18 日中宁 M_L 5.0 地震后, 除了海原台 P 轴方向开始有恢复的迹象外, 其它 4 个台的初动符号一致性和 P 轴方向异常均未出现明显的恢复迹象, 这是应引起足够重视的.

太平洋板块向西推挤和印度洋板块向北推挤, 二者的共同作用形成了目前的宁夏及邻区大区域应力场格局³. 宁夏南部的 NW 和 NWW 向断裂位于青藏块体的 NE 边缘, 所以在青藏块体受印度洋板块推挤向北运动的同时, 由于叠加了太平洋板块向西的推挤作用, 使得这 2 个方向的断层产生了顺时针扭动, 显示该区应力场的主压应力方向为 NE 或 NEE 方向. 目前



(a) 同心台, 1998-01~06; (b) 同心台 1998-07~12;
(c) 同心台, 1998; (d) 中卫台 1999-01~06

图 5 同心和中卫台小震综合机制解
Fig. 5 Synthetic focal mechanism solutions of small earthquakes recorded by Tongxin and Zhongwei stations.

从太平洋西岸与中国华北地区地震活动水平很低的情况分析,太平洋板块向西运动的迹象并不明显,宁夏南部地区应力场主压应力方向向南偏转可能是由于印度洋板块向北的推挤占主导地位形成的.据以往的研究,只有在二大板块的共同作用下,宁夏地区才有可能孕育发生大地震.与此同时,华北地区和南北地震带地震活动增强.当华北块体与南北地震带地震活动相对平静时,宁夏地区发生破坏性地震($M_S > 7.0$)的可能性不大.

如果 1998 年 4 月 11 日同心 $M_L 4.6$ 和 7 月 29 日海原 $M_L 5.3$ 地震发生在同一条隐伏断裂带上(图 1c),那么,就可以认为宁夏南部地区的中强地震大多与共轭构造有关.地震活动的空间分布图像也显示(图 1c),以同心为中心的地区近几年为 2 条地震活动带交汇区.所以对于这一地区的地震活动应予以重视.

总之,虽然宁夏南部地区小区域应力场不稳定,但并未偏离大区域应力场,因此发生破坏性地震的可能性不大.根据小震综合机制解 P 轴方位的变化可以对未来中强地震做出一定程度的预报.

[参考文献]

- [1] 赵知军,刘秀景.宁夏及其邻区地震活动带与小区域构造应力场[J].地震地质,1990,12(1):31—46.
- [2] 赵知军,刘秀景,马禾青.宁夏及邻近地区中强地震前小区域应力场方向变化[J].内陆地震,1997,11(2):128—135.
- [3] 李孟奎,赵知军.宁夏地区现代构造应力场及其与地震活动的关系[J].地震研究,1986,9(3):299—313.

THE SEISMICITY FEATURES IN SOUTH NINGXIA

ZHAO Zhi-jun, LIU Xiu-jing, REN Xue-mei, XIE Xiao-feng

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

Abstract: The variation features of synthetic focal mechanism solution of small earthquakes before mid-strong earthquakes in south Ningxia region are studied. It is found that direction of the P axes drifted off average values and turned to E or SE, being accompanied by identified first motion mark of P_n and P_g waves of small earthquakes. The focal mechanism solutions of 6 mid-strong earthquakes in south Ningxia region show that the earthquakes occurred under the affect of principal compressive stress of NE, with no somewhat change in comparison with direction of principal compressive stress of regional stress field. So the possibility of the destructive earthquakes to occur in the region is smaller. But patterns of seismicity in recent years show it is possible that seismicity is going to concentrate in Zhongwei, Zhongning and Tongxin region in the future.

Key words: Ningxia; Stress field; Focal mechanism solution; P axis; Trend of seismicity